`

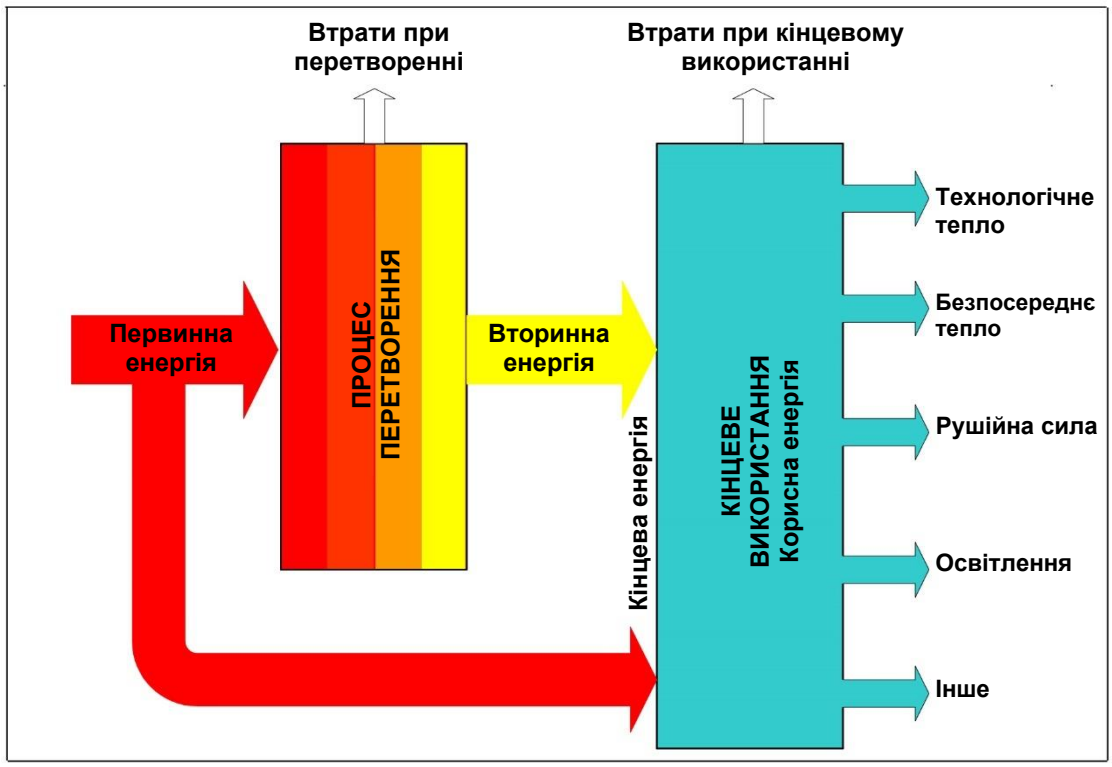
ЄВРОПЕЙСЬКА КОМІСІЯ

Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління

Енергоефективність

Лютий 2009 року

(виправлена версія від 09.2021)



Цей документ належить до серії перелічених нижче документів:

Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління...	**Код**
Великі спалювальні установки	LCP
Нафто- та газопереробні заводи	REF
Виробництво заліза та сталі	I&S
Обробка чорних металів	FMP
Кольорова металургія	NFM
Ковальська та ливарна промисловість	SF
Поверхнева обробка металів та пластмас	STM
Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію	CLM
Виробництво скла	GLS
Керамічне виробництво	CER
Великосерійна органічно-хімічна промисловість	LVOC
Виробництво хімічної продукції тонкого органічного синтезу	OFC
Виробництво полімерів	POL
Хлорно-лужне виробництво	CAK
Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво аміаку, кислот та добрив	LVIC-AAF
Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво твердих та інших речовин	LVIC-S
Виробництво неорганічних хімічних речовин спеціального призначення	SIC
Загальні системи переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі	CWW
Переробка відходів	WT
Спалювання відходів	WI
Утилізація хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності	MTWR
Целюлозно-паперова промисловість	PP
Текстильна промисловість	TXT
Дублення шкур та шкір	TAN
Бойні та переробка побічних продуктів тваринної промисловості	SA
Харчова, питна та молочна промисловість	FDM
Інтенсивне птахівництво та свинарство	IRPP
Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників	STS
Промислові системи охолодження	ICS
Викиди зі складів	EFS
Енергоефективність	***ENE***
Довідкові документи на теми...	
Загальні принципи моніторингу	MON
Економічні та міжсередовищні наслідки	ECM

Електронні версії ескізних та остаточно оформлених документів наявні у відкритому доступі, їх можна завантажити з сайту http://eippcb.j rc.ec.europa.eu/.

РЕЗЮМЕ ДЛЯ КЕРІВНИЦТВА

У цьому Довідковому документі (BREF) з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) відображено обмін інформацією про найкращі доступні технології та методи управління, пов'язаний з ними моніторинг та розробки у цих галузях, здійснений на підставі Статті 17 (2) Директиви 2008/1/ЕС (Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень – IPPC). У цьому резюме для керівництва описані основні отримані результати і підсумовані головні висновки щодо НДТМ. Його слід читати разом з передмовою, у якій пояснені цілі документа, його призначення та правові положення. Його можна читати і розглядати як окремий документ, проте, як резюме, воно не охоплює всі складні аспекти даного повного документа. Тому воно не призначене для використання замість цього повного документа у якості інструмента для прийняття рішень щодо НДТМ.

Енергоефективність (ENE)
Питання енергії займає першочергове місце у Європейському Союзі (ЄС) з трьох пов'язаних між собою причин:

- зміна клімату: спалювання викопного палива з метою виділення енергії – це головне антропогенне джерело парникових газів;
- постійне використання у великих масштабах невідновлюваного викопного палива та потреба у забезпеченні сталості довкілля;
- надійність постачання: ЄС імпортує понад 50 % своїх паливних енергоресурсів, і очікується, що у наступні 20-30 років ця цифра зросте більш ніж на 70 %.

Тому існує багато високорівневих програмних заяв, які стосуються цих питань, як-от:

«Ми маємо намір спільно показати приклад в енергетичній політиці та справі захисту клімату і зробити свій внесок у відвернення глобальної загрози зміни клімату». Берлінська декларація (Рада міністрів, 50-та річниця Римського договору, Берлін, 25 березня 2007 року).

Підвищення ефективності використання енергії – це найшвидший, найбільш дієвий і найбільш економічний спосіб вирішення цих питань. Існують юридичні документи та інші інструменти для впровадження енергоефективних заходів, і цей документ розроблено з урахуванням інших ініціатив такого характеру.

Доручення на роботу
Цей документ було прямо доручено розробити спеціальним запитом у Повідомленні Комісії (COM (2001) 580, остаточна версія) про впровадження Європейської програми у галузі зміни клімату (ECCP) стосовно енергоефективності промислових установок. У рамках Європейської програми у галузі зміни клімату (ECCP) було висловлено прохання посприяти ефективному впровадженню положень щодо енергоефективності, викладених у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), і підготувати спеціальний наскрізний довідковий документ з НДТМ (BREF), присвячений загальним енергоефективним технологіям.

Сфера застосування цього документа
Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) вимагає, щоб усі установки експлуатувалися у такий спосіб, за якого енергія буде використовуватися ефективно, і одним із питань, яке слід враховувати при визначенні НДТМ для технологічного процесу, є його енергоефективність. У випадку видів діяльності, встановлених Директивою щодо Схеми торгівлі квотами на викиди (Директива Ради 2003/87/ЕС), країни-члени ЄС можуть вирішити не встановлювати вимоги, пов'язані з енергоефективністю, для агрегатів згоряння або інших агрегатів, що викидають вуглекислий газ, на об'єкті. Проте у таких випадках вимоги щодо енергоефективності все рівно будуть застосовуватися до всіх інших пов'язаних з ними видів діяльності на об'єкті.

Тому цей документ містить вказівки та висновки щодо технологій забезпечення енергоефективності, які вважаються сумісними з НДТМ у загальному сенсі для всіх установок, на які поширюється дія Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Цей документ також містить посилання на документи BREF, у яких вже були детально розглянуті конкретні технології забезпечення енергоефективності, і які можна застосовувати в інших секторах. Зокрема:

- у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок (LCP BREF) розглядається енергоефективність у контексті спалювання, і зазначено, що ці технології можна застосовувати до спалювальних установок потужністю менше 50 МВт;
- у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для промислових систем охолодження (ICS BREF) розглядаються промислові системи охолодження.

Цей документ не містить:

- інформації, специфічної для технологічних процесів та видів діяльності у секторах, охоплених іншими документами BREF;
- НДТМ, визначених для конкретних секторів.

Втім, у робочій області Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) для довідок наведено підсумок НДТМ для забезпечення енергоефективності у конкретних секторах, взятих з інших документів BREF [283, Європейське бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB)].

Цей документ було розроблено у відповідь на запит посприяти реалізації положень щодо енергоефективності, викладених у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Першочергове значення у ньому надається ефективному використанню енергії, а отже, у ньому не розглядаються відновлювані або екологічні енергетичні ресурси, про які йдеться в інших джерелах. Проте важливо зазначити, що використання екологічних джерел енергії та/або «відпрацьованого» або надлишкового тепла може бути більш екологічним, ніж використання первинних видів палива, навіть якщо енергоефективність їх використання нижча.

Структура та зміст цього документа

У дозволах, що надаються в рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, енергоефективність розглядається як наскрізне питання, і, як зазначено у плані та методичному посібнику для документів BREF, структура цього документа не повністю відповідає звичайному формату. Зокрема, оскільки в ньому розглядається велике розмаїття галузей та видів діяльності, у ньому немає розділу, присвяченого споживанню та викидам. Для деяких технологій, що розглядаються на роль НДТМ, наведено деякі орієнтовні значення, що характеризують потенційні заощадження енергії, і у додатках міститься велика кількість прикладів, щоб допомогти користувачам визначити найбільш дієві технології для досягнення енергоефективності у конкретній ситуації.

У частині 1 наведена деяка довідкова інформація про споживання енергії у промисловості та проблеми енергоефективності у контексті комплексного запобігання та контролю забруднень. Далі викладена ознайомча інформація, розрахована на неспеціалістів, з ключових питань, таких як економіка та міжсередовищні наслідки, терміни, що використовуються у сфері енергоефективності (як-от енергія, теплота, робота, потужність), та важливі закони термодинаміки. Зокрема, перший закон постановляє, що енергію неможливо створити або знищити (вона перетворюється з однієї форми в іншу): це означає, що енергія, присутня у технологічному процесі або установці, піддається обліку, а це дає змогу розрахувати коефіцієнти корисної дії. Другий закон показує, що при перетворенні енергії ніколи не можна отримати 100% корисної роботи: завжди будуть присутні якісь втрати у вигляді низькопотенційного тепла або енергії, а отже, жоден процес

або машина не можуть бути на 100 % ефективними. Далі у цій частині йдеться про показники енергоефективності, важливість впровадження визначення енергоефективності та пов'язані з цим проблеми, а також границі систем та агрегатів, з якими вони пов'язані. Ця частина також демонструє, що енергоефективність потрібно оптимізувати для цілих систем та установок, а не на рівні компонентів.

У частині 2 розглядаються технології досягнення енергоефективності, які можна застосовувати на рівні установки. Спочатку у ній розглядаються системи керування енергоефективністю (ENEMS), а потім – технології, які сприяють реалізації системи керування енергоефективністю (ENEMS). Серед них – важливість комплексного планування заходів та інвестицій для безперервної мінімізації впливу установки на довкілля, розгляд установки та її систем як єдиного цілого, застосування енергоефективного проєктування та вибір енергоефективних технологій процесу для нових установок або установок, що модернізуються, підвищення енергоефективності шляхом поліпшення технологічної інтеграції та періодичне оновлення системи керування енергоефективністю (ENEMS). Інші технології, які підкріпляють систему керування енергоефективністю (ENEMS), – це підтримання достатньої кваліфікації кадрів, повідомлення про проблеми з енергоефективністю, ефективне керування технологічним процесом і технічне обслуговування, моніторинг та вимірювання споживання енергії, проведення аудиту енергоефективності, аналітичні інструменти, як-от пінч-аналіз, аналіз ексергії та ентальпії і термоекономіка, а також моніторинг та еталонне порівняння рівнів енергоефективності для установок і технологічних процесів.

У частині 3 розглядаються технології забезпечення енергоефективності у системах, технологічних процесах та обладнанні, що використовують енергію, як-от згорання, пара, регенерація тепла, когенерація, електропостачання, підсистеми з приводом від електродвигунів, насосні системи, опалення, кондиціювання повітря та вентиляція, освітлення, сушіння та сепарація. Якщо важливою складовою технологічного процесу, для якого актуальне комплексне запобігання та контроль забруднень, є згорання (наприклад, у випадку скловарних печей), технології, які використовуються у такому процесі, розглядаються у відповідних галузевих документах BREF.

Найкращі доступні технології та методи управління

У частині про НДТМ (частині 4) визначені ті технології, які вважаються НДТМ на європейському рівні, на підставі інформації, викладеної у частинах 2 та 3. Далі йде підсумок за цією частиною, присвяченою НДТМ, і весь подальший текст частини залишається остаточним викладенням висновків щодо НДТМ.

Для цього наскрізного документа неможливо визначити та/або узгодити відповідні значення заощаджень енергії або ефективності. НДТМ для забезпечення енергоефективності у конкретних технологічних процесах та відповідні рівні споживання енергії наведені у відповідних документах BREF для конкретних секторів (галузевих BREF). Таким чином, НДТМ для конкретної установки – це поєднання специфічних НДТМ, описаних у документах BREF для відповідних секторів, специфічних НДТМ для пов'язаних з установкою видів діяльності, які можна знайти в інших галузевих BREF (наприклад, у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок (LCP BREF) для згорання та пари), та загальних НДТМ, викладених у цьому документі.

Мета Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) полягає в тому, щоб забезпечити комплексне запобігання та контроль забруднень – включно з енергоефективністю та раціональним використанням природних ресурсів, – а отже, забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому. Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) передбачає дозвільну систему для вказаних промислових установок, яка вимагає, щоб як оператори, так і регулювальні органи комплексно і всебічно оцінили потенційну здатність установки до забруднення та

споживання ресурсів. Загальна мета такого комплексного підходу повинна полягати у вдосконаленні проєктування та будівництва, керування та контролю промислових процесів таким чином, щоб забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому. Центральне значення для цього підходу має загальний принцип, викладений у Статті 3: згідно з ним, оператори повинні вживати всіх належних запобіжних заходів для боротьби з забрудненням, зокрема, шляхом застосування **«найкращих доступних технологій та методів управління»**, які дають їм змогу покращити свої екологічні показники, у тому числі енергоефективність.

Додаток IV до Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) містить перелік «міркувань, які потрібно врахувати у загальному випадку або у конкретних випадках при визначенні найкращих доступних технологій та методів управління... пам'ятаючи про ймовірні витрати на реалізацію заходу та отримані від нього вигоди та про принципи застереження та запобігання». Ці міркування містять інформацію, опубліковану Комісією з метою дотримання вимог Статті 17 (2) (довідкові документи з НДТМ, або BREF).

Уповноважені органи, відповідальні за видання дозволів, повинні враховувати загальні принципи, викладені у Статті 3, при визначенні умов надання дозволу. До цих умов повинні належати граничні значення викидів, за потреби доповнені або замінені еквівалентними параметрами або технічними заходами. Згідно зі Статтею 9 (4) Директиви:

(без обмеження сили Статті 10 щодо найкращих доступних технологій та методів управління і стандартів якості навколишнього середовища, а також відповідності стандартам якості навколишнього середовища), граничні значення викидів, еквівалентні параметри та технічні заходи повинні базуватися на найкращих доступних технологіях та методах управління, не зобов'язуючи використовувати будь-яку технологію або конкретну технологію, але враховуючи технічні характеристики відповідної установки, її географічне розташування та місцеві умови навколишнього середовища. Незалежно від обставин, умови надання дозволу повинні містити положення щодо мінімізації забруднень на великі відстані або транскордонних забруднень та повинні гарантувати високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому.

Країни-члени ЄС зобов'язані, відповідно до Статті 11 Директиви, гарантувати, щоб уповноважені органи дотримувалися або були поінформовані про розробки у напрямку найкращих доступних технологій та методів управління.

Інформація, наведена в цьому документі, призначена для використання у якості вхідних даних для визначення НДТМ, націлених на забезпечення енергоефективності, у конкретних випадках. При визначенні НДТМ та встановленні умов надання дозволу на основі НДТМ завжди необхідно враховувати кінцеву мету – досягти високого ступеня захисту навколишнього середовища у цілому, зокрема, у контексті енергоефективності.

У частині про НДТМ (частині 4) описані технології, які вважаються сумісними з НДТМ у загальному розумінні. Мета полягає в тому, щоб надати загальні вказівки щодо енергоефективних технологій, які можна вважати належною опорною точкою, яка допоможе визначити умови надання дозволу на основі НДТМ або встановити загальні обов'язкові правила згідно зі Статтею 9 (8). Проте слід наголосити, що цей документ не пропонує значень енергоефективності для дозволів. Передбачається, що нові установки можна проєктувати такими, щоб їх робочі показники були такими ж або навіть кращими, ніж наведені тут загальні рівні НДТМ. Також враховується, що існуючі установки можуть рухатися до загальних рівнів НДТМ або досягати навіть кращих показників за умови технічної та економічної застосовності технологій у кожному випадку. Якщо мова йде про існуючі установки, потрібно також врахувати рентабельність та технічну доцільність їх модернізації.

Тому технології, наведені у цій частині, присвяченій НДТМ, не обов'язково підходять для всіх установок. З іншого боку, з обов'язку забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища включно з мінімізацією забруднень на великі відстані та транскордонних забруднень випливає, що умови надання дозволу не можна встановити виключно на базі місцевої специфіки. Тому вкрай важливо, щоб дозвільні органи в повному обсязі враховували інформацію, яка міститься у цьому документі.

Важливо пам'ятати про важливість енергоефективності. Проте *«для досягнення навіть єдиної мети – забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому – часто необхідно приймати судження, що передбачають компроміс між різними видами впливу на навколишнє середовище, і на ці судження часто впливає місцева специфіка».* Як наслідок:

- може бути неможливо одночасно максимізувати енергоефективність усіх видів діяльності та/або систем в установці;
- може бути неможливо одночасно максимізувати загальну енергоефективність і мінімізувати інші рівні споживання та викиди (наприклад, може бути неможливо знизити викиди – наприклад, у повітря – без використання енергії);
- може виявитися необхідно скасувати заходи, вжиті для оптимізації енергоефективності однієї або кількох систем, для досягнення максимальної ефективності установки у цілому;
- необхідно підтримувати рівновагу між максимізацією енергоефективності та іншими чинниками, такими як якість продукту, стабільність технологічного процесу, тощо;
- використання екологічних джерел енергії та/або «відпрацьованого» або надлишкового тепла може бути більш екологічним, ніж використання первинних видів палива, навіть якщо енергоефективність їх використання нижча.

Тому енергоефективні технології пропонуються як «оптимізація енергоефективності»

Наскрізний підхід до енергоефективності у всіх секторах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, базується на припущенні, що енергія використовується у всіх установках, і що у багатьох із цих секторів зустрічаються загальновживані системи та обладнання. Тому загальні можливості забезпечення енергоефективності можна визначити незалежно від конкретного виду діяльності. З огляду на це можна визначити такі НДТМ, які будуть охоплювати найбільш дієві заходи для досягнення високого рівня енергоефективності у цілому. Оскільки цей документ BREF наскрізний, НДТМ потрібно визначати більш широко, ніж для галузевого документа BREF, – наприклад, враховувати взаємодію між технологічними процесами, агрегатами та системами в межах об'єкта.

НДТМ для забезпечення енергоефективності у конкретних технологічних процесах та відповідні рівні споживання енергії наведені у відповідних «галузевих» документах BREF для конкретних секторів. Після завершення першої серії документів BREF ці дані були в загальних рисах підсумовані у джерелі [283, EIPPCB].

Ні в частині про НДТМ (частині 4), ні в частинах 2 та 3 немає вичерпних переліків технологій, які можна було б розглянути, тому можуть існувати або бути розроблені інші технології, які можуть бути такою ж мірою застосовними у контексті комплексного запобігання та контролю забруднень і НДТМ.

Реалізація НДТМ у нових або суттєво модернізованих установках або технологічних процесах зазвичай не є проблемою. У більшості випадків оптимізація енергоефективності економічно доцільна. Реалізувати НДТМ в межах існуючої установки зазвичай не так просто з огляду на існуючу інфраструктуру та місцеві обставини: потрібно враховувати рентабельність та технічну доцільність модернізації цих установок. У частинах 2 та 3 розглядається застосовність технологій, яка потім підсумовується для кожної НДТМ у частині 4.

Проте цей документ загалом не розмежовує нові та існуючі установки. Таке розмежування не заохочувало б операторів промислових об'єктів переходити на НДТМ. Заходи з підвищення енергоефективності, як правило, мають певну окупність, і з огляду на велике значення, яке надається енергоефективності, існує багато заходів із реалізації політик, у тому числі фінансові стимули. Деякі з них згадуються у додатках.

Деякі технології дуже бажані і часто впроваджуються, але можуть потребувати (як, наприклад, когенерація) наявності і співпраці з третьою стороною, що не розглядається у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Слід зазначити, що співпраця та домовленість із третіми сторонами може виходити за межі контролю оператора, а відтак може виходити за рамки дозволу з комплексного запобігання та контролю забруднень.

Загальні НДТМ для досягнення енергоефективності на рівні установки
Ключовим елементом забезпечення енергоефективності на рівні установки є формальний підхід до керування. Інші НДТМ, що застосовуються на рівні об'єкта, допомагають керувати енергоефективністю і конкретизують технології, потрібні для її забезпечення. Ці технології можна застосовувати для всіх установок. Обсяг (наприклад, рівень детальності, частота оптимізації, системи, які потрібно враховувати в будь-який конкретний момент часу) та технології, що використовуються, залежать від масштабу і складності установки та від потреб її складових систем в енергії.

Керування енергоефективністю

- НДТМ полягає в тому, щоб реалізувати і дотримуватися системи керування енергоефективністю (ENEMS), яка охоплює, залежно від місцевих обставин, такі функції:
  - цілеспрямована політика вищого керівництва;
  - визначення політики забезпечення енергоефективності для установки вищим керівництвом;
  - планування та встановлення цілей і цільових показників;
  - впровадження та виконання процедур з особливою увагою до таких моментів:
    - структура та відповідальність; навчання, обізнаність та компетенція; комунікація; залучення працівників; документація; ефективне керування технологічними процесами; програми технічного обслуговування; аварійна готовність та реагування; забезпечення дотримання законодавства та угод (якщо такі угоди існують) щодо енергоефективності;
  - бенчмаркінг (еталонне порівняння);
  - перевірка робочих показників та вживання заходів для усунення порушень з особливою увагою до таких моментів:
    - моніторинг та вимірювання; заходи з усунення та профілактики порушень; ведення записів; незалежний (якщо це доцільно) внутрішній аудит, метою якого є визначити, чи відповідає система керування енергоефективністю (ENEMS) запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується;
  - перевірка системи керування енергоефективністю (ENEMS) та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та дієвості вищим керівництвом;
  - при проєктуванні нової установки – врахування впливу її майбутнього виведення з експлуатації на навколишнє середовище;
  - розробка енергоефективних технологій та стеження за новими розробками у сфері енергоефективних технологій.

Система керування енергоефективністю (ENEMS) також може передбачати такі необов'язкові кроки:

- підготовка та публікація (з зовнішнім затвердженням або без нього) регулярного звіту про енергоефективність,
- який дає змогу порівнювати показники для різних років з цілями та цільовими показниками;
- організація зовнішньої перевірки і затвердження системи керування та процедури аудиту;
- реалізація та дотримання добровільної системи керування у сфері енергоефективності, визнаної на національному або міжнародному рівні.

Постійне покращення стану навколишнього середовища

- НДТМ полягає в тому, щоб постійно мінімізувати вплив установки на навколишнє середовище шляхом комплексного планування заходів та інвестицій на коротко-, середньо- та довготермінову перспективу з урахуванням економічних вигод та міжсередовищних наслідків.

Цю методику можна застосовувати до всіх установок. «Постійно» означає, що заходи з часом повторюються, тобто всі рішення щодо планування та інвестицій повинні прийматися з огляду на загальну довготермінову ціль – знизити вплив експлуатації установки на навколишнє середовище. Покращення може бути покроковим, а не лінійним, і в ньому потрібно враховувати міжсередовищні наслідки, як-от збільшення споживання енергії для зниження викидів забруднюючих речовин у повітря. Вплив на навколишнє середовище ніколи не можна знизити до нуля, і будуть моменти, коли від подальших заходів буде мало або взагалі не буде економічної вигоди. Проте з часом рентабельність також може змінитися.

Визначення аспектів енергоефективності установки та можливостей для заощадження енергії

- НДТМ полягає в тому, щоб визначити аспекти установки, які впливають на енергоефективність, шляхом проведення аудиту. Важливо, щоб аудит був узгоджений із системним підходом.

Цю методику можна застосовувати до всіх існуючих установок, а також перед плануванням модернізацій або капітальних ремонтів. Аудит може бути зовнішнім або внутрішнім.

- Під час проведення аудиту НДТМ полягає у тому, щоб у ході аудиту було визначено такі аспекти:
  - споживання і тип енергії в установці та її складових системах і технологічних процесах;
  - енергоспоживче обладнання і тип та кількість енергії, що споживається в установці;
  - можливості мінімізації споживання енергії, як-от:
    - контроль / зменшення часу роботи – наприклад, вимикати обладнання, коли воно не використовується;
    - слідкування за тим, щоб ізоляція була оптимізована;
    - оптимізація засобів інженерного забезпечення, пов'язаних систем та технологічних процесів (див. НДТМ для енергоспоживчих систем);
  - можливості використання альтернативних джерел або більш ефективне використання енергії – зокрема, використання надлишку енергії з інших технологічних процесів та/або систем;
  - можливості застосування надлишку енергії в інших технологічних процесах та/або системах;
  - можливості покращення якості теплової енергії.

- НДТМ полягає в тому, щоб використовувати належні інструменти або методики, які допоможуть визначити і кількісно виразити оптимізацію енергії, як-от:
  - енергетичні моделі, бази даних та баланси;
  - методики на зразок пінч-аналізу, аналізу ексергії чи ентальпії, або термоекономіки;
  - оцінки та розрахунки.

Вибір належних інструментів залежить від сектору та складності об'єкта і обговорюється у відповідних розділах.

- НДТМ полягає в тому, щоб виявити можливості для оптимізації регенерації енергії в межах установки, між системами в межах установки та/або за участі третьої сторони (чи сторін).

Ця НДТМ залежить від існування доцільного вжитку для надлишкового тепла того типу та кількості, які можна регенерувати.

Системний підхід до керування енергією

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати енергоефективність шляхом застосування системного підходу до керування енергією в установці. Можливість цілісної оптимізації слід розглянути, наприклад, для таких систем:
  - технологічні агрегати (див. BREF для сектору);
  - опалювальні системи, наприклад:
    - пара;
    - гаряча вода;
  - охолодження та вакуум (див. BREF для промислових систем охолодження);
  - системи з приводом від двигуна, наприклад:
    - стиснене повітря;
    - насосні системи;
  - освітлення;
  - сушіння, сепарація та концентрування.

Встановлення та перегляд цілей і показників енергоефективності

- НДТМ полягає в тому, щоб встановити показники енергоефективності шляхом виконання всіх перелічених нижче дій:
  - визначення належних показників енергоефективності для установки та, за необхідності, окремих технологічних процесів, систем та/або агрегатів і вимірювання їх зміни з часом або після впровадження заходів з підвищення енергоефективності;
  - визначення і реєстрація належних границь, пов'язаних із показниками;
  - визначення і реєстрація чинників, які можуть призвести до коливань енергоефективності відповідних технологічних процесів, систем та/або агрегатів.

Для моніторингу ситуацій, які розвиваються, зазвичай використовуються вторинні або кінцеві енергії. У деяких випадках для кожного технологічного процесу можна використовувати більше одного показника вторинної або кінцевої енергії (наприклад, як за парою, так і за електроенергією). При прийнятті рішення про використання (або зміну) енергоносіїв та засобів інженерного забезпечення у якості показника також може використовуватися вторинна або кінцева енергія. Проте для врахування ефективності виробництва будь-якого вторинного енергоносія та його міжсередовищних наслідків можуть використовуватися, залежно від місцевих обставин, інші показники, як-от первинна енергія або вуглецевий баланс.

Бенчмаркінг (еталонне порівняння)

- НДТМ полягає у виконанні систематичних та регулярних порівнянь з галузевими, національними чи регіональними орієнтирами за наявності перевірених даних.

Період між еталонними перевірками залежить від конкретного сектора і зазвичай складає кілька років, оскільки еталонні дані рідко коли змінюються швидко або суттєво за короткий проміжок часу.

Енергоефективне проєктування (EED)

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати енергоефективність при плануванні нової установки, агрегату чи системи або суттєвої модернізації шляхом врахування всіх перелічених нижче правил:
  - енергоефективне проєктування (EED) слід розпочинати на ранніх стадіях етапу концептуального проєктування / ескізного проєктування, хоча планові інвестиції на цьому етапі можуть ще не бути чітко визначені, і слід враховувати при проведенні тендеру;
  - розробка та/або вибір енергоефективних технологій;
  - може бути потрібно виконати збір додаткових даних – у рамках розробки проєкту або окремо – для доповнення існуючих даних або заповнення прогалин у знаннях;
  - роботи з енергоефективного проєктування (EED) повинні виконуватися експертом з енергетики;
    при початковому плануванні розподілу споживання енергії також слід розглянути, які сторони в організаціях, причетних до проєкту, впливають на майбутнє споживання енергії, і разом з ними оптимізувати енергоефективне проєктування (EED) майбутньої установки. Наприклад, це може бути персонал існуючої установки, відповідальний за встановлення експлуатаційних параметрів.

За відсутності належних штатних фахівців у галузі енергоефективності (наприклад, у неенергоємних галузях) слід залучити сторонніх фахівців з енергоефективності.

Поліпшена технологічна інтеграція

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати використання енергії при взаємодії кількох технологічних процесів або систем у межах установки або при взаємодії з третьою стороною.

Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності

- НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати рушійну силу програми підвищення енергоефективності за допомогою різноманітних методик, як-от:
  - впровадження спеціальної системи енергетичного менеджменту;
  - облік енергії за реальними значеннями (показниками лічильників), який накладає обов’язки на користувача / платника за рахунками і надає йому пільги за енергоефективність;
  - створення фінансових центрів прибутку від енергоефективності;
  - бенчмаркінг (еталонне порівняння);
  - свіжий погляд на існуючі системи управління;
  - використання методик керування організаційними змінами.

Методики на зразок перших трьох застосовуються так, як описано у відповідних розділах. Методики на зразок трьох останніх слід застосовувати після того, як пройде достатній час, – тобто через кількох років, – щоб можна було оцінити успіхи програми підвищення енергоефективності.

Підтримання кваліфікації

- НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати кваліфікацію у сфері енергоефективності та енергоспоживчих систем шляхом застосування методик на зразок таких:
  - наймання кваліфікованих кадрів та/або підготовка кадрів. Навчання може проводитися штатним персоналом, сторонніми фахівцями, у вигляді короткотермінових професійних курсів або самоосвіти / саморозвитку;
  - періодичне виведення персоналу з роботи для виконання строкових / спеціальних досліджень (на установці, де вони до цього працювали, або на інших установках);
  - спільне використання внутрішніх ресурсів підприємства різними об'єктами;
  - залучення консультантів з належною кваліфікацією для виконання строкових досліджень;
  - аутсорсинг спеціалізованих систем та/або функцій.

Ефективне керування технологічними процесами

- НДТМ полягає в тому, щоб забезпечувати здійснення ефективного керування технологічними процесами за допомогою методик на зразок таких:
  - наявність у розпорядженні систем, за допомогою яких можна слідкувати, щоб персонал знав, розумів відповідні процедури і дотримувався їх;
  - слідкування за тим, щоб ключові робочі параметри були визначені, оптимізовані з точки зору енергоефективності і контролювалися;
  - документування або реєстрація цих параметрів.

Технічне обслуговування

- НДТМ полягає в тому, щоб виконувати технічне обслуговування на установках для оптимізації енергоефективності з дотриманням усіх наведених нижче правил:
  - чітке розмежування відповідальності за планування та виконання технічного обслуговування;
  - впровадження структурованої програми технічного обслуговування на основі технічних
  - описів обладнання, норм, тощо, а також усіх відмов обладнання та їх наслідків. Деякі роботи з технічного обслуговування найкраще планувати на періоди зупинки установки;
  - доповнення програми технічного обслуговування належними системами ведення записів та діагностичним випробуванням;
  - виявлення потенційних програшів в енергоефективності або можливостей поліпшення енергоефективності за результатами планового технічного обслуговування і даними про виходи з ладу та порушення нормальних умов;
  - виявлення витоків, зламаного обладнання, зношених підшипників, тощо, які обумовлюють або впливають на споживання енергії, і виправлення цих недоліків при першій же нагоді.

При цьому необхідно віднайти баланс між оперативним виконанням ремонтних робіт та підтриманням якості продукції і стійкості технологічного процесу, а також міркуваннями охорони здоров'я і техніки безпеки.

Моніторинг та вимірювання

- НДТМ полягає в тому, щоб впровадити і підтримувати документовані процедури регулярного моніторингу і вимірювання ключових характеристик операцій та діяльності, які можуть суттєво впливати на енергоефективність. Деякі належні процедури описані у цьому документі.

Найкращі доступні технології та методи управління для досягнення енергоефективності в енергоспоживчих системах, технологічних процесах, діяльності та обладнанні

У загальних НДТМ, викладених вище, врахована важливість бачення установки як єдиного цілого та оцінювання потреб і цілей різних систем, пов'язаних з ними енергій та взаємодій між ними. Ці НДТМ також передбачають:

- аналіз та еталонне порівняння системи і її робочих показників;
- планування заходів та інвестицій для оптимізації енергоефективності з урахуванням співвідношення витрат і вигод та міжсередовищних наслідків;
- для нових систем – оптимізація енергоефективності при проєктуванні установки, агрегату або системи та при виборі технологічних процесів;
- для існуючих систем – оптимізація енергоефективності системи через її експлуатацію та керування нею, у тому числі шляхом регулярного моніторингу та технічного обслуговування.

Тому описані нижче НДТМ передбачають, що до перелічених нижче систем у рамках їх оптимізації також застосовуються ці загальні НДТМ. ***НДТМ для забезпечення енергоефективності поширених супутніх видів діяльності, систем і технологічних процесів на установках, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, можна підсумувати таким чином:***

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати:
  - спалювання;
  - парові системи

за допомогою відповідних технологій, таких як:
    - технології, специфічні для секторів і описані у галузевих документах BREF;
    - технології, описані у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок (LCP BREF) та у цьому документі (ENE).

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати перелічені нижче системи та технологічні процеси за допомогою технологій на зразок описаних у цьому документі:
  - системи стисненого повітря;
  - насосні системи;
  - системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВіК);
  - освітлення;
  - технологічні процеси сушіння, сепарації та розділення. Одним із НДТМ для цих технологічних процесів також вважається пошук можливостей застосування механічного розділення у поєднанні з тепловими процесами.

Інші НДТМ, які можна застосовувати для систем, технологічних процесів або видів діяльності, – це:

Регенерація тепла

- НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати ефективність теплообмінників шляхом одночасного застосування таких двох методик:
  - періодичний моніторинг ефективності;
  - профілактика або усунення засмічень.

Технології охолодження і відповідні НДТМ наведені у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для промислових систем охолодження (ICS BREF), де первинна НДТМ полягає в тому, щоб намагатися використовувати надлишкове тепло, а не розсіювати його шляхом охолодження. У випадках, коли охолодження необхідне, слід враховувати переваги природного охолодження – фрікулінгу (за допомогою навколишнього повітря).

Когенерація

- НДТМ полягає в тому, щоб шукати можливості для когенерації – в межах та/або за межами установки (у співпраці з третьою стороною).

У багатьох випадках державні органи (на місцевому, регіональному чи національному рівні) передбачили можливість таких заходів або є такою третьою стороною.

Електропостачання

- НДТМ полягає в тому, щоб збільшити коефіцієнт потужності згідно з вимогами місцевої енергорозподільної компанії за допомогою методик на зразок описаних у цьому документі, залежно від їх застосовності.
- НДТМ полягає в тому, щоб перевіряти електричне живлення на наявність гармонічних складових і за потреби застосовувати фільтри.
- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати ефективність електричного живлення за допомогою методик, описаних у цьому документі, залежно від їх застосовності.

Підсистеми з приводом від електродвигунів

Заміна двигунів двигунами з високим електричним ККД (ЕЕД) та частотно-регульованими приводами (VSD) – це один із найлегших способів підвищити енергоефективність. Проте це слід робити з урахуванням усієї системи, в якій встановлено двигун, інакше є ризик, що:

- будуть втрачені потенційні переваги, досягнуті за рахунок оптимізації використання та розміру системи, а відтак і оптимізації вимог до приводу від двигуна;
- буде втрачатися енергія, якщо частотно-регульований привід застосовується в неправильних умовах.

- НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати електродвигуни у такій послідовності:
  - оптимізувати всю систему, до складу якої входять двигун(и) (наприклад, систему охолодження);
  - після цього оптимізувати двигун(и) у системі з огляду на заново визначені вимоги до навантаження за допомогою однієї чи кількох описаних методик, залежно від їх застосовності;
  - після того, як енергоспоживчі системи були оптимізовані, оптимізувати решту двигунів (неоптимізовані двигуни), користуючись описаними методиками та критеріями, як-от:
    - i) з тих двигунів, що залишилися, в першу чергу заміняти двигунами з високим електричним ККД ті двигуни, що напрацьовують понад 2000 годин на рік;
    - ii) розглянути можливість оснащення частотно-регульованими приводами тих двигунів, які приводять у дію змінне навантаження, працюють на потужності менше 50 % протягом більш ніж 20 % їх часу роботи і напрацьовують понад 2000 годин на рік.

Рівень згоди

Досягнуто високого рівня згоди. Розбіжностей у точках зору не зареєстровано.

Дослідження і технічні розробки

У рамках своїх науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських програм Європейська комісія запускає і підтримує серію проєктів, присвячених екологічно чистим технологіям, перспективним технологіям очищення та переробки стоків і стратегіям керування. Ці проєкти потенційно здатні зробити корисний внесок у майбутні редакції довідкових документів з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF). Тому Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) запрошує читачів цього документа повідомляти про будь-які результати досліджень, що стосуються змісту цього документа (також див. передмову цього документа).

ПЕРЕДМОВА

1. Статус цього документа

Якщо не зазначено інше, посилання на «Директиву» у цьому документі означають Директиву Ради ЄС 2008/1/ЕС щодо комплексного запобігання та контролю забруднень. Оскільки Директива застосовується без обмеження сили положень Європейської спільноти щодо охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях, це ж саме справедливо для даного документа.

Цей документ входить до складу серії, у якій представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС та галузями промисловості стосовно найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), пов'язаного з ними моніторингу та розробок у цих галузях. Він опублікований Європейською комісією в силу Статті 17 (2) Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), а отже, повинен враховуватися згідно з Додатком IV до Директиви при визначенні «найкращих доступних технологій та методів управління».

2. Доручення на роботу

Цей документ було прямо доручено розробити спеціальним запитом у Повідомленні Комісії (COM (2001) 580, остаточна версія) про впровадження Європейської програми у галузі зміни клімату (ECCP) стосовно енергоефективності промислових установок. У рамках Європейської програми у галузі зміни клімату (ECCP) було висловлено прохання посприяти ефективному впровадженню положень щодо енергоефективності, викладених у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), і підготувати спеціальний наскрізний довідковий документ з НДТМ (BREF), присвячений загальним енергоефективним технологіям.

3. Відповідні правові обов'язки щодо Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) та визначення НДТМ

Щоб допомогти читачеві зрозуміти правовий контекст, у рамках якого був складений цей документ, у цій «Передмові» описані деякі з найактуальніших положень Директиви IPPC, зокрема, визначення терміна «найкращі доступні технології та методи управління». Цей опис, звісно, є неповним і наведений лише з ознайомчою метою. Він не має юридичного значення і жодним чином не змінює і не обмежує силу фактичних положень Директиви.

Мета Директиви полягає в тому, щоб забезпечити комплексне запобігання та контроль забруднень, зумовлених видами діяльності, що перелічені у Додатку I, – включно з енергоефективністю та раціональним керуванням природними ресурсами, – а отже, забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому. Юридична основа Директиви пов'язана з захистом навколишнього середовища. При реалізації її положень слід також враховувати інші цілі Європейської спільноти, такі як конкурентоспроможність промисловості Європейської спільноти та ослаблення залежності розвитку від споживання енергії, які, в свою чергу, сприяють сталому розвитку. У пункті «Сфера застосування» наведена детальніша інформація про юридичну основу енергоефективності у Директиві.

Говорячи більш конкретно, Директива передбачає дозвільну систему для певних категорій промислових установок, яка вимагає, щоб як оператори, так і регулювальні органи комплексно і всебічно оцінили потенційну здатність установки до забруднення та споживання ресурсів. Загальна мета такого комплексного підходу повинна полягати у вдосконаленні проєктування, будівництва, керування та контролю промислових процесів

таким чином, щоб забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому. Центральне значення для цього підходу має загальний принцип, викладений у Статті 3: згідно з ним, оператори повинні вживати всіх належних запобіжних заходів для боротьби з забрудненням, зокрема, шляхом застосування «найкращих доступних технологій та методів управління», які дають їм змогу покращити свої екологічні показники, у тому числі енергоефективність.

Термін «найкращі доступні технології та методи управління» визначений у Статті 2 (12) Директиви як «найефективніший та найсучасніший ступінь розвитку видів діяльності та відповідних методів роботи, який вказує на практичну придатність конкретних технологій для створення, по суті, основи для встановлення граничних значень викидів з метою запобігання або, якщо це неможливо здійснити, для загального зменшення викидів та впливу на навколишнє середовище у цілому». Далі Стаття 2 (12) роз'яснює це визначення наступним чином:

«технологіями» вважаються як технології, що використовуються на установці, так і способи проєктування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації;

«доступні» технології – це технології, розроблені у масштабі, який дає змогу реалізувати їх у відповідному секторі промисловості в умовах їх економічної та технічної доцільності, з урахуванням витрат та переваг, а також того, чи використовуються або виробляються ці технології у відповідній країні-члені ЄС, за умови, що вони доступні оператору у розумних межах;

«найкращі» – це найефективніші для досягнення високого загального ступеня захисту навколишнього середовища у цілому.

Крім того, Додаток IV до Директиви містить перелік «міркувань, які потрібно врахувати у загальному випадку або у конкретних випадках при визначенні найкращих доступних технологій та методів управління... пам'ятаючи про ймовірні витрати на реалізацію заходу та отримані від нього вигоди та про принципи застереження та запобігання». Ці міркування містять інформацію, опубліковану Комісією згідно зі Статтею 17 (2).

Уповноважені органи, відповідальні за видання дозволів, повинні враховувати загальні принципи, викладені у Статті 3, при визначенні умов надання дозволу. До цих умов повинні належати граничні значення викидів, за потреби доповнені або замінені еквівалентними параметрами або технічними заходами. Згідно зі Статтею 9 (4) Директиви:

(без обмеження відповідності стандартам якості навколишнього середовища), граничні значення викидів, еквівалентні параметри та технічні заходи повинні базуватися на найкращих доступних технологіях та методах управління, не зобов'язуючи використовувати будь-яку технологію або конкретну технологію, але враховуючи технічні характеристики відповідної установки, її географічне розташування та місцеві умови навколишнього середовища. Незалежно від обставин, умови надання дозволу повинні містити положення щодо мінімізації забруднень на великі відстані або транскордонних забруднень та повинні гарантувати високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому.

Країни-члени ЄС зобов'язані, відповідно до Статті 11 Директиви, гарантувати, щоб уповноважені органи дотримувалися або були поінформовані про розробки у напрямку найкращих доступних технологій та методів управління.

4. Цілі цього документа

У цьому документі наведені загальні рекомендації стосовно того, як реалізувати вимоги Директиви, викладені у пункті (3) вище.

Стаття 17 (2) Директиви вимагає, щоб Комісія організовувала «обмін інформацією між країнами-членами ЄС та галузями промисловості стосовно найкращих доступних технологій та методів управління, пов'язаного з ними моніторингу та розробок у цих галузях» та публікувала результати цього обміну інформацією.

Мета обміну інформацією зазначена у пункті 27 декларативної частини Директиви, у якому зазначено, що «розробка та обмін інформацією на рівні Європейської спільноти стосовно найкращих доступних технологій та методів управління допоможе вирівняти технологічні дисбаланси у Спільноті, сприятиме поширенню граничних значень та технологій, що використовуються у Спільноті, по всьому світу і допоможе країнам-членам ЄС успішно реалізувати цю Директиву».

Європейська комісія (Загальна дирекція з питань екології) створила форум з обміну інформацією (IEF) для сприяння роботі згідно зі Статтею 17 (2), під егідою якого було засновано ряд технічних робочих груп. Як у форумі з обміну інформацією (IEF), так і технічних робочих групах беруть участь представники країн-член ЄС та галузей промисловості відповідно до вимог Статті (17) 2.

Мета цієї серії документів – точно відобразити обмін інформацією, який було здійснено відповідно до вимог Статті 17 (2), та надати дозвільним органам довідкову інформацію для врахування при визначенні умов надання дозволу. Надаючи актуальну інформацію про найкращі доступні технології та методи управління, ці документи повинні слугувати цінними інструментами для стимулювання покращення екологічних показників, у тому числі й енергоефективності.

5. Джерела інформації

У цьому документі підсумована інформація, зібрана з ряду джерел – зокрема, експертні знання груп, створених для допомоги Комісії у її роботі, – і затверджена службами Комісії. З вдячністю відзначаємо роботу учасників, які зробили свій внесок, та груп експертів.

6. Як слід розуміти і використовувати цей документ

Інформація, наведена в цьому документі, призначена для використання у якості вхідних даних для визначення НДТМ, націлених на забезпечення енергоефективності, у конкретних випадках. При визначенні НДТМ та встановленні умов надання дозволу на основі НДТМ завжди необхідно враховувати кінцеву мету – досягти високого ступеня захисту навколишнього середовища у цілому, зокрема, у контексті енергоефективності.

У решті цієї частини описаний тип інформації, наведеної у кожному розділі цього документа.

Частина 1 знайомить з термінами та поняттями у сфері енергетики і термодинаміки. У ній наведені визначення енергоефективності для промисловості, описано, як виводити і встановлювати показники для моніторингу енергоефективності, і пояснена важливість задавання границь для установок, складових систем та/або агрегатів.

У частинах 2 та 3 більш детально описані технології підвищення енергоефективності, які зустрічаються у більш ніж одному секторі промисловості і вважаються найбільш актуальними для визначення НДТМ та умов надання дозволів на базі НДТМ:

- у частині 2 описані технології, які слід розглядати на рівні всієї установки;
- у частині 3 описані технології, які слід розглядати для конкретних систем, технологічних процесів, видів діяльності та обладнання, які споживають значну кількість енергії і часто зустрічаються в установках.

Ця інформація охоплює деякі уявлення про енергоефективність, якої можна досягти, про витрати та міжсередовищні питання, пов'язані з технологією, та міру придатності технології для ряду установок, які потребують дозволів щодо комплексного запобігання та контролю забруднень, – наприклад, нових, існуючих, великих або невеликих установок.

У частині 4 наведені технології та рівні викидів і споживання ресурсів, які вважаються сумісними з НДТМ у загальному розумінні. Мета полягає в тому, щоб надати загальні вказівки щодо енергоефективних технологій, які можна вважати належною опорною точкою, яка допоможе визначити умови надання дозволу на основі НДТМ або встановити загальні обов'язкові правила згідно зі Статтею 9 (8). Проте слід наголосити, що цей документ не пропонує значень енергоефективності для дозволів. При визначенні належних умов, передбачених у дозволі, будуть враховуватися місцеві фактори, властиві для конкретного майданчика, такі як технічні характеристики відповідної установки, її географічне розташування та місцеві умови навколишнього середовища. Якщо мова йде про існуючі установки, потрібно також врахувати рентабельність та технічну доцільність їх модернізації. Для досягнення навіть єдиної мети – забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому – часто необхідно приймати судження, що передбачають компроміс між різними видами впливу на навколишнє середовище, і на ці судження часто впливає місцева специфіка.

Хоча у цьому документі й робиться спроба розглянути деякі з цих питань, їх неможливо повністю охопити в цьому документі. Тому технології, наведені у частині 4, не обов'язково підходять для всіх установок. З іншого боку, з обов'язку забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища включно з мінімізацією забруднень на великі відстані та транскордонних забруднень випливає, що умови надання дозволу не можна встановити виключно на базі місцевої специфіки. Тому вкрай важливо, щоб дозвільні органи в повному обсязі враховували інформацію, яка міститься у цьому документі.

Оскільки найкращі доступні технології та методи управління з часом змінюються, документ буде переглядатися і по мірі потреби оновлюватися. Усі коментарі та пропозиції слід надсилати до Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень, що знаходиться в Інституті перспективних технологічних досліджень, за такою адресою:

Едіфісіо Експо (Edificio Expo), кальє Інка Гарсіласо (c/ Inca Garcilaso) 3, Севілья, E-41092, Іспанія
Телефон: +34 95 4488 284
Факс: +34 95 4488 426
E-mail: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Вебсайт: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/

Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для енергоефективності

РЕЗЮМЕ ДЛЯ КЕРІВНИЦТВА i
ПЕРЕДМОВА xiii
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ xxv
1 ВСТУП І ВИЗНАЧЕННЯ 1
1.1 Вступ 1
1.1.1 Енергія у промисловому секторі ЄС 1
1.1.2 Наслідки споживання енергії 2
1.1.3 Внесок енергоефективності у зменшення наслідків глобального потепління та покращення сталості довкілля 3
1.1.4 Енергоефективність та Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) 4
1.1.5 Енергоефективність у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень 6
1.1.6 Економіка та міжсередовищні наслідки 7
1.2 Енергія та закони термодинаміки 9
1.2.1 Енергія, теплота, потужність і робота 9
1.2.2 Закони термодинаміки 11
1.2.2.1 Перший закон термодинаміки: перетворення енергії 12
1.2.2.2 Другий закон термодинаміки: ентропія зростає 13
1.2.2.3 Баланс ексергії: поєднання першого і другого законів 15
1.2.2.4 Термодинамічні діаграми 16
1.2.2.5 Докладніша інформація 17
1.2.2.6 Виявлення незворотностей 18
1.3 Визначення показників енергоефективності та покращення енергоефективності 19
1.3.1 Енергоефективність та її вимірювання у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) 19
1.3.2 Ефективне та неефективне використання енергії 20
1.3.3 Показники енергоефективності 20
1.3.4 Введення у використання показників 24
1.3.5 Важливість систем та границь систем 25
1.3.6 Інші важливі пов’язані терміни 25
1.3.6.1 Первинна енергія, вторинна енергія та кінцева енергія 26
1.3.6.2 Теплотворна здатність палива та паливний ККД 30
1.3.6.3 Керування з боку постачання та з боку потреби 31
1.4 Показники енергоефективності у промисловості 31
1.4.1 Вступ: впровадження визначень показників та інших параметрів 31
1.4.2 Енергоефективність виробничих агрегатів 31
1.4.2.1 Приклад 1. Простий випадок 32
1.4.2.2 Приклад 2. Типовий випадок 34
1.4.3 Енергоефективність об’єкта 37
1.5 Питання, які потрібно враховувати при впровадженні показників енергоефективності 39
1.5.1 Задавання границі системи 39
1.5.1.1 Висновки щодо систем та границь систем 44
1.5.2 Інші важливі питання, які потрібно враховувати на рівні установки 45
1.5.2.1 Реєстрація процедур звітування, що використовуються 45
1.5.2.2 Внутрішнє виробництво та споживання енергії 45
1.5.2.3 Регенерація відходів та факелів 45
1.5.2.4 Коефіцієнт завантаження (зменшення ПВЕ при збільшенні виробництва) 47
1.5.2.5 Зміни у технологіях виробництва та розробка продукції 47
1.5.2.6 Енергетична інтеграція 49
1.5.2.7 Неефективне застосування енергії, яке сприяє сталості довкілля та/або ефективності об’єкта у цілому 49
1.5.2.8 Опалення та охолодження приміщень 50
1.5.2.9 Регіональні чинники 51
1.5.2.10 Відчутна теплота 51
1.5.2.11 Додаткові приклади 51
2 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ СЛІД РОЗГЛЯДАТИ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА РІВНІ УСТАНОВКИ 47
2.1 Системи керування енергоефективністю (ENEMS) 48
2.2 Планування та встановлення цілей і цільових показників 58

2.2.1 Постійне покращення стану навколишнього середовища та міжсередовищні наслідки 58
2.2.2 Системний підхід до керування енергією 61
2.3 Енергоефективне проєктування (EED) 62
2.3.1 Вибір технології процесу 69
2.4 Поліпшена технологічна інтеграція 71
2.5 Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності 72
2.6 Підтримання кваліфікації: кадрові ресурси 75
2.7 Комунікація 78
2.7.1 Діаграми Сенкі 79
2.8 Ефективне керування технологічними процесами 81
2.8.1 Системи керування технологічними процесами 81
2.8.2 Системи керування якістю (контролю, забезпечення якості) 85
2.9 Технічне обслуговування 87
2.10 Моніторинг та вимірювання 89
2.10.1 Методики опосередкованого вимірювання 89
2.10.2 Оцінки та розрахунки 90
2.10.3 Лічильники та системи розширеного обліку 92
2.10.4 Вимірювання витрати з низьким падінням тиску у трубопроводах 93
2.11 Енергетичні аудити та енергетична діагностика 96
2.12 Пінч-аналіз 101
2.13 Аналіз ентальпії та ексергії 107
2.14 Термоекономіка 110
2.15 Енергетичні моделі 112
2.15.1 Енергетичні моделі, бази даних та баланси 112
2.15.2 Оптимізація та керування засобами інженерного забезпечення за допомогою моделей 115
2.16 Бенчмаркінг 119
2.17 Інші інструменти 122
3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ СЛІД РОЗГЛЯДАТИ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СИСТЕМАХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ АБО ВИДАХ ДІЯЛЬНОСТІ, ЯКІ СПОЖИВАЮТЬ ЕНЕРГІЮ 115
3.1 Спалювання 116
3.1.1 Зниження температури димових газів 123
3.1.1.1 Встановлення повітряного або водяного підігрівача 125
3.1.2 Рекуперативні та регенеративні пальники 128
3.1.3 Зменшення масової витрати димових газів шляхом зменшення кількості надлишкового повітря 130
3.1.4 Регулювання та контроль пальників 131
3.1.5 Вибір палива 131
3.1.6 Киснево-паливне горіння (кисневе паливо) 133
3.1.7 Зменшення втрат тепла через ізоляцію 134
3.1.8 Зменшення втрат через отвори печі 135
3.2 Парові системи 136
3.2.1 Загальні характеристики пари 136
3.2.2 Огляд заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи парової системи ..140
3.2.3 Дросельні пристрої та використання турбін з протитиском 143
3.2.4 Технології експлуатації та керування 144
3.2.5 Підігрівання живильної води (у тому числі за допомогою економайзерів) 143
3.2.6 Запобігання утворенню та видалення накипу з поверхонь теплопередачі 146
3.2.7 Мінімізація продувок із котла 147
3.2.8 Оптимізація величини скидів випару з деаератора 150
3.2.9 Мінімізація втрат котла внаслідок роботи короткими циклами 151
3.2.10 Оптимізація систем розподілу пари 152
3.2.11 Ізоляція паропроводів та трубопроводів повернення конденсату 154
3.2.11.1 Встановлення знімних ізоляційних накладок на клапани та фітинги 155
3.2.12 Впровадження програми контролю та ремонту конденсатовідвідників 156
3.2.13 Збір і повернення конденсату в котел для повторного використання 160
3.2.14 Повторне використання м’ятої пари 161
3.2.15 Регенерація енергії з продувок котла 164
3.3 Регенерація тепла та охолодження 165
3.3.1 Теплообмінники 167
3.3.1.1 Моніторинг і технічне обслуговування теплообмінників 169

3.3.2 Теплові насоси (у тому числі з механічною рекомпресією пари – MVR) ... 170
3.3.3 Чилери та системи охолодження ... 177
3.4 Когенерація ... 180
3.4.1 Різні типи когенерації ... 180
3.4.2 Тригенерація ... 190
3.4.3 Централізоване охолодження ... 192
3.5 Електропостачання ... 195
3.5.1 Компенсація коефіцієнта потужності ... 195
3.5.2 Гармоніки ... 198
3.5.3 Оптимізація електропостачання ... 199
3.5.4 Енергоефективне керування трансформаторами ... 199
3.6 Підсистеми з приводом від електродвигунів ... 202
3.6.1 Енергоефективні двигуни (ЕЕД) ... 206
3.6.2 Вибір належного розміру двигуна ... 208
3.6.3 Частотно-регульовані приводи ... 209
3.6.4 Втрати на силову передачу ... 209
3.6.5 Ремонт двигуна ... 210
3.6.6 Перемотування ... 210
3.6.7 Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти, міжсередовищні наслідки, застосовність та інші міркування для технологій підвищення енергоефективності електричних двигунів ... 211
3.7 Системи стисненого повітря (ССП) ... 213
3.7.1 Проєктування системи ... 221
3.7.2 Частотно-регульовані приводи (VSD) ... 223
3.7.3 Високоефективні двигуни (ВЕД) ... 225
3.7.4 Центральні системи керування ССП ... 226
3.7.5 Регенерація тепла ... 230
3.7.6 Зменшення витоків із системи стисненого повітря ... 232
3.7.7 Технічне обслуговування фільтра ... 234
3.7.8 Живлення компресора (компресорів) прохолодним повітрям знадвору ... 235
3.7.9 Оптимізація рівня тиску ... 237
3.7.10 Зберігання стисненого повітря поблизу споживачів з великими коливаннями потреби ... 239
3.8 Насосні системи ... 239
3.8.1 Інвентаризація та оцінка насосних систем ... 240
3.8.2 Вибір насоса ... 241
3.8.3 Система трубопроводів ... 243
3.8.4 Технічне обслуговування ... 244
3.8.5 Керування та регулювання насосної системи ... 244
3.8.6 Двигун та силова передача ... 246
3.8.7 Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти, міжсередовищні наслідки, застосовність та інші міркування для технологій підвищення енергоефективності насосних систем ... 246
3.9 Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВіК) ... 247
3.9.1 Обігрівання та охолодження приміщень ... 248
3.9.2 Вентиляція ... 249
3.9.2.1 Оптимізація проєкту нової або модернізованої вентиляційної системи ... 250
3.9.2.2 Удосконалення існуючої вентиляційної системи в межах установки ... 254
3.9.3 Природне охолодження (фрікулінг) ... 256
3.10 Освітлення ... 258
3.11 Сушіння, сепарація та концентрування ... 263
3.11.1 Вибір оптимальної технології або поєднання технологій ... 264
3.11.2 Механічні процеси ... 268
3.11.3 Технології термічного сушіння ... 269
3.11.3.1 Розрахунок потреб в енергії та ефективності ... 269
3.11.3.2 Безпосереднє нагрівання ... 271
3.11.3.3 Опосередковане нагрівання ... 272
3.11.3.4 Перегріта пара ... 273
3.11.3.5 Регенерація тепла у процесах сушіння ... 274
3.11.3.6 Механічна рекомпресія пари або теплові насоси з випаровуванням ... 275
3.11.3.7 Оптимізація ізоляції сушильної системи ... 277
3.11.4 Механізми випромінювання ... 277

3.11.5 Автоматизоване керування технологічним процесом / автоматизація технологічного процесу у процесах термічного сушіння 280
4 НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ 267
4.1 Вступ 267
4.2 Найкращі доступні технології та методи управління для досягнення енергоефективності на рівні установки 273
4.2.1 Керування енергоефективністю 273
4.2.2 Планування та встановлення цілей і цільових показників 274
4.2.2.1 Постійне покращення стану навколишнього середовища 274
4.2.2.2 Визначення аспектів енергоефективності установки та можливостей для заощадження енергії 275
4.2.2.3 Системний підхід до керування енергією 277
4.2.2.4 Встановлення та перегляд цілей і показників енергоефективності 277
4.2.2.5 Бенчмаркінг 278
4.2.3 Енергоефективне проєктування (EED) 279
4.2.4 Поліпшена технологічна інтеграція 280
4.2.5 Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності 280
4.2.6 Підтримання кваліфікації 281
4.2.7 Ефективне керування технологічними процесами 281
4.2.8 Технічне обслуговування 282
4.2.9 Моніторинг та вимірювання 282
4.3 Найкращі доступні технології та методи управління для досягнення енергоефективності в енергоспоживчих системах, технологічних процесах, діяльності та обладнанні 283
4.3.1 Спалювання 283
4.3.2 Парові системи 287
4.3.3 Регенерація тепла 289
4.3.4 Когенерація 289
4.3.5 Електропостачання 290
4.3.6 Підсистеми з приводом від електродвигунів 291
4.3.7 Системи стисненого повітря (ССП) 293
4.3.8 Насосні системи 294
4.3.9 Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВіК) 295
4.3.10 Освітлення 297
4.3.11 Сушіння, сепарація та концентрування 298
5 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ 297
5.1 Безполуменеве горіння (безполуменеве окиснення) 297
5.2 Сховище енергії на стисненому повітрі 301
6 ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ 303
6.1 Графік та хід виконання роботи 303
6.2 Джерела інформації 303
6.3 Рівень згоди 304
6.4 Прогалини та повтори у знаннях і рекомендації щодо майбутнього збору інформації та досліджень 305
6.4.1 Прогалини та повтори у даних 305
6.4.2 Конкретні експлуатаційні дані 308
6.4.3 Питання для дослідження та подальша робота 308
6.5 Перегляд цього документа 309
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 310
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ 319
7 ДОДАТКИ 329
7.1 Енергія та закони термодинаміки 329
7.1.1 Загальні принципи 329
7.1.1.1 Визначення характеристик систем та процесів 329
7.1.1.2 Форми зберігання та переносу енергії 330
7.1.1.2.1 Зберігання енергії 330
7.1.1.2.2 Перенос енергії 330
7.1.2 Перший і другий закони термодинаміки 331
7.1.2.1 Перший закон термодинаміки: енергетичний баланс 331
7.1.2.1.1 Баланс енергії для закритої системи 332
7.1.2.1.2 Баланс енергії для відкритих систем 332
7.1.2.1.3 ККД за першим законом термодинаміки: термічний ККД та коефіцієнт продуктивності 332
7.1.2.2 Другий закон термодинаміки: ентропія 333

7.1.2.2.1 Ентропія ... 333
7.1.2.2.2 Баланс ентропії для закритих систем ... 334
7.1.2.3 Баланс ентропії для відкритої системи ... 334
7.1.2.4 Аналіз ексергії ... 335
7.1.2.4.1 Ексергія ... 335
7.1.2.4.2 Баланси ексергії ... 335
7.1.2.4.3 ККД за другим законом термодинаміки: ексергетичний ККД ... 336
7.1.3 Термодинамічні діаграми, таблиці, банки даних та комп'ютерні програми ... 336
7.1.3.1 Термодинамічні діаграми ... 336
7.1.3.2 Таблиці властивостей, банки даних та комп'ютерні програми ... 337
7.1.3.3 Виявлення проявів неефективності ... 338
7.1.4 Умовні позначення ... 338
7.1.4.1 Список використаної літератури ... 338
7.2 Ситуаційні дослідження термодинамічних незворотностей ... 340
7.2.1 Випадок 1. Дросельні пристрої ... 340
7.2.2 Випадок 2. Теплообмінники ... 342
7.2.3 Випадок 3. Процеси змішування ... 344
7.3 Приклад застосування заходів з підвищення енергоефективності ... 348
7.3.1 Крекінгова установка для виробництва етилену ... 348
7.3.2 Виробництво мономера вінілацетату (VAM) ... 349
7.3.3 Стан гарячого прокату на сталеливарному заводі ... 350
7.4 Приклади реалізації систем керування енергоефективністю ... 354
7.5 Приклади енергоефективних основних процесів ... 357
7.6 Приклад підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності: високі стандарти господарської діяльності ... 360
7.7 Моніторинг та облік ... 361
7.7.1 Кількісні вимірювання: облік ... 361
7.7.2 Інженерне забезпечення на базі моделей: оптимізація та керування ... 361
7.7.3 Енергетичні моделі, бази даних та баланси ... 362
7.8 Інші інструменти для аудиту та підкріплення інших методик, що використовуються на рівні об'єкта ... 366
7.8.1 Інструменти для аудиту та енергетичного менеджменту ... 366
7.8.2 Протокол вимірювання та верифікації ... 367
7.9 Бенчмаркінг ... 368
7.9.1 Нафтопереробні заводи з виробництва мінеральних олив ... 368
7.9.2 Австрійське енергетичне агентство ... 369
7.9.3 Схема для малого та середнього бізнесу у Норвегії ... 370
7.9.4 Ковенанти про бенчмаркінг у Нідерландах ... 370
7.9.5 Бенчмаркінг у скляній промисловості ... 371
7.9.6 Розподіл енергії / викидів CO_2 між різними продуктами у складному технологічному процесі, що складається з послідовних етапів ... 372
7.10 Приклади до частини 3 ... 373
7.10.1 Пара ... 373
7.10.2 Регенерація відхідного тепла ... 381
7.10.3 Когенерація ... 385
7.10.4 Тригенерація ... 386
7.11 Керування потребою ... 387
7.12 Енергосервісна компанія (ESCO) ... 388
7.12.1 Керування технічними засобами ... 391
7.12.2 Послуги кінцевого енергопостачання (також відомі як контракти на установку) ... 392
7.13 Сайт Європейської комісії та Національні плани дій з енергоефективності у країнах-членах ЄС 393
7.14 Схема торгівлі квотами на викиди (ETS) ЄС ... 394
7.15 Оптимізація транспортних систем ... 396
7.15.1 Енергетичний аудит для транспортних ланцюжків ... 396
7.15.2 Енергетичний менеджмент для автомобільного транспорту ... 397
7.15.3 Удосконалення упаковки для оптимізації використання транспорту ... 401
7.16 Структура енергетики Європи ... 402
7.17 Компенсація коефіцієнта потужності ... 404

Перелік рисунків

Рисунок 1.1. Відсоток потреби у первинній енергії в ЄС, що споживається галузями переробної промисловості [145, Європейська комісія, 2000] 1
Рисунок 1.2. Підвищення концентрацій парникових газів в атмосфері з 1750 року у млн$^{-1}$ еквіваленту CO_2 за різними сценаріями 2
Рисунок 1.3. Споживання енергії у хімічній промисловості, 1975 – 2003 роки 4
Рисунок 1.4. Термодинамічна система 12
Рисунок 1.5. Діаграма «тиск – температура» (фазові діаграма) 17
Рисунок 1.6. Визначення первинної, вторинної та кінцевої енергії 26
Рисунок 1.7. Енергоносії для простого виробничого агрегату 32
Рисунок 1.8. Енергоносії для виробничого агрегату 34
Рисунок 1.9. Вхідні та вихідні ресурси об’єкта 37
Рисунок 1.10. Границя системи: старий електродвигун 40
Рисунок 1.11. Границя системи: новий електродвигун 40
Рисунок 1.12. Границя системи: новий електродвигун і старий насос 41
Рисунок 1.13. Границя системи: новий електродвигун і новий насос 41
Рисунок 1.14. Новий електродвигун і новий насос із постійною вихідною потужністю 42
Рисунок 1.15. Новий електродвигун, новий насос і старий теплообмінник 42
Рисунок 1.16. Новий електродвигун, новий насос і два теплообмінники 43
Рисунок 1.17. Витрата енергії залежно від температури надворі 50
Рисунок 2.1. Постійне вдосконалення системи керування енергоефективністю 49
Рисунок 2.2. Приклад можливих коливань споживання енергії з часом 59
Рисунок 2.3. Приклади сукупної вартості володіння типовим промисловим обладнанням (за життєвий цикл понад 10 років) 62
Рисунок 2.4. Потенціал для заощаджень та інвестиції на етапі проєктування у порівнянні з етапом експлуатації 63
Рисунок 2.5. Сфери, на які можна вплинути на етапі проєктування, але не на етапі експлуатації ...63
Рисунок 2.6. Рекомендована організація робіт з планування та проєктування нових об’єктів за участі експерта з енергетики 67
Рисунок 2.8. Структура системи розширеного обліку 93
Рисунок 2.9. Властивості моделей енергетичного аудиту 96
Рисунок 2.10. Схема комплексного енергетичного аудиту 101
Рисунок 2.11. Два гарячі потоки 102
Рисунок 2.12. Гаряча результуюча крива 102
Рисунок 2.13. Результуючі криві, на яких показана точка найбільшого зближення (пінч) та цільові енергетичні значення 103
Рисунок 2.14. Схематичне зображення систем вище і нижче пінча 104
Рисунок 2.15. Теплопередача через пінч від стоку тепла до джерела тепла 104
Рисунок 2.16. Заощадження енергії, виявлені за допомогою пінч-аналізу 107
Рисунок 2.17. Залежність коефіцієнта потужності пристрою від коефіцієнта завантаження 113
Рисунок 3.1. Енергетичний баланс спалювальної установки 121
Рисунок 3.2. Схема спалювальної системи з повітряним підігрівачем 125
Рисунок 3.3. Принцип роботи регенеративних пальників 128
Рисунок 3.4. Різні області горіння 129
Рисунок 3.5. Типова схема виробництва та розподілу пари 139
Рисунок 3.6. Сучасна система керування для оптимізації використання котла 142
Рисунок 3.7. Підігрівання живильної води 143
Рисунок 3.8. Схема компресійного теплового насоса 171
Рисунок 3.9. Схема абсорбційного теплового насоса 173
Рисунок 3.10. Проста установка з механічною рекомпресією пари [18, Асбланд, 2005] 174
Рисунок 3.11. Залежність коефіцієнта продуктивності (COP) від підвищення температури для типової системи з механічною рекомпресією пари (MVR) 174
Рисунок 3.12. Електростанція з протитиском 182
Рисунок 3.13. Конденсаційна електростанція з відбором пари 182
Рисунок 3.14. Газотурбінна електростанція з котлом-утилізатором 183
Рисунок 3.15. Електростанція комбінованого циклу 184
Рисунок 3.16. Двигун внутрішнього згорання або поршневий двигун 185
Рисунок 3.17. Порівняння ефективності конденсаційної електростанції та установки з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії 187
Рисунок 3.18. Тригенерація у порівнянні з окремим виробництвом енергії для великого аеропорту 190

Рисунок 3.19. Тригенерація дає змогу оптимізувати роботу установки протягом року 191
Рисунок 3.20. Централізоване охолодження взимку за допомогою технології природного охолодження (фрікулінгу) 193
Рисунок 3.21. Централізоване охолодження влітку за допомогою абсорбційної технології 193
Рисунок 3.22. Реактивна та повна потужність 196
Рисунок 3.23. Схема трансформатора 200
Рисунок 3.24. Зв'язок між втратами у залізі та міді, ККД та коефіцієнтом завантаження 201
Рисунок 3.25. Схеми звичайних та енергоефективних насосних систем 203
Рисунок 3.26. Двигун компресора з номінальною вихідною потужністю 24 МВт 205
Рисунок 3.27. Енергетичний ККД трифазних асинхронних двигунів змінного струму 207
Рисунок 3.28. Залежність ККД від навантаження для електродвигуна 208
Рисунок 3.29. Вартість нового двигуна у порівнянні з перемотуванням 211
Рисунок 3.30. Вартість життєвого циклу електродвигуна 212
Рисунок 3.31. Типові компоненти системи стисненого повітря (ССП) 218
Рисунок 3.32. Типи компресорів 218
Рисунок 3.33. Різні профілі потреби 220
Рисунок 3.34. Різні види керування компресором 237
Рисунок 3.35. Напір, потужність і ККД, які відповідають подачі з максимальним ККД 242
Рисунок 3.36. Залежність напору насоса від подачі 242
Рисунок 3.37. Залежність напору насоса від подачі 243
Рисунок 3.38. Приклад споживання енергії динамічним насосом у випадку двох систем регулювання насоса 245
Рисунок 3.39. Типова вартість життєвого циклу промислового насоса середнього розміру 246
Рисунок 3.40. Схема системи ОВіК 247
Рисунок 3.41. Вентиляційна система 250
Рисунок 3.42. Блок-схема оптимізації споживання енергії у вентиляційних системах 251
Рисунок 3.43. Можлива схема реалізації природного охолодження 257
Рисунок 3.44. Споживання енергії деякими процесами сепарації 267
Рисунок 3.45. Діапазони питомої витрати вторинної енергії для різних типів сушарок при випаровуванні води 270
Рисунок 4.1. Зв'язки між НДТМ для енергоефективності 272
Рисунок 5.1. Принцип роботи регенеративних пальників 297
Рисунок 5.2. Чистий вихід тепла, отриманий у результаті випробування печей зі звичайними пальниками та пальниками HiTAC 298
Рисунок 5.3. Умови безполуменевого горіння 299
Рисунок 7.1. Діаграма «температура – ентропія» 337
Рисунок 7.2. Процес дроселювання пари 341
Рисунок 7.3. Діаграми T-S та h-S для процесу дроселювання пари у прикладі 341
Рисунок 7.4. Протитечійний теплообмінник 343
Рисунок 7.5. Процес перегрівання потоку пари 343
Рисунок 7.6. Діаграми T-s та h-s для процесу перегрівання пари у прикладі 344
Рисунок 7.7. Залежність величини I_i/RT_0 від молярної частки одного компонента суміші 345
Рисунок 7.8. Камера змішування двох потоків 346
Рисунок 7.9. Діаграма T-s для процесу змішування у прикладі 347
Рисунок 7.10. Вхідні та вихідні потоки установки з виробництва мономера вінілацетату (VAM) 350
Рисунок 7.11. Технологічна схема прокатного стану 351
Рисунок 7.12. Питома витрата енергії на прокатному стані 352
Рисунок 7.13. Зміни у питомій витраті енергії на прокатному стані 353
Рисунок 7.14. Технологічна схема глиноземного заводу Eurallumina 381
Рисунок 7.15. Робочий цикл нагрівників 382
Рисунок 7.16. Система регенерації тепла, під'єднана до системи централізованого опалення 384
Рисунок 7.17. Пояснення реактивної та повної потужності 404

Перелік таблиць

Таблиця 1.1. Орієнтовні значення нижчої та вищої теплотворної здатності для різних видів палива 30
Таблиця 2.1. Розбиття інформації для систем і технологій, описаних у частинах 2 та 3 47
Таблиця 2.2. Приклади діяльності у ході енергоефективного проєктування нового промислового об'єкта 64
Таблиця 2.3. Досягнуті заощадження та інвестиції у п'яти пілотних проєктах з застосуванням енергоефективного проєктування 66
Таблиця 2.4. Пілотний проєкт EUREM: заощадження на одного учасника 77
Таблиця 2.5. Приклади падіння тиску, зумовленого різними вимірювальними системами 94
Таблиця 2.6. Пінч-аналіз: деякі приклади застосування та заощадження 106
Таблиця 2.7. Рушії для використання оптимізатора засобів інженерного забезпечення у різних бізнес-процесах 118
Таблиця 3.1. Розбиття інформації для систем і технологій, описаних у частинах 2 та 3 116
Таблиця 3.2. Огляд технологій спалювання, які роблять внесок у підвищення енергоефективності, описаних у Довідкових документах з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) та енергоефективності (ENE) 120
Таблиця 3.3. Розрахунок коефіцієнта Зігерта для різних типів палива 126
Таблиця 3.4. Можливі заощадження за рахунок підігрівання повітря, що подається для згорання 127
Таблиця 3.5. Енергія, що використовується для виробництва пари у кількох галузях 137
Таблиця 3.6. Поширені технології підвищення енергоефективності для промислових парових систем 142
Таблиця 3.7. Дані вказано для випадку з природним газом у якості палива, часткою надлишкового повітря 15 % та кінцевою температурою у димовій трубі 120 °C. Адаптовано з джерела [123, Міністерство енергетики США] 145
Таблиця 3.8. Різниці у теплопередачі 146
Таблиця 3.9. Вміст енергії у продувках 149
Таблиця 3.10. Втрати тепла на 30 м неізольованого паропроводу 154
Таблиця 3.11. Приблизні заощадження енергії у ватах завдяки встановленню знімних ізоляційних кришок клапанів 155
Таблиця 3.12. Швидкість скиду пари з конденсатовідвідника, який протікає 157
Таблиця 3.13. Різні експлуатаційні фази конденсатовідвідників 157
Таблиця 3.14. Експлуатаційні коефіцієнти для визначення втрат пари у конденсатовідвідниках .158
Таблиця 3.15. Коефіцієнт завантаження для визначення втрат пари 158
Таблиця 3.16. Відсоток повної енергії, присутній у конденсаті за атмосферного тиску та у м'ятій парі 162
Таблиця 3.17. Енергія, регенерована з втрат на продувку 164
Таблиця 3.18. Приклади вимог технологічного процесу та НДТМ у документі BREF ICS 178
Таблиця 3.19. Приклади характеристик об'єктів та НДТМ у документі BREF ICS 179
Таблиця 3.20. Перелік технологій когенерації і співвідношення електричної та теплової енергії .180
Енергетичні установки, що працюють на відходах (W-t-E) 181
Таблиця 3.21. Розрахункове споживання електроенергії в промисловості країн ЄС-25 у 2002 році 197
Таблиця 3.22. Заходи з заощадження електроенергії у підсистемах з приводом від двигуна 211
Таблиця 3.23. Заходи з заощадження енергії у ССП 216
Таблиця 3.24. Типові компоненти ССП 217
Таблиця 3.25. Приклад заощаджень коштів 231
Таблиця 3.26. Заощадження, отримані шляхом живлення компресора прохолодним повітрям знадвору 236
Таблиця 3.27. Характеристики та ефективність різних типів освітлення 260
Таблиця 3.28. Досяжні заощадження на системах освітлення 262
Таблиця 3.29. Типи випарників та питомі рівні споживання 276
Таблиця 4.1. Технології для підвищення енергоефективності спалювальних систем 286
Таблиця 4.2. Технології для підвищення енергоефективності парових систем 288
Таблиця 4.3. Технології компенсації коефіцієнта потужності з метою підвищення енергоефективності 290
Таблиця 4.4. Технології для підвищення енергоефективності електропостачання 291
Таблиця 4.5. Технології для підвищення енергоефективності електродвигунів 292
Таблиця 4.6. Технології для підвищення енергоефективності систем стисненого повітря 294
Таблиця 4.7. Технології для підвищення енергоефективності насосних систем 295

Таблиця 4.8. Технології для підвищення енергоефективності систем опалення, вентиляції і кондиціювання повітря 297
Таблиця 4.9. Технології для підвищення енергоефективності освітлювальних систем 298
Таблиця 4.10. Технології для підвищення енергоефективності систем сушіння, сепарації та вентиляції 299
Таблиця 7.1. Деякі значення похідної 345
Таблиця 7.2. Максимальні значення для сумішей 346
Таблиця 7.3. Потужність виробництва акриламіду у світі, 10^5 тонн/рік 357
Таблиця 7.4. Порівняння процесів виробництва акриламіду 357
Таблиця 7.5. Порівняння споживання енергії у МДж/кг акриламіду 358
Таблиця 7.6. Порівняння утворення CO_2 у кг CO_2/кг акриламіду 358
Таблиця 7.7. Заощадження енергії, досягнуті завдяки системі чорнила з електронно-променевим закріпленням 359
Таблиця 7.8. Проста електрична модель 362
Таблиця 7.9. Дані у моделі теплової енергії (з боку генераторів) 364
Таблиця 7.10. Дані у моделі теплової енергії (з боку користувачів) 365
Таблиця 7.11. Експлуатаційні коефіцієнти для визначення втрат пари у конденсатовідвідниках 378
Таблиця 7.12. Коефіцієнт завантаження для визначення втрат пари 378
Таблиця 7.13. Енергія, яку потенційно можна регенерувати у конденсаторі випару, за різних швидкостей пари та діаметрів трубопроводу 379
Таблиця 7.14. Масовий відсоток пари, отриманої з конденсату, залежно від тиску конденсату і тиску пари 380
Таблиця 7.15. Технічні характеристики тригенераційної установки аеропорту Барахас 387
Таблиця 7.16. Переваги та недоліки орендування обладнання для систем стисненого повітря 390
Таблиця 7.17. Переваги та недоліки постачання системи стисненого повітря енергосервісною компанією 391
Таблиця 7.18. Переваги та недоліки постачання енергії енергосервісною компанією 392
Таблиця 7.19. Середні коефіцієнти викидів, якими супроводжується виробництво електроенергії 402
Таблиця 7.20. Середні коефіцієнти викидів для виробництва пари 404

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей документ разом з іншими Довідковими документами з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) у цій серії (див. перелік на звороті титульної сторінки) покликаний охопити питання енергоефективності у рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Енергоефективність (ENE) не обмежується якимось одним сектором промисловості зі згаданих у Додатку 1 до Директиви як такої, а радше є наскрізним питанням, яке потрібно враховувати у всіх випадках (як описано нижче). Директива містить безпосередні та опосередковані посилання на енергію та енергоефективності, які трапляються у таких пунктах і статтях (у тому порядку, в якому вони зустрічаються у Директиві):

- (Пункт) 2. Беручи до уваги, що цілі та принципи політики Європейської спільноти у сфері навколишнього середовища, викладені у Статті 130r Договору, полягають, зокрема, у запобіганні, зменшенні і, наскільки це можливо, усуненні забруднення шляхом надання першочергового значення втручанню у самому джерелі забруднення та **забезпечення раціонального керування природними ресурсами**, згідно з принципом матеріальної відповідальності забруднювача та принципом запобігання забрудненню; *(загалом більша частина енергії у Європі виробляється з невідновлюваних природних ресурсів)*

- (Пункт) 3. Беручи до уваги, що П'ята програма дій з охорони навколишнього середовища, ... у резолюції від 1 лютого 1993 року про програму політики та дій Європейської спільноти у галузі навколишнього середовища та сталого розвитку (4) надає **першочергове значення контролю забруднень як важливій складовій руху до більш сталої рівноваги між людською діяльністю і соціально-економічним розвитком, з одного боку, та природними ресурсами і здатністю природи до відновлення, з іншого боку**

- Стаття 2 (2): «забруднення» означає безпосереднє або опосередковане внесення вібрацій, **теплоти** або шуму, які можуть бути шкідливими для людського здоров'я або якості навколишнього середовища. *(вібрація, теплота і шум – усе це прояви енергії)*

- Стаття 3: Країни-члени ЄС повинні вживати необхідних заходів, щоб уповноважені органи могли забезпечити експлуатацію установок у такий спосіб, за якого:
  (d) **енергія використовується ефективно**

- Стаття 6.1: Країни-члени ЄС повинні вживати необхідних заходів, аби переконатися, що заявка в уповноважений орган на надання дозволу містить опис:
  - сировини та допоміжних матеріалів, інших речовин **та енергії, що використовується або виробляється** установкою

- Стаття 9.1: Країни-члени ЄС повинні переконатися, що дозвіл містить усі заходи, необхідні для дотримання вимог Статей 3 та 10 **(у тому числі щодо енергоефективності, див. Статтю 3 вище)**

- Додаток IV (пункт 9). Одним із питань, яке потрібно враховувати при визначенні НДТМ на загальному або конкретному рівні, є споживання та характер видів сировини (у тому числі води), що використовуються у технологічному процесі, **та їх енергоефективність**.

У Директиву з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) внесені поправки Директивою Ради 2003/87/ЕС від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти (Директива щодо Схеми торгівлі квотами на викиди – ETS):

- Стаття 9 (3): У випадку видів діяльності, перелічених у Додатку 1 до Директиви 2003/87/ЕС, країни-члени ЄС можуть вирішити **не встановлювати вимоги, пов'язані з енергоефективністю**, для **агрегатів згоряння або інших агрегатів, що викидають вуглекислий газ**, на об'єкті.

Питання енергоефективності має першочергове значення у Європейському Союзі, і цей документ щодо енергоефективності містить посилання на інші інструменти політики та юридичні документи Європейської комісії. Головні їх приклади такі:

Інструменти політики:

- Берлінська декларація, березень 2007 року;
- План дій з енергоефективності, жовтень 2007 року, COM (2006) 545, остаточна версія;
- Зелена книга ЄС про енергоефективність, COM (2005) 265, остаточна версія від 22 червня 2005 року;
- Повідомлення Комісії (COM (2001) 580, остаточна версія) про впровадження Європейської програми у галузі зміни клімату (ECCP) стосовно енергоефективності промислових установок (у якій прямо доручено розробити цей документ, див. «Передмову»);
- Зелена книга «Реалізація Європейської стратегії забезпечення надійності енергопостачання» (COM (2000) 769, остаточна версія) від 29 листопада 2000 року;

Юридичні документи:

- Директива Ради Європи 2004/8/ЕС від 11 лютого 2004 року щодо сприяння когенерації з урахуванням попиту на корисне тепло на внутрішньому ринку енергоресурсів, та Директива 92/42/ЕЕС, що вносить в неї зміни;
- Директива Ради Європи 2006/32/ЕС від 5 квітня 2006 року про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги, яка анулює Директиву Ради Європи 93/76/ЕЕС;
- Рамкова Директива про встановлення вимог до екологічно свідомого дизайну для енергоспоживчих продуктів – EuP (2005/32/ЕС).

Інші інструменти для реалізації політики:

- План дій для екологічної промислової політики;
- Комплект інструментів з енергоефективності для малого та середнього бізнесу, розроблений у рамках Схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS);
- дослідження та проєкти під егідою програм «Раціональна енергетика – Європа» та SAVE, присвячених енергоефективності у будівлях та промисловості.

Цей документ також перетинається з документами BREF для конкретних секторів промисловості («галузевими BREF») – зокрема, з Довідковим документом з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), у якому енергоефективність є однією з головних тем. Він також перетинається з Довідковими документами з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) та загальних систем переробки / керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі (CWW) («наскрізні» BREF, застосовні до більш ніж одного сектора).

Енергоефективність у цьому документі

Програмні заяви відносять енергетичну політику (у тому числі скорочення споживання енергії) та захист клімату (зокрема, зменшення впливу газоподібних продуктів згорання) до основних пріоритетів Європейського Союзу.

У Директиву з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) були внесені поправки з метою врахування Директиви щодо Схеми торгівлі квотами на викиди (ETS)[1] (та внесення поправок для врахування Орхуської конвенції). Проте ефективне використання енергії залишається одним із основних її принципів. Як підсумок, у випадку видів діяльності, перелічених у Додатку 1 до Директиви 2003/87/ЕС, країни-члени ЄС можуть лише вирішити не встановлювати вимоги, пов'язані з енергоефективністю, для агрегатів згоряння або інших агрегатів, що безпосередньо викидають вуглекислий газ. Ця гнучкість не стосується агрегатів на тій же установці, які не викидають вуглекислий газ напряму.

Таким чином, цей документ містить вказівки щодо енергоефективності всіх установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень (та їх складових агрегатів).

Ці вказівки, викладені у цьому документі, також можуть бути корисними для операторів у галузей, які не входять до обсягу комплексного запобігання та контролю забруднень.

Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) стосується видів діяльності, визначених у її власному Додатку 1, і безпосередньо пов'язаних з ними видів діяльності, які мають з ними технічні зв'язки. Вона не стосується продукції. Таким чином, енергоефективність у цьому контексті не охоплює жодних міркувань щодо енергоефективності продукції – в тому числі у випадках, коли підвищене споживання енергії установкою може сприяти виробництву більш енергоефективного продукту (наприклад, коли додаткова енергія витрачається на виробництво міцнішої сталі, яка дає змогу витрачати менше сталі у будівництві автомобілів, а відтак заощадити паливо). Деякі заходи з найкращих практик, які можуть бути застосовані оператором, але виходять за межі дозволів, що надаються в рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, розглянуті у додатках (наприклад, для транспорту, див. Додаток 7.15).

Ефективне використання енергії та ослаблення залежності розвитку від споживання енергії – це одна з головних цілей політик сталого розвитку. Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) розглядає енергію як ресурс і вимагає, щоб її використовували ефективно, не вказуючи джерела енергії. Тому у цьому документі енергоефективність розглядається з урахуванням усіх джерел енергії та їх використання в установці для виробництва продукції або надання послуг. У ньому не розглядається заміна первинного палива вторинним паливом або відновлюваними джерелами енергії у якості заходу з підвищення енергоефективності. Заміна викопного палива іншими варіантами – це важливе питання, з яким пов'язаний ряд переваг, як-от чисте зниження викидів CO_2 та інших парникових газів, поліпшення сталості довкілля та надійності енергопостачання, проте воно розглядається в інших місцях. У деяких документах BREF для конкретних секторів розглядається використання вторинного палива та відходів у якості джерел енергії.

У деяких довідкових джерелах використовується термін «керування енергоефективністю», а в інших – «енергетичний менеджмент». У цьому документі (якщо не зазначено інше) обидва терміни означають досягнення ефективного використання фізичної енергії. Обидва терміни також можуть означати керування витратами на енергію: зменшення фізичної кількості енергії, як правило, призводить до зменшення витрат. Проте існують методики керування споживанням енергії (зокрема, зниження пікових потреб), які дають змогу

[1] Директива 2003/87/ЕС Європейського парламенту та Ради від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти, та Директива Ради 2008/1/ЕС, що вносить поправку до неї. Див. Додаток 7.14

залишатися в нижніх зонах структури тарифів, встановленої постачальниками, і таким чином зменшити витрати, не обов'язково зменшуючи загальне споживання енергії. Ці методики не вважаються одними з енергоефективних у тому розумінні, яке визначене в Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC).

Цей документ був розроблений після видання першої редакції всіх інших документів BREF. Тому передбачається, що він слугуватиме довідковим документом з енергоефективності при перегляді документів BREF.

Питання енергоефективності, які розглядаються у цьому документі

Частина	Питання
1	Вступ і визначення
1.1	Ознайомча інформація про енергоефективність у ЄС та цьому документі.
	Економіка та міжсередовищні наслідки (які детальніше розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для економічних та міжсередовищних наслідків (ECM))
1.2	Терміни, що використовуються у сфері енергоефективності – наприклад, енергія, робота, потужність – та ознайомча інформація про закони термодинаміки
1.3	Показники енергоефективності та їх використання
	Важливість визначення агрегатів, систем та границь
	Інші пов'язані терміни – наприклад, первинна та вторинна енергія, теплотворна здатність, тощо
1.4	Використання показників енергоефективності з точки зору низхідного підходу до об'єкта у цілому та проблеми, які при цьому виникають
1.5	Енергоефективність з точки зору висхідного підходу та проблеми, які при цьому виникають
	Важливість системного підходу для підвищення енергоефективності
	Важливі питання, пов'язані з впровадженням визначення енергоефективності
2	Технології, які слід розглядати для досягнення енергоефективності на рівні установки
	Важливість стратегічного погляду на об'єкт у цілому, встановлення цільових показників та планування заходів перед вкладанням (подальших) ресурсів у енергоощадну діяльність
2.1	Керування енергоефективністю за допомогою спеціальних або існуючих систем керування
2.2	Планування та встановлення цілей і цільових показників шляхом: • постійного покращення стану навколишнього середовища • розгляду установки у цілому та на рівні її складових систем
2.3	Врахування енергоефективності на етапі проєктування нової або модернізованої установки, у тому числі: • вибір енергоефективних технологій процесу
2.4	Поліпшення технологічної інтеграції між технологічними процесами, системами та установки для підвищення ефективності споживання енергії та сировини
2.5	Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності
2.6	Підтримання достатньої кваліфікації на всіх рівнях для отримання енергоефективних систем – не лише у сфері енергетичного менеджменту, а й у сфері експертних знань про технологічні процеси та системи
2.7	Обмін інформацією про ініціативи з підвищення енергоефективності та досягнуті результати, у тому числі: • використання діаграм Сенкі
2.8	Ефективне керування технологічними процесами: забезпечення максимально ефективного протікання технологічних процесів для більшої енергоефективності, мінімізація кількості некондиційної продукції, тощо шляхом одночасного застосування двох засобів: • системи керування технологічними процесами • системи (статистичного) керування якістю
2.9	Важливість планового технічного обслуговування та оперативного позапланового ремонту недоліків, через які втрачається енергія, як-от витоки пари та стисненого повітря
2.10	Моніторинг та вимірювання – це життєво важливі завдання, до яких належать: • якісні методики • кількісні вимірювання за допомогою систем безпосереднього обліку та розширеного обліку • застосування витратомірних пристроїв нового покоління • використання енергетичних моделей, баз даних та балансів • оптимізація засобів інженерного забезпечення за допомогою розширеного обліку та програмних засобів керування
2.11	Аудит енергоефективності – це життєво необхідна методика для визначення областей споживання енергії, можливостей заощадження енергії та перевірки результатів вжитих заходів
Частина	**Питання**

2.12	Пінч-аналіз – це корисний інструмент для випадків, коли на об'єкті існують потоки нагрівання та охолодження, який створює можливості для інтеграції енергообміну
2.13	Аналіз ексергії та ентальпії – це корисні інструменти, які дають змогу оцінити можливість заощадження енергії і визначити, чи можна використати надлишкову енергію
2.14	Термоекономіка поєднує в собі термодинамічний та економічний аналіз, даючи змогу зрозуміти, де можна заощадити енергію та сировину
2.15	Енергетичні моделі охоплюють: • використання моделей, баз даних і балансів • використання складного моделювання для оптимізації керування засобами інженерного забезпечення, у тому числі енергією
2.16	Бенчмаркінг (еталонне порівняння) – це життєво важливий інструмент для оцінки робочих показників установки, технологічного процесу або системи шляхом зіставлення з зовнішніми або внутрішніми рівнями споживання енергії чи енергоефективними методами
3	Технології, які слід розглядати для досягнення енергоефективності на рівні системи та на рівні складових компонентів. Тут описані технології, які слід розглядати при оптимізації систем, та технології для обладнання, яке не було оптимізоване у рамках перегляду всієї системи
3.1	Основні технології спалювання розглядаються у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок (LCP BREF). Якщо важливою складовою технологічного процесу, для якого актуальне комплексне запобігання та контроль забруднень, є згорання (наприклад, у випадку скловарних печей), технології, які використовуються у такому процесі, розглядаються у відповідних галузевих документах BREF. У цьому документі виділено основні технології і розглянуто додаткові технології та нюанси
3.2	Парові системи
	Регенерація тепла за допомогою теплообмінників та теплових насосів *Примітка. Системи охолодження розглядаються у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для промислових систем охолодження (ICS BREF)*
3.4	Пояснюються основні типи когенерації, а також тригенерація та використання тригенерації у централізованому опаленні та охолодженні
3.5	Спосіб використання електроенергії в установці може призвести до втрат енергії у внутрішніх та зовнішніх системах постачання
3.6	Підсистеми з приводом від електродвигунів розглядаються у цілому, хоча деякі спеціальні системи розглядаються більш детально (див. розділи 3.7 та 3.8)
3.7	Використання та оптимізація систем стисненого повітря (CAS)
3.8	Насосні системи та їх оптимізація
3.9	Опалення, вентиляція і кондиціювання повітря (ОВіК)
3.10	Освітлення та його оптимізація
3.11	Процеси сушіння, сепарації і концентрування та їх оптимізація
4	Висновки щодо енергоефективних технологій у контексті НДТМ
Додатки	Додаткові дані та більш детальні приклади

Границя між цим документом та іншими документами BREF
У цьому документі наведені:

- наскрізні вказівки та висновки стосовно того, що вважається НДТМ для підвищення енергоефективності у загальному розумінні для всіх видів діяльності, перелічених у Додатку 1 до Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC);
- посилання на документи BREF, у яких вже були детально розглянуті конкретні технології забезпечення енергоефективності, і які можна застосовувати в інших секторах. Наприклад:
  - у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок (LCP BREF) розглядається енергоефективність у контексті спалювання, і зазначено, що ці технології можна застосовувати до спалювальних установок потужністю менше 50 МВт;
  - Довідковий документ з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS BREF);
- детальніша інформація про технології, які згадуються в інших документах BREF, якщо вона вважається корисною (наприклад, про пінч-аналіз уже йшлося в Довідкових документах з НДТМ для виробництва хімічної продукції тонкого органічного синтезу (OFC) та для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі (SIC).

Цей документ не містить:

- інформації, специфічної для секторів, охоплених іншими документами BREF. Наприклад:
  - енергоефективність специфічних технологічних процесів великосерійної неорганічно-хімічної промисловості розглядається у Довідкових документах з НДТМ для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S) і для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництво твердих та інших речовин (LVIC-AAF);
  - енергоефективність технологій нанесення гальванічного покриття розглядається у документі BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію;
- НДТМ, визначених для конкретних секторів.

Проте у джерелі [283, EIPPCB] для довідок наведено підсумок НДТМ, специфічних для конкретних секторів, з інших документів BREF.

Цей документ надає загальні вказівки, і тому також може містити інформацію, корисну для інших галузей, на які не поширюється дія Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC).

Як використовувати цей документ у поєднанні з галузевими BREF для конкретних секторів
Щоб гарантувати оптимальне використання інформації про (найкращі доступні) технології та методи управління у сферах, охоплених як галузевими, так і наскрізними документами BREF, потрібно вдатися до наведених нижче кроків (див. Рисунок 1). Приклади наведені у контексті енергоефективності (ENE).

Крок 1: вивчіть інформацію у **галузевому документі BREF для відповідного сектора**.

Знайдіть у галузевому BREF для конкретного сектора потрібні технології та НДТМ – наприклад, для енергоефективності. Якщо даних достатньо, підготуйте дозвіл, користуючись цими НДТМ та підтверджувальними даними.

Крок 2: знайдіть, вивчіть і додайте інформацію з **інших застосовних галузевих документів BREF** для супутньої діяльності на об’єкті.

У інших галузевих документах BREF можуть бути описані технології, які можуть виявитися корисними, та НДТМ для тієї діяльності в межах установки, яку не охоплює галузевий документ BREF для конкретного сектора.

Зокрема, коли мова йде про енергоефективність, інформація та НДТМ для спалювання, а також виробництва і використання пари, міститься у документі BREF для великих спалювальних установок (LCP).

Експертна інформація про технології, викладена у галузевих документах BREF, може застосовуватися в інших секторах – як-от у випадках, коли сектору присвячено більше одного документа BREF (наприклад, хімічні речовини, поверхнева обробка), або оператор бажає знайти додаткову інформацію та технології.

Крок 3: знайдіть, вивчіть і додайте інформацію з **застосовних наскрізних документів BREF**.

Щоб скористатися експертними загальними даними, які допоможуть реалізувати НДТМ у конкретному вертикальному секторі, вивчіть також наскрізні документи BREF[2]. В установці можуть бути присутні системи або види діяльності, не розглянуті у галузевому документі BREF.

Наприклад, Довідковий документ з НДТМ для енергоефективності містить НДТМ і технології, які можуть бути корисними:

- для енергетичного менеджменту – наприклад, систем управління, аудиту, навчання, моніторингу, керування та технічного обслуговування;
- для основних енергоспоживчих систем у багатьох установках, як-от парові системи, системи регенерації тепла, когенерації, електропостачання, підсистеми з приводом від електродвигунів, системи стисненого повітря (CAS), насосні системи, системи ОВіК (опалення, вентиляція і кондиціювання повітря), освітлення, сушіння, сепарації та концентрування.

[2] До так званих наскрізних документів BREF належать Довідкові документи з НДТМ для енергоефективності (ENE), охолодження (ICS), загальних систем переробки / керування стічними водами та відпрацьованими газами (CWW), економіки та міжсередовищних наслідків (ECM), моніторингу (MON) та викидів зі складів (EFS).

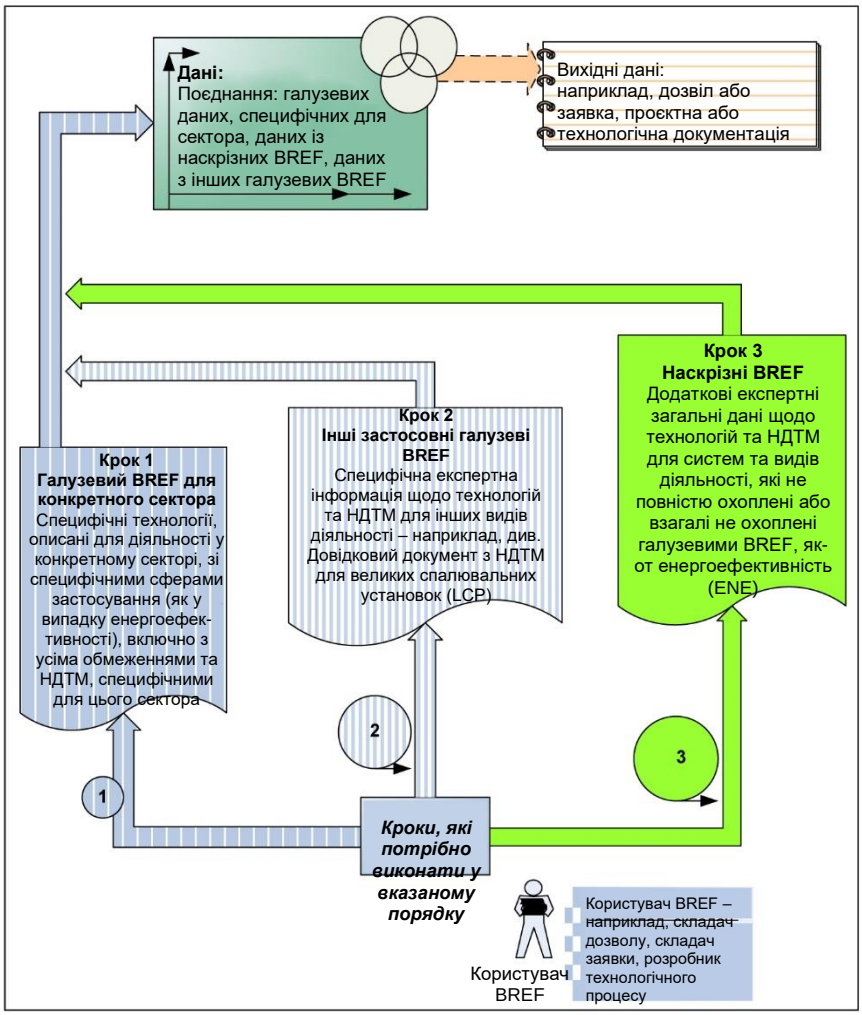


Рисунок 1. Використання галузевих BREF для конкретних секторів разом з наскрізними BREF

1 ВСТУП І ВИЗНАЧЕННЯ

[3, Європейська федерація керування відходами (FEAD) та представники галузі, 2005], [97, Крейт (Kreith), 1997],

[http://columbia.thefreedictionary.com/energy], [127, Технічна робоча група (ТРГ)], [145, Європейська комісія, 2000]

1.1 Вступ

1.1.1 Енергія у промисловому секторі ЄС

«Ми маємо намір спільно показати приклад в енергетичній політиці та справі захисту клімату і зробити свій внесок у відвернення глобальної загрози зміни клімату». Берлінська декларація (25 березня 2007 року)

У 2004 році промислове споживання енергії у країнах ЄС-25 склало 319 млн. т н.е. (мільйонів тонн нафтового еквіваленту, 11 004 ПДж), або близько 28 % річного споживання кінцевої енергії у ЄС та 30 % потреби у первинній енергії[3].

27 % первинного палива використовуються на теплових (електричних) станціях загального користування. Наступні два місця за енергоємністю займають чорна металургія та хімічна промисловість, які споживають 19 % та 18 % від об'єму промислового споживання енергії відповідно. Далі йде скло, гончарні вироби та будівельні матеріали з 13 % та папір і друк з 11 %. Близько 25 % електроенергії, що споживається у промисловості, виробляються самою промисловістю. Найновіші цифри не демонструють суттєвих відмінностей між роками (тобто між 2000 та 2004 роками). Інші цифри для галузей, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, наведені на Рисунку 1.1.

Згідно з Європейським реєстром викидів забруднюючих речовин (EPER), на основних забруднювачів із галузей, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, припадає близько 40 % усіх викидів CO_2 у Європі, близько 70 % усіх викидів SO_X і близько 25 % усіх викидів NO_X [145, Європейська комісія, 2000, 152, Європейська комісія, 2003] [251, Євростат].

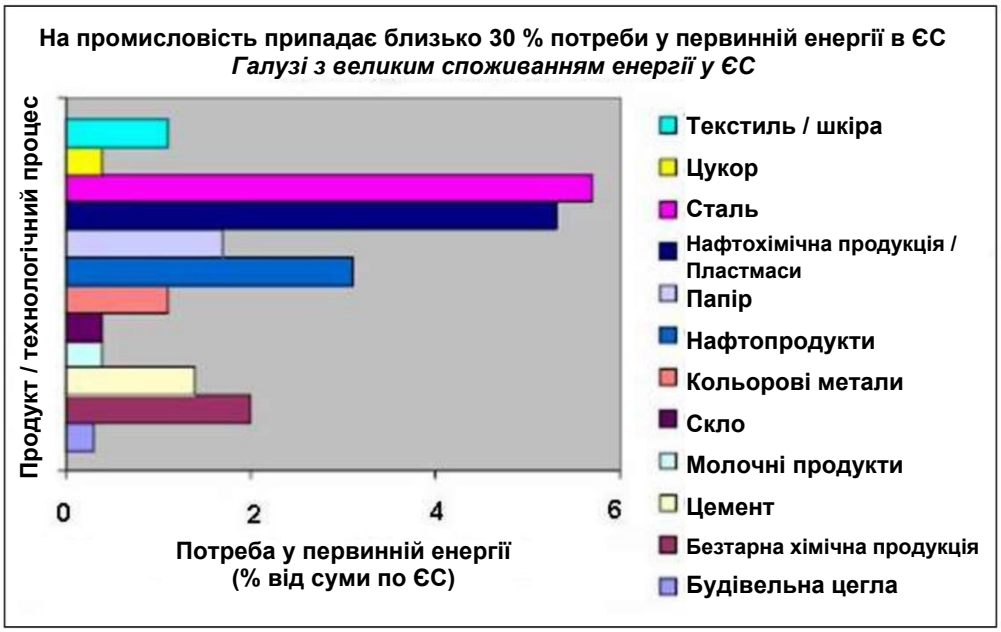


Рисунок 1.1. Відсоток потреби у первинній енергії в ЄС, що споживається галузями переробної промисловості [145, Європейська комісія, 2000]

[3] Пояснення щодо первинної, вторинної та кінцевої енергії викладені у розділі 1.3.6.1

1.1.2 Наслідки споживання енергії

Глобальне потепління

Деякі гази сприяють нагріванню атмосфери, поглинаючи випромінювання з поверхні Землі і знову випромінюючи його з більшою довжиною хвилі. Повернення частини цього випромінювання в атмосферу та на поверхню Землі, називається «парниковим ефектом» через його нагрівальну дію. Основними парниковими газами (ПГ) є водяна пара, вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) та озон (O_3), а також оксиди азоту – зокрема, закис азоту (N_2O). Цей процес нагрівання цілком природній і відіграє важливу роль у підтриманні земної екосистеми.

Проте людська діяльність призвела до того, що концентрація вуглекислого газу – основного (антропогенного) парникового газу – в атмосфері зросла на 34 % у порівнянні з тими рівнями, які спостерігалися до промислової революції, і з 1950 року темпи її зростання прискорилися. Концентрації інших парникових газів також зросли внаслідок людської діяльності. Основним джерелом CO_2 та оксидів азоту є спалювання викопного палива у промисловості (у тому числі при виробництві електроенергії), побуті та транспорті. (Інші джерела – це зміни у землекористуванні та сільському господарстві, що призводять до виділення CO_2 та CH_4, і викиди інших антропогенних парникових газів у результаті певних технологічних процесів та застосувань продукції).

Поточні концентрації CO_2 та CH_4 – найвищі за останні 420 000 років, а нинішня концентрація N_2O – найвища як мінімум за останні 1 000 років. Базові прогнози Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (2001 рік) показують, що концентрації парникових газів протягом наступних кількох десятиріч (до 2050 року), імовірно, перевищать 50 млн$^{-1}$ еквіваленту CO_2 – див. Рисунок 1.2 [252, Європейське агентство з охорони довкілля (EEA), 2005]. Згідно з базовим сценарієм за 2006 рік, викиди CO_2 до 2050 року майже у два з половиною рази перевищать поточний рівень [259, Міжнародне енергетичне агентство (MEA), 2006].

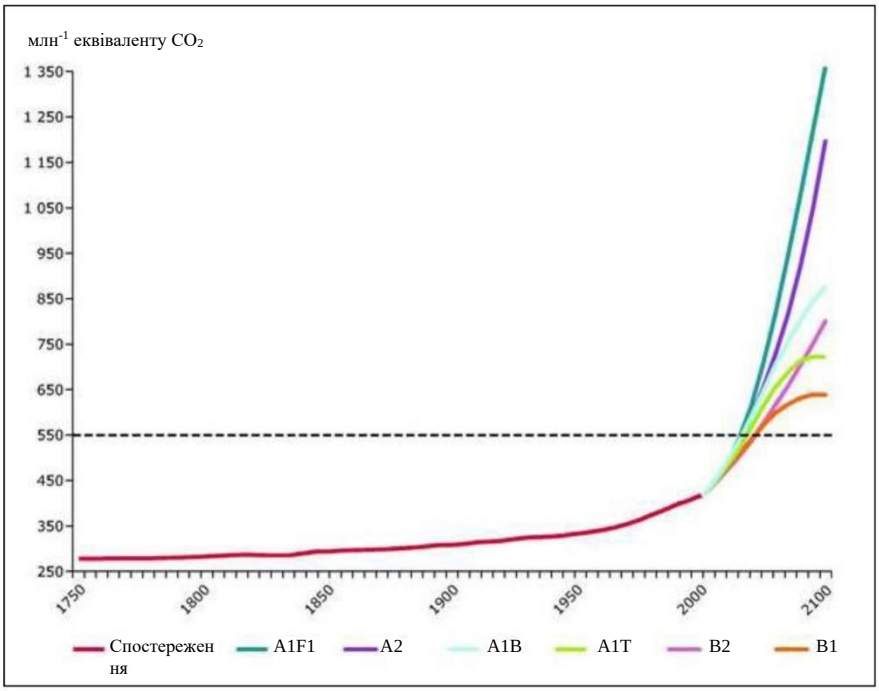


Рисунок 1.2. Підвищення концентрацій парникових газів в атмосфері з 1750 року у млн$^{-1}$ еквіваленту CO_2 за різними сценаріями
[252, EEA, 2005]

Наслідки підвищення концентрації парникових газів та зумовлене ними глобальне потепління нині стали загальновизнаними (різні звіти Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) та інших організацій) [262, Королівська Скарбниця]. У випадку ЄС очікується, – хоча детальної інформації досі мало, – що прогнозні зміни клімату будуть чинити широкомасштабний вплив і матимуть економічні наслідки. Загальні чисті економічні наслідки досі великою мірою невизначені, проте існує впевнена картина розподілу, яка показує, що несприятливі наслідки будуть сильнішими у Середземномор'ї та Південно-Східній Європі [252, ЕЕА, 2005].

Залежність від викопного палива та надійність постачання
У 2001 році енергетика ЄС все ще сильно залежала від викопного палива (79 % від валового внутрішнього споживання), значну частку якого становила імпортна нафта та газ. ЄС імпортує понад 50 % своїх енергоресурсів, і очікується, що у наступні 20-30 років ця цифра зросте більш ніж на 70 % [145, Європейська комісія, 2000].

1.1.3 Внесок енергоефективності у зменшення наслідків глобального потепління та покращення сталості довкілля

Згідно з численними дослідженнями, виконаними у 2000 році [145, Європейська комісія, 2000], ЄС міг би з мінімальними витратами заощадити як мінімум 20 % від свого поточного споживання енергії, що еквівалентно 60 000 мільйонів євро на рік або сукупній кількості енергії, що була спожита в Німеччині та Фінляндії у 2000 році [140, Європейська комісія, 2005]. У цій роботі також відзначено, що заощадження енергії – це, безсумнівно, найшвидший, найбільш дієвий і найбільш економічний спосіб зменшити викиди парникових газів, а також покращити якість повітря. Енергоефективність також є важливим чинником у керуванні природними ресурсами (у даному випадку – джерелами енергії) та сталим розвитком і відіграє важливу роль від послаблення залежності Європи від цих ресурсів. Хоча така ініціатива з підвищення ефективності і потребує значних інвестицій, вона б суттєво посприяла досягненню цілей Лісабонської стратегії, створивши аж мільйон нових робочих місць і збільшивши конкурентоспроможність [145, Європейська комісія, 2000, 152, Європейська комісія, 2003]. Тому ЄС оголосив План дій з енергоефективності, мета якого – заощадити 20 % енергії на всій території Європейського Союзу (близько 39 млн. тонн н.е.) та 27 % у галузях обробної промисловості до 2020 року. Завдяки цьому до 2020 року прямі витрати у ЄС зменшаться на 100 000 мільйонів євро в рік, а викиди CO_2 скоротяться приблизно на 780 мільйонів тонн [142, Європейська комісія, 2007].

У багатьох секторах енергоефективність за останні 20 років значно покращилася. Панівними рушіями ринку є продуктивність, якість продукції та вихід на нові ринки. Законодавство щодо енергоефективності з'явилося у ЄС нещодавно (див. «Передмову»), хоча в деяких країнах-членах ЄС воно існує довше. Заходи, яких було вжито у промисловості, були переважно добровільними і зазвичай диктувалися витратами, проте водночас і ініціативами ЄС та країн-членів ЄС (див. «Передмову» та Додаток 7.13). Наприклад, хімічна промисловість ЄС є одним із найбільших споживачів газу серед галузей обробної промисловості ЄС, і на енергію припадає близько 60 % собівартості її виробництва. Проте у період з 1975 року по 2003 рік питоме споживання енергії у хімічній промисловості знизилося на 55 %.

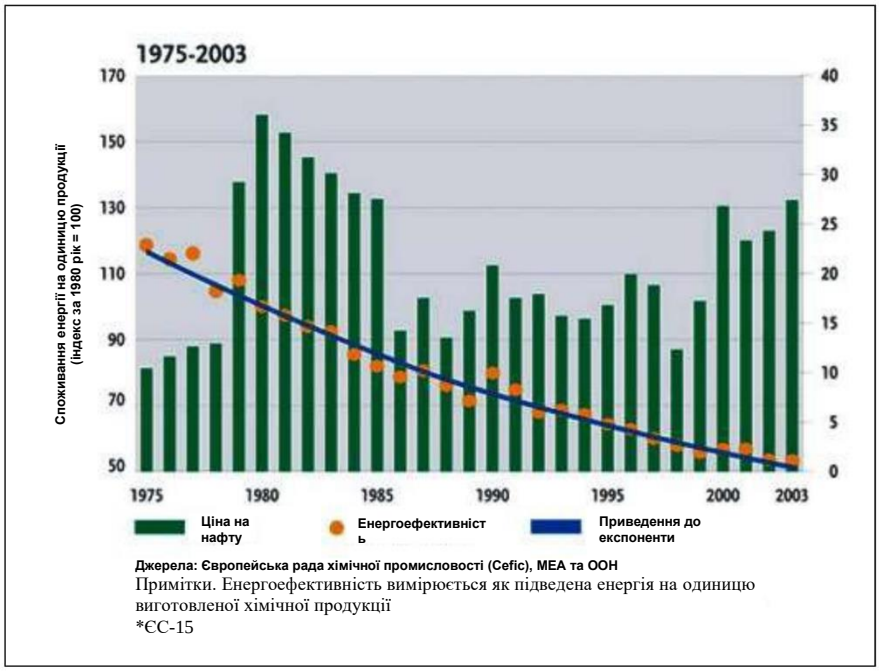


Рисунок 1.3. Споживання енергії у хімічній промисловості, 1975 – 2003 роки

Втім, життєво важливо, щоб досягнуті виграші в енергоефективності були сталими. Прогнози показують, що за допомогою існуючих технологій – головним чином за рахунок підвищення енергоефективності (інша можливість – це відмова від викопного палива в електропостачанні та транспорті) – можна до 2050 року знизити викиди CO_2, пов'язані з енергетикою, до рівня 2006 року і обмежити зростання потреби у нафті. Підвищення енергоефективності має першочергове значення для більш сталого розвитку енергетики в майбутньому і часто є найдешевшим, найшвидшим і найбільш безпечним для довкілля способом знизити викиди і вплинути на зростаючі потреби в енергії. Згідно з прогнозними сценаріями, зробленими у 2006 році, підвищення енергоефективності у будівлях, промисловості та транспортному секторі до 2050 року знизить споживання енергії на 17 – 33 % порівняно з базовим сценарієм. На енергоефективність припадає від 45 до 53 % (залежно від сценарію) загального зниження викидів CO_2 до 2050 року порівняно з базовим сценарієм. У сценарії, в якому глобальне підвищення енергоефективності порівняно з базовим сценарієм до 2050 року складає лише 20 %, глобальні викиди CO_2 зростають більш ніж на 20 % порівняно з іншими сценаріями [259, MEA, 2006].

1.1.4 Енергоефективність та Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)

Правова база для енергоефективності і цього документа повністю викладена у пунктах «Передмова» та «Сфера застосування». Складач дозволу та оператор повинні знати, у чому полягає ефективне використання енергії, як його можна досягти, виміряти або оцінити, а отже, як його можна врахувати у дозволі.

Види промислової діяльності, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, перелічені в Додатку 1 до Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Комплексному запобіганню та контролю забруднень підлягають, наприклад, такі виробничі процеси / агрегати / об'єкти:

- Електростанція, яка працює на газі, отримує газ у якості початкового матеріалу (вхідного ресурсу), а продуктом цього виробничого процесу є електроенергія. Енергія, що при цьому використовується, – це енергія, наявна в газі. Також (крім електроенергії) виробляється низькопотенційна теплова енергія, яка зазвичай

втрачається у процесі охолодження. Якщо її можна використати (наприклад, у схемі централізованого опалення), питома енергоефективність підвищиться.

- Нафтопереробний завод отримує сиру нафту і перетворює її на бензин, дизельне паливо, мазут та ряд інших продуктів. Частина вуглеводнів, що переробляються на нафтопереробному заводі, спалюється на самому заводі з метою отримання необхідної енергії для процесу перетворення. Зазвичай також потрібно імпортувати певну кількість електроенергії, якщо тільки на нафтопереробному заводі не встановлена когенераційна установка: у цьому випадку нафтопереробний завод може у підсумку стати експортером електроенергії.
- Установка парового крекінгу отримує рідку та газоподібну початкову сировину з нафтопереробного заводу і перетворює їх на етилен та пропілен, а також ряд побічних продуктів. Частина енергії, яка при цьому споживається, виробляється на самому заводі у ході технологічного процесу і доповнюється імпортом пари, електроенергії та палива.
- Прокатний стан сталеливарного заводу у якості початкової сировини отримує плоскі сталеві плити товщиною приблизно 2 дециметри, які потрібно розкотити у рулон товщиною в кілька міліметрів. Прокатний стан складається з печей, обладнання прокатного стану, охолоджувального обладнання та допоміжних систем.
- Піч для спалювання відходів (у Північній Європі) приймає 150 000 т відходів, що залишилися після переробки матеріалів та біологічної регенерації відходів, вироблених населенням у 500 000 осіб. Піч для спалювання здатна виробити 60 000 МВт·год. електроенергії за рік, з яких 15 000 МВт·год./рік використовуються самою установкою, а 45 000 МВт·год./рік експортуються в мережу. Цього достатньо, щоб забезпечити 60 000 мешканців електроенергією для побутового споживання. Якщо також є потреба у теплі, піч для спалювання може працювати в режимі когенерації (тобто як теплоелектроцентраль – ТЕЦ): пара високого тиску використовується для виробництва електроенергії, а пара низького або середнього тиску, яка залишилася, використовується для централізованого опалення чи охолодження або у промисловості. Виробляти тепло більш ефективно, і, якщо тепло використовується за межами установки, електроенергії виробляється менше. За наявності достатньої потреби у теплі можна побудувати таку установку, яка буде постачати лише тепло. Обсяг постачання та баланс згенерованої електроенергії і виробленого тепла залежить від наявності вжитку для тепла та інших договірних умов.
- Установка для інтенсивного вирощування птиці (бройлерів) розрахована на 40 000 птахів і вирощує курчат до необхідної забійної маси (за п’ять-вісім тижнів). Комплекси витрачають енергію у системах годування та поїння, на освітлення, переміщення посліду і підстилки та на вентиляцію / опалення / охолодження. Послід зазвичай розкидається по полю, але може використовуватися як початковий матеріал в установці для виробництва біогазу на цьому ж об’єкті або за його межами. Біогаз можна використовувати для опалення комплексів, де тримається поголів’я.
- Установка для глибокого друку видавничої продукції має п’ять друкарських верстатів з 40 фарбувальними апаратами, на яких виготовляються високоякісні журнали і каталоги. Вона використовує електроенергію у двигунах, які приводять у рух верстати, у системах стисненого повітря та гідравлічних системах, що використовуються у процесах друку, природний газ – для сушіння, і пару – для регенерації своєї системи рекуперації толуолу (шляхом поглинання розчинника у системі обробки відходів).

У всіх установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, є супутні види діяльності та допоміжне обладнання, що споживають енергію, – наприклад, системи гідравліки, змащування, стисненого повітря, вентиляції, опалення, охолодження та їх компоненти, як-то насоси, вентилятори, двигуни, тощо. Також є ремонтні майстерні, приміщення для персоналу, офіси, роздягальні, складські зони, тощо, які потребують опалення або охолодження, гарячого водопостачання, освітлення, тощо.

1.1.5 Енергоефективність у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень

Енергоефективні технології описані у великому розмаїтті джерел багатьма мовами. У цьому документі основні поняття та технології розглядаються з точки зору *комплексного запобігання та контролю забруднень* для всієї установки. Обмін інформацією показав, що, хоча технології й можна застосовувати окремо, і вони можуть заощаджувати енергію, для досягнення помітних покращень в енергоефективності потрібно розглядати об'єкт у цілому та його складові системи зі стратегічної точки зору. Наприклад, за рахунок заміни електродвигунів у системі стисненого повітря можна заощадити близько 2 % підведеної енергії, а за рахунок повного перегляду всієї системи – до 37 % (див. розділ 3.7). Дійсно, зосередження на технологіях у масштабі складових частин (компонентів) може накладати зайві обмеження. У деяких випадках це може унеможливити або затримати прийняття рішень, які принесли б більшу користь для навколишнього середовища, через те, що фінансові та інші ресурси були витрачені на інвестиції, не оптимізовані з огляду на енергоефективність.

Так само у деяких випадках застосування енергоефективних технологій на рівні компонентів або систем також може призвести до того, що міжсередовищні наслідки (вплив на навколишнє середовище) не зникнуть або навіть посиляться. У якості прикладу можна навести установку, що використовує органічні розчинники для поверхневої обробки (покриття). Окремі компоненти (наприклад, двигуни) можна замінити більш енергоефективними, і навіть систему екстракції розчинником та обробки відхідних газів (ОВГ) можна оптимізувати таким чином, щоб мінімізувати споживання енергії, проте основної вигоди для навколишнього середовища можна досягти, лише змінивши весь технологічний процес або його частину так, щоб він потребував незначної кількості або взагалі не потребував розчинника (якщо це технічно можливо). У цьому випадку реальний технологічний процес може споживати більше енергії на етапах сушіння або стверджування, ніж початковий процес нанесення покриття, проте основна кількість енергії буде заощаджена за рахунок зникнення потреби у системі екстракції та ОВГ. Крім того, це дасть змогу знизити загальні викиди розчинника з об'єкта (див. розділ 2.2.1 та Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників (STS).

Особливості структури документа

Відомості про те, як структурований цей документ, викладені у пункті «Сфера застосування».

Пояснення і терміни, наведені у цій частині та в інших частинах, слугують для ознайомлення з питаннями і, як правило, стосуються галузей, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, та інших галузей на рівні читача, який не є експертом з енергетики. Поглиблена наукова інформація та пояснення (а також математичні формули та виведення) наведені у Додатку 7.1 та у стандартних підручниках або довідниках із термодинаміки.

1.1.6 Економіка та міжсередовищні наслідки

Енергія – це не просто накладна витрата або складова обслуговування господарської діяльності: вона нічим не відрізняється від інших цінних сировинних ресурсів, потрібних для здійснення господарської діяльності. Енергія має свою вартість, чинить вплив на навколишнє середовище, і нею потрібно ефективно керувати, щоб підвищити прибутковість та конкурентоспроможність господарської діяльності, а також пом'якшити серйозність цих наслідків.

Енергоефективності надається велике значення у політиці ЄС (у таких заявах, як Берлінська декларація, де з-поміж екологічних проблем розглядається лише ця [141, ЄС, 2007]). Розглядаючи економічні та міжсередовищні наслідки реалізації НДТМ в межах установки, при врахуванні вимог Статті 9 (4), тобто граничних значень викидів (ГЗВ) для дозволу та еквівалентних параметрів, слід брати до уваги важливість енергоефективності.

Комісія зазначила, що від заходів, інтегрованих у технологічний процес, зазвичай можна очікувати позитивного або більш-менш нейтрального впливу на прибутковість підприємств[4]. Деякі НДТМ неминуче не окупляться, проте їх соціальна користь переважає понесені витрати з огляду на принцип матеріальної відповідальності забруднювача.

При визначенні НДТМ потрібно оцінити розрахункову чисту вартість реалізації технології у порівнянні з вигодами для навколишнього середовища, яких вдасться досягти. Друга економічна перевірка полягає в тому, чи можна впровадити технологію у відповідному секторі так, щоб це було рентабельно. Ця перевірка цінової доступності дає обґрунтовані результати лише в тому разі, якщо вона застосовується на рівні європейських секторів [5] [152, Європейська комісія, 2003].

Перевагою енергоефективності є те, що заходи зі зниження впливу на навколишнє середовище зазвичай окупаються з фінансової точки зору. Витрати для окремих технологій – якщо такі дані були надані у ході інформаційного обміну – наведені у наступних частинах (або у галузевих BREF для відповідних секторів). Часто постає питання співвідношення витрат та вигод, і з економічної ефективності будь-якої технології можна отримати інформацію для оцінки співвідношення пов'язаних з нею витрат і вигод. Якщо мова йде про існуючі установки, потрібно врахувати рентабельність та технічну доцільність їх модернізації. Для досягнення навіть єдиної мети – забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому – часто необхідно приймати судження, що передбачають компроміс між різними видами впливу на навколишнє середовище, і на ці судження часто впливає місцева специфіка (як зазначено у «Передмові». Наприклад, у результаті реалізації комплексного запобігання та контролю забруднень споживання енергії іноді може збільшуватися з метою послаблення інших чинників впливу на довкілля (наприклад, використання обробки відхідних газів для зниження викидів у повітря).

Економічні та міжсередовищні питання – зокрема, можливості оцінки міжсередовищних наслідків та розрахунку співвідношення витрат і вигод – детально розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для економіки та міжсередовищних наслідків (ECM). У ході обміну інформацією було виявлено такі практичні приклади, які можуть виявитися корисними:

[4] У Повідомленні Комісії COM (2003) 354, остаточна версія, зазначено: Заходи зі зниження викидів «у кінці виробничого циклу» часто чинять короткочасний несприятливий вплив на прибутковість. Проте для енергоефективності немає заходів, які б вживалися «у кінці виробничого циклу»: найближчим їх аналогом є проста заміна знімних компонентів, таких як двигуни. Ці заходи можуть не забезпечувати оптимальної екологічної та/або економічної віддачі. Див. розділ 1.5.1

[5] Під «сектором» мається на увазі порівняно дрібне розділення за видами діяльності – наприклад, сектор виробництва хлору і каустичної соди, а не весь хімічний сектор.

- у кількох країнах-членах ЄС прийнято вважати, що технологія має вигідне співвідношення витрат і вигод, якщо її період окупності становить від 5 до 7 років, тобто рентабельність інвестицій (ROI) становить близько 15 % (у різних країнах-членах ЄС або регіонах використовуються різні цифри [249, ТРГ, 2007];
- у випадку енергоефективності економічну вигоду від багатьох технологій можна оцінити за вартістю їх життєвого циклу. Наприклад, у вартості життєвого циклу електричних двигунів 2,5 % – це вартість їх придбання, 1,5 % – витрати на технічне обслуговування, і 96 % – вартість спожитої енергії;
- одна з країн-членів ЄС опублікувала всесвітньо визнаний звіт про економічну значимість боротьби зі зміною клімату. Намагаючись оцінити потенційну вартість збитків, завданих зміною клімату, ця країна-член ЄС використовувала такі цифри: вартість вуглецю у 2000 році – 70 фунтів стерлінгів/т (100 євро/т), плюс річна інфляція – 1 фунт стерлінгів/т/рік (1,436 євро/т/рік), тобто вартість CO_2 – 19 фунтів стерлінгів/т (27,28 євро/т) плюс річна інфляція – 0,27 фунтів стерлінгів/т (0,39 євро/т). (За курсу валют: 1 фунт стерлінгів = 1,436 євро, станом на 1 квітня 2006 року). Ці цифри можна використовувати при порівнянні зовнішніх факторів або соціальних витрат, зумовлених міжсередовищними наслідками [262, Королівська Скарбниця, 2006];

http://www.hm-treasury.gov.uk/documents/taxation_work_and_welfare/taxation_and_the_environment/tax_env_GESWP140.cfm

- нещодавній міжнародний звіт показав, що рівні CO_2 можна повернути до поточних рівнів / утримати на них за допомогою існуючих технологій, у тому числі підвищення енергоефективності. Для цього цільового показника була встановлена ціна у 25 доларів США (20,68 євро) за тонну CO_2: це означає, що вартість електроенергії, виробленої на вугіллі, у такому випадку збільшиться приблизно на 0,02 долара США (0,017 євро) за кВт·год., а вартість бензину збільшиться приблизно на 0,07 долара США/літр (0,058 євро/літр, 0,28 долара США/галон). Середня вартість зниження викидів на тонну CO_2 для всього портфелю технологій після того, як усі технології будуть повністю виведені на ринок, складе менш ніж 25 доларів США (20,68 євро). Це менше, ніж ціна квоти на викид тонни CO_2 у період, коли схема торгівлі квотами на викид була щойно впроваджена (за курсу валют: 1 долар США = 0,827 євро, квітень 2006 року) [259, МЕА, 2006].

Калькулятори для розрахунку заощаджень витрат

З цією метою розроблено різні програмні калькулятори. Їх може бути зручно використовувати у розрахунках, проте вони мають певні недоліки, які необхідно враховувати у разі їх використання:

- вони часто базуються на заміні окремих одиниць обладнання – наприклад, двигунів, насосів, ламп – без урахування всієї системи, у якій працює обладнання. Як наслідок, можна не досягти максимальної енергоефективності, можливої для системи та установки (див. розділи 1.3.5 та 1.5.1.1);
- деякі калькулятори розроблені незалежними розробниками, як-от державні органи, проте інші пропонуються на комерційній основі і можуть бути не повністю незалежними.

Приклади розрахункових інструментів наведені у розділі 2.17 і на вебсайтах, як-от:

- http://www.energystar.gov/ia/business/cfo_calculator.xls
- http://www.martindalecenter.com/Calculators1A_4_Util.html

1.2 Енергія та закони термодинаміки

[2, Валеро-Капілья (Valero-Capilla), 2005, 3, FEAD та представники галузі, 2005, 97, Крейт, 1997, 154, Енциклопедія «Колумбія» (Columbia Encyclopedia), 227, ТРГ]

Енергія – це первинна категорія, і для неї важко дати визначення, оскільки вона найбільш правильно описується математичними поняттями. Якщо говорити простими словами, енергією вважається здатність або потенціал виконувати роботу (це також можна назвати внесенням зміни або «наявною енергією»). Термодинаміка – це наука про енергію та її перетворення, у якій існують основні принципи, або закони, термодинаміки. Для розуміння енергії та енергоефективності необхідно мати деякі знання про принципи термодинаміки. Цей розділ покликаний надати порівняно просте пояснення з мінімумом посилань на відповідні математичні викладення. Як наслідок, він не зовсім точний з наукової точки зору: більш детальне і точне пояснення наведене у Додатку 7.1 [269, Валеро (Valero), 2007]. Детальнішу інформацію також можна знайти у стандартних підручниках (приклади наведені у Додатку 7.1.4.1).

1.2.1 Енергія, теплота, потужність і робота

Енергія є мірою такого переходу «системи» з одного стану в інший. У системі SI вона вимірюється у джоулях. Енергія може набувати різноманітних форм, які названі за дією конкретної сили (або роботою, яку вона виконує). У промисловості зазвичай використовуються шість основних форм енергії:

(i) **Хімічна енергія** – це енергія, яка зв'язує разом атоми або іони. У промисловій діяльності така енергія зберігається у вуглецевих видах палива і вивільняється внаслідок хімічних реакцій (у цьому випадку – внаслідок реакції окиснення, зазвичай у вигляді згорання, з виділенням вуглекислого газу). Енергія, яка виділяється, зазвичай перетворюється у більш зручні для використання форми, як-от механічна енергія (наприклад, у двигунах внутрішнього згорання) або теплову енергію (наприклад, пряме нагрівання у технологічних процесах).

(ii) **Механічна енергія** пов'язана з рухом (наприклад, розширенням робочого тіла у циліндрах двигунів внутрішнього згорання) і може використовуватися для безпосереднього приведення в рух машин – наприклад, електрогенераторів, автомобілів, вантажівок, тощо. Вона також широко застосовується для постачання енергією генераторів, щоб ті виробляли електроенергію. До механічної енергії також належить **енергія хвиль** та **енергія припливів**.

(iii) **Теплова енергія** – це внутрішній рух часток речовини. Її можна вважати термодинамічною енергією (або внутрішньою енергією) або синонімом теплоти. Проте насправді теплота – це дія, яка полягає у передаванні теплової енергії від однієї системи (або предмета) до іншої. Теплова енергія може виділятися у результаті хімічних реакцій, таких як горіння, ядерних реакцій, дії опору електричній енергії (як в електричних плитах) або механічного розсіяння (наприклад, тертя).

(iv) **Електрична енергія** – це здатність електричних сил виконувати роботу під час зміни положень зарядів (наприклад, коли електричні заряди протікають по ланцюгу). Вона тісно пов'язана з **магнітною енергією** – формою енергії, яка присутня у кожному електричному полі або магнітному полі (об'ємі, що містить електромагнітне випромінювання) і часто пов'язана з рухом електричних зарядів. До електромагнітного випромінювання також належать **енергії світла**.

(v) **Гравітаційна енергія** – це робота, що виконується силою тяжіння. Хоча вона й зустрічається у промисловості – наприклад, при переміщенні матеріалів вниз по лотках, – її роль в енергоефективності обмежується деякими енергетичними розрахунками. Операції піднімання та перекачування, тощо виконуються машинами, які використовують електричну енергію.

(vi) Ядерна енергія – це енергія, що міститься у ядрах атомів і може вивільнятися в результаті ділення або синтезу ядер. Електростанції, які використовують ядерну енергію, не входять до обсягу комплексного запобігання та контролю забруднень, і ядерна енергія не розглядається у цьому документі. Проте електроенергія, вироблена атомними електростанціями, входить до структури енергетики Європи – див. Додаток 7.16.

Потенційна та кінетична енергія

Усі перелічені вище енергії – це потенційні енергії, у випадку яких енергія певним чином зберігається – наприклад, у хімічних зв'язках стабільної речовини або в радіоактивному матеріалі. Гравітаційна потенційна енергія – це енергія, що зберігається за рахунок положення предмета відносно інших предметів, наприклад, коли вода утримується за дамбою. Кінетична енергія – це енергія, породжена рухом тіла або часток. Класичним прикладом цих енергій є маятник: максимальна потенційна енергія міститься в маятнику у верхній точці його дуги, а максимальна кінетична енергія спостерігається, коли маятник рухається через нижню точку дуги. Як видно з цього базового прикладу, енергії перетворюються з однієї форми в іншу. Більшість фундаментальних взаємодій у природі можна пов'язати з якимось видом потенційної енергії, хоча деякі енергії, як-от світло, складно класифікувати на цих підставах.

Теплота, теплопередача та робота

Теплоту (Q) можна визначити як енергію, що переходить від однієї маси до іншої через різницю температур між цими двома масами. Вона характеризує кількість енергії, передану закритій системі під час процесу, що здійснюється за рахунок явища, відмінного від роботи. Енергія передається лише в напрямку меншої температури. Теплота може передаватися у три різні способи:

(i) **теплопровідність** – це передавання енергії від часток речовини, які мають більшу енергію, до сусідніх часток, які мають меншу енергію, за рахунок взаємодій між частками. Теплопровідність можлива у твердих речовинах, рідинах та газах;

(ii) **конвекція** – це передавання енергії між твердою поверхнею з певною температурою та газом або рідиною, що рухається повз поверхню, з іншою температурою;

(iii) **теплове випромінювання** виділяється речовиною внаслідок змін у конфігураціях електронних оболонок атомів або молекул у речовині. Енергія переноситься електромагнітними хвилями і здатна поширюватися без проміжного середовища – навіть у вакуумі.

У термодинаміці **робота (W)** визначається як кількість енергії, передана до (або від) однієї системи від (або до) середовища, яке її оточує. Це механічна робота (кількість енергії, яку переносить сила), яку історично прийнято виражати через піднімання ваги на певну висоту.

Енергія та потужність

У англомовних текстах (у США та Великій Британії) терміни «енергія» та «потужність» використовуються як взаємозамінні, і їх часто плутають. У фізиці та інженерній справі «енергія» та «потужність» мають різні значення. Потужність – це енергія на одиницю часу (швидкість переносу енергії для виконання роботи). У системі SI одиницею вимірювання потужності (та потоку випромінювання) є ват (Вт), а одиницею вимірювання енергії, роботи та кількості теплоти є джоуль (Дж): таким чином, один ват – це один джоуль на секунду.

Фрази «потік потужності» та «споживати кількість електричної потужності» некоректні: правильно говорити «потік енергії» та «споживати кількість електричної енергії».

На практиці джоуль – це доволі мала одиниця вимірювання, тому у випадках, коли йде мова про виробництво або споживання енергії обладнанням, системами та установками (а отже, про промислову енергоефективність), зазвичай використовуються інші одиниці вимірювання: кілоджоулі (кДж), мегаджоулі (МДж) або гігаджоулі (ГДж).

Споживання та віддача потужності вимірюються у ватах, і, оскільки для більшості випадків промислової практики ця одиниця вимірювання, знову ж таки, надто мала, їх іноді також виражають через одиниці, кратні вату, як-от кіловат (кВт), мегават (МВт) та гігават (ГВт)[6].

Номінальну (споживану) потужність пристрою немає сенсу описувати як «100 ват на годину», оскільки сам ват – це швидкість виконання роботи, або використання енергії, який дорівнює 1 джоулю енергії на секунду. Оскільки ват – сам по собі швидкість, після нього не потрібно вказувати часову величину (якщо тільки не розглядається зміна потужності з часом, аналогічна прискоренню). У якості кількості енергії також використовується похідна одиниця SI – ват-година (тобто ват х година). Оскільки ват і джоуль – це невеликі одиниці вимірювання, які незручно використовувати у промислових енергетичних задачах, у якості одиниць енергії часто використовуються – особливо енергопостачальними компаніями та споживачами енергії – кратні їм одиниці, як-от кіловат-година (кВт·год.), мегават-година (МВт·год.) та гігават-година (ГВт·год.)[7]. Кіловат-година – це кількість енергії, еквівалентна потужності в 1 кіловат, що використовується протягом 1 години, тобто 1 кВт·год. = 3,6 МДж. Використання кВт·год. замість МДж, імовірно, склалося історично і є специфічним для сектору та випадку застосування[8].

Також використовуються й інші терміни: мегават електричної енергії ($МВт_е$), який характеризує електричну потужність, та мегават теплової енергії, ($МВт_т$), який характеризує теплову потужність. Вони використовуються, коли потрібно розрізняти ці два види енергії. Ці одиниці не належать до стандартних одиниць SI, і теоретично в них немає необхідності (Міжнародне бюро мір і ваг, BIPM, вважає їх некоректними), проте вони використовуються на практиці – особливо у тих випадках, коли використовуються та/або виробляються обидва види енергії, як-от при виробництві електроенергії та на хімічному виробництві.

1.2.2 Закони термодинаміки

Як видно з розділу 1.2.1, одну форму енергії можна перетворити в іншу за допомогою машини або пристрою, і машину можна змусити виконувати роботу (див. Додаток 7.1.1).

Співвідношення та принципи цих різних енергії описуються математично з урахуванням того, до якої системи вони належать – «закритої» чи «відкритої». «Замкнені» системи не здатні обмінюватися частками з навколишнім середовищем, проте підтримують взаємодію з навколишнім середовищем. Через границю системи може здійснюватися обмін теплотою та роботою (див. Рисунок 1.4).

[6] Центральний процесор Pentium 4 споживає близько 82 Вт. Людина, яка виконує важку фізичну роботу, виробляє близько 500 Вт. Типові автомобілі виробляють від 40 до 200 кВт механічної потужності. Сучасний електротепловоз віддає близько 3 МВт механічної потужності.

[7] Гігават-година (ГВт·год.) – у 10^6 разів більша, ніж кіловат-година – використовується для вимірювання виділення енергії великими електростанціями або споживання енергії великими установками (МВт·год. часто виявляється надто малою для цього одиницею).

[8] Кіловат-година – це кількість енергії, еквівалентна потужності в один кіловат, що діє протягом однієї години.

1 кВт·год. = 1000 Вт * 3600 секунд = 3 600 000 Вт-секунд = 3 600 000 Дж = 3,6 МДж

Стандартною одиницею вимірювання електроенергії є ват-година – кількість енергії, що споживається навантаженням в один ват (наприклад, крихітною лампочкою) за одну годину. Кіловат-година (кВт·год.), яка дорівнює 1000 ват-годин (і еквівалентна одноелементному електричному нагрівнику), – це зручна величина для вимірювання споживання енергії домашніми господарствами та невеликими підприємствами, а також виробництва енергії невеликими електростанціями. Типовий будинок споживає кілька сотень кіловат-годин в місяць. Мегават-година (МВт·год.) – у 1000 разів більша, ніж кіловат-година – використовується для вимірювання виділення енергії великими електростанціями або споживання енергії великими установками.

У реальному житті промислові системи «відкриті». Також необхідно задати властивості системи, як-от температура, тиск і концентрація хімічних компонентів, та величину і швидкість зміни будь-яких із цих властивостей.

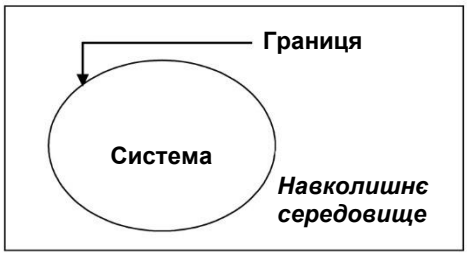


Рисунок 1.4. Термодинамічна система

1.2.2.1 Перший закон термодинаміки: перетворення енергії

Цей закон постановляє, що *енергію неможливо ні створити, ні знищити*. Її можна лише перетворити. Це означає, що повний потік енергії у стаціонарному процесі[9] в заданій системі повинен дорівнювати повному потоку з системи назовні.

На жаль, терміни *«виробництво енергії»* або *«генерація енергії»* (хоча й некоректні з технічної точки зору) увійшли в широкий вжиток і використовуються у цьому документі (оскільки термін *«перетворення енергії»* маловживаний у промислових сферах застосування, і деяким читачам він здається незвичним). Широко вживається термін *«використання енергії»*, оскільки він не натякає ні на створення, ні на знищення енергії. Під цими термінами зазвичай мають на увазі перетворення енергії з однієї форми енергії в інші форми енергії або роботу.

У випадку закритої системи з першого закону випливає, що зміна енергії системи дорівнює чистому переносу енергії в систему за рахунок теплоти та роботи. Тобто:

$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$ (в одиницях SI це буде вимірюватися у джоулях)

де: U_1 = внутрішня енергія перед зміною
U_2 = внутрішня енергія після зміни
Q = теплота: Q>0, якщо надходить у систему
W = робота: W>0, якщо виробляється системою

Теорія відносності об'єднує енергію та масу, тому зберігається як енергія, так і речовина, і потоки енергії та речовини, що входять у задану систему та виходять з неї, повинні бути врівноважені. Оскільки маса перетворюється в енергію лише в реакціях ядерного ділення та синтезу, це дає змогу розрахувати енергетичні (і масові) баланси для реакцій та процесів. На цьому базуються енергетичні аудити та баланси – див. розділ 2.11.

Чиста енергоефективність згідно з першим законом визначається (у випадку термічного ККД теплового двигуна) як частка підведеної теплоти, перетворена на корисну роботу:

$$\eta = \frac{W_{\text{корисна,вих.}}}{Q_{\text{вх.}}}$$

[9] Стаціонарний процес – це процес, у якому поведінка системи, яка спостерігалася нещодавно, не змінюється: наприклад, якщо потік електричної енергії або матеріалу в мережі залишається сталим (за однакових фізичних параметрів, як-от напруга, тиск, тощо).

де:

η = ККД

W = робота

Q = теплота

Її також можна описати у такий спосіб:

$$\text{ККД } (\eta) = \frac{\text{вихід енергії}}{\text{підведення енергії}} = \frac{\text{робота (W)}}{\text{енергія (E)}}$$

У системі SI як корисна робота (W), що виконується процесом, так і енергія (E) вимірюються у джоулях, тому наведене відношення – це безрозмірна величина від 0 до 1 або відсоток. (Слід пам'ятати, що це не стосується випадків, коли потужність пари, теплова та електрична потужність виражені через еквівалентні величини, як у Довідковому документі з НДТМ для спалювання відходів (WI) (або в ескізній редакції Рамкової директиви про відходи – WFD) [254, EIPPCB, 2005, 255, Європейська комісія та інші, 2005].

1.2.2.2 Другий закон термодинаміки: ентропія зростає

Другий закон термодинаміки постановляє, що *ентропія (див. нижче) у термодинамічно ізольованій системі з часом зростає*.

Для зворотного процесу у замкненій системі ***ентропію*** можна описати у такий спосіб:

$$\underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Зміна ентропії}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)}_{\text{Перенос ентропії, зворотний процес}} \text{ (в одиницях SI = Дж/К)}$$

де:

S = ентропія Q = теплота T = температура

Цей закон описує якість певної кількості енергії та напрямок, у якому рухається Всесвіт і всі процеси. Математичний термін *«ентропія»* можна пояснити по-різному, щоб, можливо, допомогти зрозуміти це поняття:

- енергія, яка розсіюється, стає «непридатною для використання», або розкладається на «безповоротно втрачене тепло» (розсіюється на броунівський рух або вібрації);
- міра часткової втрати системою здатності виконувати роботу через ефект незворотності;
- числова характеристика невпорядкованості (хаотичності) між початковим та кінцевим станами системи (наприклад, способи організації молекул): іншими словами, вона збільшується з часом. Як наслідок, тиск та концентрація хімічної речовини також перетікають від систем з вищим тиском або концентрацією до систем, у яких вони нижчі, поки системи не врівноважаться.

З цього закону випливають різноманітні наслідки, частина з яких також може полегшити розуміння цього поняття[10]:

- будь-якому процесу або діяльності притаманна схильність до втрати (або розсіяння) корисної енергії або роботи (наприклад, за рахунок тертя);

[10] З цього закону можна зробити інші висновки: наприклад, про те, що Всесвіт з часом невблаганно стає все більш хаотичним.

- теплота рухається передбачуваним чином – наприклад, перетікає від теплішого предмета до холоднішого;
- неможливо передати теплоту з холодної системи в гарячу, не перетворивши водночас певну кількість енергії на теплоту;
- роботу можна повністю перетворити на теплоту, але не навпаки;
- пристрій не може працювати у циклі, в якому він буде отримувати теплоту від єдиного тіла (ізольованого джерела) і віддавати лише корисну роботу: він може отримувати корисну роботу з теплоти лише в тому разі, якщо теплота при цьому передається від гарячого тіла до холодного (у системі не може щось з'явитися із нічого). Це означає, що вічного двигуна не існує.

На практиці це означає, що жодне перетворення енергії не може бути на 100 % ефективним (зверніть увагу на пояснення нижчої теплотворної здатності, наведене нижче, і див. розділ 1.3.6.2). Проте це також означає, що, якщо ми зменшимо зростання ентропії в окремо взятому процесі, такому як хімічна реакція, процес стане більш ефективним з енергетичної точки зору.

Таким чином, енергію системи можна розглядати як суму «корисної» енергії та енергії, «непридатної для використання».

Ентальпія (H) – це вміст корисної теплоти (теплової енергії) у системі, пов'язаний з внутрішньою енергією (U), тиском (P) та об'ємом (V):

$$H = U + PV$$ (в одиницях SI це буде вимірюватися у джоулях)

Внутрішня енергія U відповідає мікроскопічним формам енергії, що містяться в атомах і молекулах.

Коли система переходить з одного стану в інший, зміна ентальпії □H дорівнює різниці між ентальпією продуктів реакції та ентальпією реагентів:

$$\Delta H = H_{кінцева} - H_{початкова}$$ (в одиницях SI це буде вимірюватися у джоулях)

Кінцеве значення □H буде від'ємним, якщо тепло виділяється назовні (екзотермічна реакція), та додатним, якщо тепло поглинається з навколишнього середовища (ендотермічна реакція). У випадку реакції, яка полягає в утворенні сполуки зі складових компонентів, зміна ентальпії називається **теплотою утворення** (або **питомою зміною ентальпії**) сполуки. Існують питомі зміни ентальпії для згорання, гідрогенізації, утворення, тощо.

Фізичні зміни стану, або фази, речовини також супроводжуються змінами ентальпії, які називаються **прихованою теплотою** або **теплотою фазового переходу**. Зміна ентальпії, пов'язана з переходом із твердої фази в рідку, називається теплотою плавлення, а зміна ентальпії, пов'язана переходом із рідкої фази в газоподібну, називається теплотою пароутворення.

Таким чином, зміну енергії системи можна розглядати як суму «корисної» енергії та енергії, «непридатної для використання». Для виконання роботи необхідна взаємодія двох систем. **Ексергія *(B)*** – це максимальна корисна робота, яку можна отримати, якщо врівноважити систему з навколишнім середовищем (наприклад, привести їх до однакової температури, тиску, хімічного складу – див. розділ 1.2.2.4).

Відношення ексергії до енергії у речовині можна вважати мірою якості енергії. Деякі форми енергії, такі як кінетична енергія, електрична енергія та **вільна енергія Гіббса** (G) можна на 100 % відновити у вигляді роботи, тому їх ексергія дорівнює енергії. Інші форми енергії, такі як енергія випромінювання та теплова енергія, неможливо повністю перетворити у роботу, тому вміст ексергії в них менший, ніж вміст енергії. Точна частка ексергії у речовині залежить від величини ентропії відносно навколишнього середовища, яка визначається другим законом термодинаміки.

Для визначення ексергії потрібно встановити параметри системи (температура, тиск, хімічний склад, ентропія, ентальпія). Виразити її можна по-різному – залежно від того, які параметри підтримуються сталими. Питома ексергія потоку (E) для заданої течії розраховується так:

$E = H - H_0 - T_0 (s - s_0)$, де нижній індекс 0 означає початкові умови.

На практиці «корисну енергію» можна проілюструвати таким прикладом: 300 кг пари з температурою 400 °C під тиском 40 бар та 6 тонн води з температурою 40 °C містять однакову кількість енергії (за умови, що початкова температура однакова), тобто 1 ГДж. Пара під тиском 40 бар може виконувати корисну роботу (наприклад, виробляти електроенергію, рухати механічне обладнання, здійснювати нагрівання, тощо), проте вода з температурою 40 °C має обмежене застосування. Ексергію низькотемпературного потоку можна підвищити, але на це потрібно витратити енергію. Наприклад, ексергію можна підвищити за допомогою теплових насосів, проте вони споживають енергію під час роботи.

1.2.2.3 Баланс ексергії: поєднання першого і другого законів

Перший і другий закони можна об'єднати у форму, за допомогою якої зручно аналізувати, окрім іншого, ексергію, робочий потенціал та ексергетичні ККД (ККД за другим законом термодинаміки). Ця форма також розкриває додаткову інформацію про системи, їх роботу та оптимізацію – див. розділ 2.13.

Баланс ексергії для відкритої системи
Баланс швидкості зміни ексергії за сталого об'єму описується рівнянням:

$$\underbrace{\frac{dE_{cv}}{dt}}_{\text{Швидкість зміни ексергії}} = \underbrace{\sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) Q_j - \left(W_{cv} - P_0 \frac{dVcv}{dt}\right) + \sum_i m_i e_i - \sum_e m_e e_e}_{\text{Швидкість переносу ексергії}} - \underbrace{I}_{\text{Швидкість знищення ексергії}}$$

де:

E_{cv} = ексергія за сталого об'єму
T = температура
T = час

Члени $m_i e_i$ та $m_e e_e$ = це швидкості переносу ексергії в систему та з системи, якими супроводжується масовий потік m (від m_i до m_e)

Q_j = похідна за часом від величини теплопередачі на границі, де миттєва температура – T_j
I = швидкість втрати ексергії, або незворотність
P = тиск
V = об'єм
W_{cv} = робота за сталого об'єму

Для системи зі сталою витратою отримуємо такий баланс:

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) Q_j - W_{cv} + \sum_i m_i e_i - \sum_e m_e e_e - I$$

Застосування у промисловості
Саме врахування ексергії у типових процесах на хімічних заводах стало одним із чинників, які обумовили колосальний ріст хімічної промисловості у двадцятому сторіччі. У той час її зазвичай називали «наявною роботою».

Методи, які базуються на енергії та ексергії, використовуються у технічному проєктуванні, зокрема, для розрахунку балансів між вхідними та вихідними ресурсами у кількох можливих проєктах перед побудовою агрегату або технологічного процесу. Після того, як баланси були розраховані, інженеру часто потрібно вибрати найбільш ефективний процес. Проте тут не все однозначно (див. розділ 2.13):

- енергетичний ККД, або ККД за першим законом термодинаміки, визначає найбільш ефективний процес з тієї точки зору, щоб втрати енергії були якомога меншими відносно підведеної енергії;
- ексергетичний ККД, або ККД за другим законом термодинаміки, визначає найбільш ефективний процес з тієї точки зору, щоб розсіяння і втрати наявної роботи були якомога меншими відносно заданого значення підведеної наявної роботи.

Для досягнення вищого ексергетичного ККД потрібно побудувати дорожчу установку, тож необхідно віднайти баланс між капіталовкладеннями та ефективністю в експлуатації.

1.2.2.4 Термодинамічні діаграми

Якщо властивості системи виміряні (наприклад, температура T, тиск P, концентрація, тощо), і система не демонструє подальшої схильності до зміни своїх властивостей з часом, говорять, що система досягла **рівноважного стану**. Умови у рівноважній системі можна відтворити в інших (подібних) системах і описати набором властивостей, які є **функціями стану**: таким чином, цей принцип відомий як постулат стану. Звідси випливає, що стан системи з однієї чистої речовини можна відобразити на діаграмі двох незалежних властивостей. На термодинамічних діаграмах зазвичай відображаються такі п'ять основних властивостей: тиск (P), температура (T), питомий об'єм (V), питома ентальпія (H) та питома ентропія (S). У випадку суміші двох (або більше) речовин відображається ступінь сухості (X). Найбільш поширені термодинамічні діаграми – це діаграми «тиск – температура» (P-T), «тиск – питомий об'єм» (P-V), «температура – питомий об'єм» (T-V), «температура – ентропія» (T-S); «ентальпія – ентропія» (H-S) та «температура – ентальпія» (T-H), які використовуються у пінч-аналізі (див. розділ 2.12). Ці діаграми дуже зручні для побудови графіків. Крім того, перші три діаграмі зручні для пояснення залежностей між трьома фазами речовини.

Діаграми «тиск – температура» (фазові діаграми)
Фазові діаграми відображають умови рівноваги між термодинамічно відмінними фазами.

На діаграмі P-T (Рисунок 1.5) для чистої речовини зображені ділянки, що відповідають *однофазним областям* (тверда, рідка, газоподібна фази), де фаза речовини характеризується як температурою, так і тиском.

Лінії (які називаються *границями фазового переходу*) відображають області (або умови – у даному випадку P та T), у яких дві фази співіснують у рівноважному стані. У цих зонах тиск і температура залежать одне від одного, і стан речовини можна охарактеризувати, знаючи лише одну інтенсивну властивість (P або T). Лінія сублімації розділяє області твердої речовини та пари, лінія випаровування розділяє області рідини та пари, а лінія плавлення, або танення, розділяє області твердої речовини та рідини.

Усі три лінії сходяться у потрійній точці, де всі фази одночасно співіснують у рівновазі. У цьому випадку речовина не має незалежних інтенсивних властивостей: для речовини у потрійній точці існує лише один тиск і одна температура.

Лінія випаровування закінчується *критичною точкою*. За тисків і температур, які перевищують критичну точку, речовина перебуває у так званому надкритичному стані, у якому не можна чітко розрізнити рідку та парову фази. Таким чином відображається той факт, що за дуже високих тисків і температур рідку та газоподібну фази неможливо відрізнити одна від одної. Для води це приблизно 647 K (374 °C) та 22,064 МПа. При цьому речовина зліва від лінії випаровування називається недогрітою або стисненою рідиною, а справа від цієї ж лінії речовина перебуває у стані перегрітої пари.

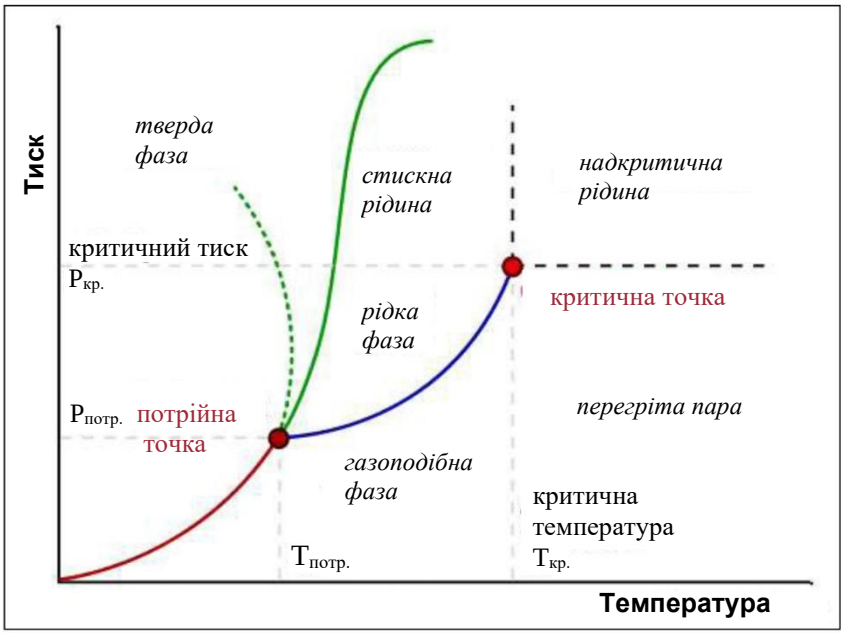


Рисунок 1.5. Діаграма «тиск – температура» (фазові діаграма)
[153, Вікіпедія]

1.2.2.5 Докладніша інформація

Докладніша інформація наведена у стандартних підручниках із термодинаміки, фізичної хімії, тощо.

Існує велике розмаїття літератури та баз даних, у яких міститься інформація, таблиці зі значеннями термодинамічних властивостей різних речовин та діаграми взаємозв'язків між ними. Вони отримані з експериментальних даних. У таблицях найчастіше вказуються такі властивості: питомий об'єм, внутрішня енергія, питома ентальпія, питома ентропія та питома теплота. Таблиці властивостей є у книгах із термодинаміки, в Інтернеті, тощо.

Оскільки для опису стану речовини в однофазних областях необхідно знати дві інтенсивні властивості, властивості V, U, H та S для перегрітої пари та стисненої рідини вказуються у залежності від температури за вибраних тисків. Якщо для стисненої рідини немає даних, достатньо точний наближений результат можна отримати, розглядаючи стиснену рідину як насичену рідину за даної температури. Це зумовлено тим, що властивості стисненої рідини набагато сильніше залежать від температури, ніж від тиску.

Для станів насиченої рідини та насиченої пари використовуються так звані таблиці «насичення». Оскільки у двофазних областях тиск і температура залежать одне від одного, для опису стану достатньо однієї властивості. Тому у таблицях насичення властивості V,

U, H та S для насиченої рідини та насиченої пари наведені у залежності від температури або тиску. У випадку насиченої парорідинної суміші необхідно визначити додаткову властивість – ступінь сухості. Ступінь сухості визначається як масова частка пари у насиченій парорідинній суміші.

Детальна інформація про банки даних та програми для термодинамічного моделювання наведена у Додатку 7.1.3.2.

1.2.2.6 Виявлення незворотностей

У термодинаміці *зворотні процеси* існують лише в теорії (для виведення принципів), а на практиці всі реальні системи *незворотні*. Це означає, що процес у них не може змінити напрямок спонтанно, а лише за рахунок підведення енергії (це випливає з другого закону термодинаміки). З умов механічної, теплової та хімічної рівноваги у термодинамічній системі також випливають три причини порушення рівноваги або незворотності (на практиці їх можна вважати проявами термодинамічної неефективності). Зміни виникають під дією рушійних сил, таких як температура, тиск, концентрація, тощо, як передбачає другий закон термодинаміки. Чим менші рушійні сили, тим більшим має бути обладнання: наприклад, при зменшенні середньологарифмічної різниці температур (LMTD) збільшується площа поверхні теплообміну. Цикл Карно, що описує найвищий ККД, за якого теплоту можна перетворити в потужність, базується, по суті, на нульових рушійних силах, а на практиці в реальних процесах неможливо досягти таких ККД, як у циклі Карно. Докладніші пояснення щодо циклу Карно можна знайти у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) [125, EIPPCB] або у стандартному підручнику.

Механічні незворотності виникають у тих процесах, у яких присутнє тертя, і часто призводять до змін тиску.

Теплові незворотності виникають тоді, коли у системі присутня скінченна зміна температури, – як, наприклад, у кожному теплообміннику. Тепло спонтанно передається від теплого тіла до холодного, а отже, втрачає ексергію. Знову ж таки, чим більша зміна температури, тим більша втрата ексергії, і тим більш незворотний процес.

Хімічні незворотності виникають через порушення хімічної рівноваги: у сумішах, розчинах та хімічних реакціях. Наприклад, при змішуванні води і солі ексергія системи зменшується. Цю втрату ексергії можна наочно відобразити у вигляді кількості роботи, яку раніше довелося виконати, щоб очистити воду для отримання солі: наприклад, шляхом дистиляції, іонного обміну, фільтрування через мембрану або висушування. Усі забруднення атмосфери та води супроводжуються хімічними незворотностями. Середовище легко забруднити (змішати), але для його очищення потрібно багато енергії.

Термодинамічний аналіз незворотних процесів показує, що для отримання високого ККД та заощадження енергії необхідно контролювати і мінімізувати всі механічні, теплові та хімічні незворотності, що з’являються в установці.

Приклади кожної з цих незворотностей наведені у Додатку 7.2.

Чим більші незворотності, тим більше можливостей для підвищення ККД енергетичної системи. Причини енергетично неефективного проєктування криються у наявності (значних) скінченних різниць тисків, температур та/або хімічних потенціалів і відсутності зв’язку між постачанням та потребою. Важливу роль в енергоефективних системах також відіграє час. Енергетичні системи спонтанно знижують свій тиск, температуру та хімічні потенціали, щоб досягти рівноваги з навколишнім середовищем. Цього можна уникнути за допомогою двох стратегій. Перша стратегія полягає в тому, щоб безпосередньо сполучити донорів енергії з акцепторами енергії (див., наприклад, розділ 3.3). Інша стратегія – це збереження стану шляхом огородження системи жорсткими стінками у випадку тиску, огородження адіабатичними стінками у випадку температури та/або обмеження хімічних

систем з метою їх утримання у метастабільних станах. Іншими словами, системи потрібно обмежити резервуарами, які будуть підтримувати інтенсивні властивості систем так, щоб ті не змінювалися з часом.

Термодинаміці належить відіграти важливу роль у досягненні максимально можливої енергоефективності, і вона вже застосовується на практиці за допомогою ряду інструментів:

- енергоефективне проєктування – див. розділ 2.3;
- аналітичні інструменти, як-от пінч-аналіз, аналіз ексергії та ентальпії – див. розділи 2.12 та 2.13;
- термоекономіка, яка поєднує термодинамічний аналіз з економікою – див. розділ 2.14.

1.3 Визначення показників енергоефективності й покращення енергоефективності

1.3.1 Енергоефективність та її вимірювання у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)

[4, Cefic, 2005, 92, Motiva Oy, 2005] [5, Гарделл та Форс (Hardell and Fors), 2005]

«Енергоефективність» – це термін, який широко вживається у якісному розумінні як засіб досягнення різних цілей, як-от політика на національному та міжнародному рівні, а також на рівні об'єктів господарської діяльності, і в першу чергу (як видно з «Передмови»)[11]:

- зниження вуглецевих викидів (захист клімату);
- підвищення надійності енергопостачання (шляхом сталого виробництва);
- зниження витрат (підвищення конкурентоспроможності підприємств).

Спочатку «енергоефективність» здається простою для розуміння. Проте цей термін зазвичай використовується без наведення визначення, тому *«енергоефективність у різні моменти часу та в різних місцях або обставинах може означати різні речі»*. Ця неясність описана як *«невловима і мінлива»*, а це призводить до *«розбіжностей та плутанини»*, і у випадках, коли заощадження енергії потрібно виразити кількісно, відсутність належних визначень *«збиває з пантелику, особливо у випадках, коли потрібно порівнювати великі галузі або сектори промисловості»*. У Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) немає визначення «енергоефективності», і у цьому розділі розглядаються питання, пов'язані з її визначенням у контексті установки та дозволу [62, Палата лордів Великої Британії, 2005, 63, Палата лордів Великої Британії, 2005].

Оскільки Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) стосується виробничих процесів в межах установки, центральне місце у цьому документі займає фізична енергоефективність на рівні установки. Тому життєві цикли продукції та сировини не розглядаються, хоча вони й актуальні при розгляді ресурсів (ці теми розглядаються у товарних політиках – див. пункт «Сфера застосування»).

У цьому документі також розглядається економічна ефективність – у тих випадках, коли такі дані наявні, і/або це питання актуальне (наприклад, для окремих технологій, а також див. розділ 1.5.1). Термодинамічні ККД розглядаються вище і, якщо це актуально, у місцях, присвячених окремим технологіям.

[11] Іншою важливою політикою енергоефективності є скорочення паливної бідності (наприклад, кількості домашніх господарств, які не можуть дозволити собі обігрівання взимку). Це соціальне питання, і воно не пов'язане безпосередньо з промисловою енергоефективністю і комплексним запобіганням та контролем забруднень.

Енергоефективність може знизитися внаслідок вжиття заходів, націлених на пом'якшення впливу продукції або побічних продуктів на навколишнє середовище (див. розділ 1.5.2.5). Це питання не входить до змісту цього документа.

1.3.2 Ефективне та неефективне використання енергії

[227, ТРГ]

Енергоефективність (і навпаки, неефективність) на установках можна розглядати з двох точок зору, які можна визначити так[12]:

1. Вихідний ресурс, повернений з підведеної енергії. Він ніколи не може становити 100 % з огляду на закони термодинаміки – див. розділ 1.2. Корінною причиною проявів неефективності є термодинамічні незворотності (див. розділ 1.2.2.6), до яких належить перенос енергії за рахунок теплопровідності, конвекції або випромінювання (теплові незворотності). Наприклад, теплопередача протікає не лише у потрібному напрямку, тобто до технологічного процесу, а й крізь стінки реактора або печі, тощо. Проте ці втрати можна зменшити за допомогою різноманітних технологій, багато з яких розглядаються далі у цьому документі, – наприклад, зменшення втрат теплового випромінювання у процесах згорання.

2. Дбале (або ефективне) використання енергії у такий спосіб і тоді, коли вона потрібна, в оптимальних кількостях. Причиною неефективності (або неефективного використання) є невідповідність між постачанням та потребою в енергії, у тому числі неналежне проєктування, експлуатація та технічне обслуговування; робота обладнання (наприклад, освітлення) тоді, коли в цьому немає потреби; протікання процесів за вищої температури, ніж потрібно; відсутність належних засобів для акумулювання енергії, тощо.

1.3.3 Показники енергоефективності

[5, Гарделл та Форс, 2005]

Директива про енергоспоживчі продукти (EuP)[13] [148, Європейська комісія, 2005] встановлює таке визначення енергоефективності:

«відношення вихідного ресурсу у вигляді робочих показників, послуг, товарів чи енергії до підведеної енергії».

Це кількість енергії, спожита на одиницю продукту / вихідного ресурсу, яка називається «питомою витратою енергії» (ПВЕ), і саме це визначення найчастіше вживається у промисловості. (Примітка: наведене нижче визначення широко вживається у нафтохімічній та хімічній галузях, проте там воно називається «коефіцієнтом енергоємності» (КЕЄ) або «показником енергоефективності» (ПЕЕ) – див. нижче та у Додатку 7.9.1).

У найпростішій формі ПВЕ можна визначити так:

$$\text{ПВЕ} = \frac{\text{спожита енергія}}{\text{вихід продукції}} = \frac{(\text{імпортована енергія} - \text{експортована енергія})}{\text{вихід продукції або результату}} \quad \text{Рівняння } \mathbf{1.1}$$

[12] У англійській мові існує лише один термін, тобто енергоефективність та її антонім – неефективність, і це може призвести до плутанини. У інших мовах є два окремі терміни: для ККД / втрат (наприклад, у французькій мові: rendements/pertes energetiques) та для дбалого / недбалого використання: efficacites/inefficacites energetiques).

[13] Директива про встановлення вимог до екологічно свідомого дизайну для енергоспоживчих продуктів (EuP), відома як Директива про енергоспоживчі продукти 2005/32/ЕС

ПВЕ – це величина, яка має розмірність (ГДж/тонну), і її можна застосовувати до агрегатів, які виробляють продукцію, що вимірюється в одиницях маси. Для галузей, які виробляють енергію (виробництво електроенергії, спалювання відходів), може бути більш доцільно впровадити коефіцієнт енергоефективності, який дорівнює відношенню виробленої енергії (ГДж) до імпортованої енергії (ГДж). ПВЕ можна виразити і через інші відношення, як-от енергія/м^2 (наприклад, для покриття рулонного прокату, у виробництві автомобілів), енергія/працівник, тощо.

Також використовується термін «коефіцієнт енергоємності» – КЕЄ (також див. примітку вище щодо його використання у нафтохімічній галузі). Слід пам'ятати, що економісти, говорячи про КЕЄ, часто мають на увазі відношення спожитої енергії до фінансової величини, такої як торговий оборот підприємства, додана вартість, ВВП, тощо, наприклад:

$$\text{КЕЄ} = \frac{\text{спожита енергія}}{\text{оборот установки}} = \text{ГДж/євро обороту} \quad \text{Рівняння } \mathbf{1.2}$$

Проте, оскільки вартість вихідних ресурсів зазвичай збільшується з часом, КЕЄ може зменшуватися без жодного збільшення фізичної енергоефективності (якщо тільки він не перераховується відносно еталонної ціни). Тому цей термін не слід використовувати для оцінки фізичної енергоефективності установки.

КЕЄ також використовується на макроскопічному рівні (наприклад, на європейському та національному рівнях) і виражається як, наприклад, ГДж на одиницю ВВП (валового внутрішнього продукту); після цього його можна використовувати у якості міри енергоефективності економіки країни (див. примітку вище щодо того, як цей термін використовують економісти).

Тому одиниці вимірювання, що використовуються, потрібно уточняти, особливо при порівнянні різних галузей або секторів [158, Сабо (Szabo), 2007].

Важливо пам'ятати про різницю між первинними енергіями (такими, як викопне паливо) та вторинними енергіями (або кінцевими енергіями, такими як електроенергія та пара – див. розділ 1.3.6.1). Вторинну енергію в ідеалі слід перетворювати у вміст первинної енергії, і далі цей термін стає питомою витратою первинної енергії. Її можна виразити, наприклад, через первинну енергію на тонну продукту у МДж/тонну або ГДж/тонну [91, CEFIC, 2005]. Проте такий підхід має свої переваги та недоліки, які докладніше розглядаються у розділі 1.3.6.1.

Знаменник у питомій витраті енергії та індексі енергоефективності

У найпростішому випадку виробничий агрегат випускає один основний продукт, який потім можна використовувати як дільник у формулі ПВЕ (рівняння 1.1). У багатьох випадках ситуація може бути складнішою – наприклад, на нафтопереробних заводах або великих хімічних заводах, які виробляють багато різних продуктів, у випадках, коли номенклатура продукції змінюється з часом, або коли очевидного продукту немає, і вихідним ресурсом є послуга, як на установках з переробки відходів. У випадках на зразок тих, що розглядаються у розділі 1.4 нижче, можна використовувати інші критерії виробництва. Це можуть бути, наприклад, випадки, у яких:

1. Є кілька однаково значимих продуктів або кілька важливих супутніх продуктів. Якщо це доцільно, у якості дільника можна використовувати суму цих продуктів. Якщо це неможливо, між енергетичним балансом та балансом продуктів потрібно встановити осмислені технологічні границі:

$$\text{ПВЕ} = \frac{\text{спожита енергія}}{\sum \text{вихід продукції}} = \frac{(\text{імпортована енергія} - \text{експортована енергія})}{\sum \text{вихід продукції}}$$

2. Є кілька потоків продукції, і потоків сировини (початкових матеріалів) небагато: у цьому випадку знаменником може бути сировина. Цей підхід рекомендується застосовувати, якщо витрата енергії залежить головним чином від кількості сировини і меншою мірою – від продукції (це можливо у випадках, коли якість продукції залежить від початкового матеріалу). Проте, використовуючи сировину у якості знаменника, неможливо відобразити втрати (зниження) енергоефективності у випадку, коли витрата сировини та енергії залишається такою ж, але об'єми виробництва зменшуються.

$$\text{ПВЕ} = \frac{\text{спожита енергія}}{\sum \text{витрачена сировина}} = \frac{(\text{імпортована енергія} - \text{ експортована енергія})}{\sum \text{витрачена сировина}}$$

3. Є кілька продуктів (або один продукт з різними технічними характеристиками), які виготовляються партіями або кампаніями. Прикладом є завод із виробництва полімерів, що випускає різні сорти полімеру, які виготовляються по черзі і протягом різних періодів часу, залежно від потреб ринку. Кожному сорту відповідає власна витрата енергії – як правило, для виробництва сортів вищої якості потрібно підводити більше енергії. У цьому випадку може бути зручно визначити еталонну енергоефективність для кожного сорту (за середньою витратою енергії для відповідного сорту). Тоді відповідну питому витрату енергії за конкретний період можна визначити так:

$$\text{ПВЕ} = \frac{\sum_{i-A,B,C} Xi \times \text{ПВЕ}_{\text{еталон.},i}}{\dfrac{\text{Енергія, спожита виробничою одиницею за період, який розглядається}}{\text{Сума продуктів A, B та C, виготовлених за цей період}}}$$

де:

Xi = частка i-ого сорту у загальному об'ємі продукції, випущеному за певний період
$\text{ПВЕ}_{\text{еталон., i}}$ = опорний коефіцієнт енергоефективності для i-ого сорту (розрахований, наприклад, шляхом усереднення показника енергоефективності за еталонний період, коли виготовлявся лише i-ий сорт)

4. Очевидного продукту немає, і вихідним ресурсом є послуга – наприклад, на установках з переробки відходів. У цьому випадку критерієм виробництва, пов'язаним з енергією, що споживається, будуть відходи, що надходять у якості вхідного ресурсу:

$$\text{ПВЕ} = \frac{(\text{імпортована енергія для забезпечення процесу спалювання} - \text{ експортована енергія})}{(\text{тонни перероблених відходів})}$$

Якщо відходи переважно горючі (як-от тверді комунально-побутові відходи – ТПКВ), цей показник буде від'ємним, оскільки частина нижчої теплотворної здатності (НТЗ) відходів, що спалюються, регенерується у вигляді енергії, яка експортується, а ця енергія зазвичай більша, ніж енергія, що імпортується (якщо остання взагалі присутня).

5. Інші випадки, коли відношення енергії до кінцевого продукту (або основний наскрізний потік) надто мінливе, щоб його було зручно використовувати. Прикладами є друкарські установки, на яких кількість вхідних / вихідних ресурсів у вигляді віддрукованого паперу не завжди пов'язана зі споживанням енергії. Це зумовлено тим, що об'єм друку і сушіння залежить від покривної здатності друкарської фарби і технологічних процесів, що застосовуються, – див. Довідковий документ з НДТМ для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників (STS).

Впровадження визначення підвищення енергоефективності
Згідно з визначенням, встановленим у Директиві про енергоспоживчі продукти (EuP) [147, Європейська комісія, 2006], підвищення енергоефективності – це збільшення ефективності кінцевого використання енергії внаслідок технологічних, поведінкових та/або економічних змін. Типи змін, які відповідають цим критеріям, розглядаються у розділі 1.5, а загальні методики описані у частинах 2 та 3.

Таким чином, підвищення ефективності можна виразити у такий спосіб [5, Гарделл та Форс]:

- отримання незмінної величини вихідного ресурсу за зниженого рівня витрати енергії, або
- отримання збільшеної величини вихідного ресурсу за незмінного рівня витрати енергії, або
- отримання величини вихідного ресурсу, яка у відносному вираженні переважає підвищення витрати енергії.

Основне призначення показників енергоефективності – дати змогу відстежувати прогрес енергоефективності для даного виробничого агрегату та даного темпу виробництва з часом і бачити вплив заходів та проєктів з підвищення енергоефективності на енергетичну ефективність виробничого процесу / агрегату. ПВЕ показує, скільки енергії споживається для виробництва даного вихідного ресурсу, проте єдине значення без інших еталонних даних має обмежену практичну цінність. ПЕЕ дає змогу відобразити зміну за певний період часу і зручніший для моніторингу енергоефективності системи, технологічного процесу або установки. Він визначається як відношення еталонної ПВЕ ($ПВЕ_{еталон.}$) до питомої витрати енергії для агрегату чи технологічного процесу, який розглядається. $ПВЕ_{еталон.}$ може бути як еталонним числом, загальноприйнятим у секторі промисловості, до якого належить виробничий процес, так і питомою витратою енергії у виробничому процесі за певний еталонний рік:

$$ПЕЕ = \frac{ПВЕ_{еталон.}}{ПВЕ} \quad \text{Рівняння } \mathbf{1.3}$$

Індекс енергоефективності – це безрозмірна величина.

Примітка.

- З підвищенням енергоефективності ПВЕ зменшується, а ПЕЕ збільшується. Тому енергетичний менеджмент націлений на досягнення якомога нижчої ПВЕ і якомога вищого ПЕЕ.
- Для визначення реальної енергоефективності може бути потрібно внести в показник поправку на коефіцієнти енергії.

Інтервали часу
Важливо вибрати належні інтервали часу (див. розділ 2.16 та Довідковий документ з НДТМ для моніторингу – MON). Якщо індикатор енергоефективності визначається на погодинній основі, він може сильно коливатися у випадку безперервного процесу і буде непридатним для періодичного процесу. На довшому проміжку часу, як-от роки або місяці, ці коливання згладяться. Проте слід зазначити, що коливання протягом коротших інтервалів часу також потрібно враховувати, оскільки вони можуть вказувати на можливості для заощадження енергії.

Окрім двох основних показників, які тут розглядаються, також існують інші показники та підпоказники – див. розділи 2.10. та 2.16.

1.3.4 Введення у використання показників

У промисловості питома витрата енергії (ПВЕ) для даного вихідного (або вхідного) ресурсу – це найбільш поширений показник, який буде широко вживатися у цьому документі. Його визначення виглядає оманливо простим. Проте досвід, який було накопичено у ході спроб кількісно охарактеризувати це поняття для процесів моніторингу, показує, що для кращого визначення поняття енергоефективності та її вимірювання потрібна концептуальна база. Існує кілька ускладнюючих чинників, як-от:

- різні оператори або персонал не завжди ведуть облік енергії однаковим чином або з використанням однакових параметрів;
- енергоефективність виробничого процесу часто необхідно розглядати у контексті енергоефективності виробничого об'єкта, на якому є кілька виробничих процесів;
- визначення не надає інформації про те, чи ефективно споживається або виробляється енергія.

Щоб величина енергоефективності була інформативною і корисною, вона повинна бути придатною для порівняння – наприклад, з іншим агрегатом чи установкою або у різні моменти часу, і для порівняння повинні існувати правила або домовленості. У випадку порівняння енергоефективності особливо важливо встановити границі систем, щоб усі користувачі враховувалися рівною мірою.

У найпростішому випадку визначення не характеризує ні того, наскільки ефективно виробляється енергія, ні того, як «втрачена» енергія використовується за межами границь системи. Ці та інші питання повинні бути прозорими, щоб можна було оцінити покращення в енергоефективності. Ці питання розглядаються у розділах 1.4 та 1.5.

У випадку комплексного запобігання та контролю забруднень енергоефективність розглядається з таких точок зору:

- на рівні установки при виданні дозволу на установку; при цьому може розглядатися енергія:
  - всієї установки;
  - окремих виробничих процесів / агрегатів та/або систем;
- або на рівні Європи для певного сектора промисловості або виду діяльності при встановленні значень енергоефективності (ENE), пов'язаних з НДТМ (орієнтирів), – наприклад, у документі BREF для конкретного сектора.

Питома витрата енергії та індекс енергоефективності (див. розділ 1.3.3) – це приклади показників енергоефективності. Придатність різних методів оцінки та показників енергоефективності потрібно розглянути на рівні секторів та технологічних процесів і, можливо, також доведеться розглянути окремо для кожного об'єкта (див. міркування, викладені у пункті «Бенчмаркінг (еталонне порівняння)», розділ 2.16). У всіх промислових установок є свої індивідуальні характеристики. Існують відмінності між видами сировини, технологіями процесу, якістю продукції, асортиментом продукції, методами моніторингу, тощо. Вік установки також може суттєво впливати на енергоефективність: нові установки зазвичай мають кращу енергоефективність, ніж старі [156, Беркенс (Beerkens), 2004, 157, Беркенс Р.Г.К. (Beerkens R.G.C.), 2006]. З урахуванням розмаїття змінних, які впливають на енергоефективність, порівняння різних установок за показниками енергоефективності може призвести до неправильних висновків, особливо у тих випадках, коли на практиці складно (або навіть неможливо) належним чином врахувати всі змінні [127, ТРГ].

Для обчислення енергоефективності може бути корисно [4, Cefic, 2005]:

- оцінити об'єкт, щоб визначити, чи можна встановити показник питомої енергії (ППЕ) для всього об'єкта;
- розбити об'єкт на виробничі агрегати / агрегати інженерного забезпечення, якщо неможливо встановити ППЕ для об'єкта, або якщо це зручно для аналізу енергоефективності;
- впровадити визначення показників для кожного виробничого процесу та для об'єкта або його частини;
- кількісно оцінити показники питомої енергії, записати, як вони задані, і вести ці дані, фіксуючи всі зміни з часом (наприклад, у продуктах, обладнанні).

1.3.5 Важливість систем та границь систем

Найкраща енергоефективність для об'єкта не завжди дорівнює сумі оптимальних енергоефективностей для його складових частин, якщо вони всі оптимізуються окремо. Дійсно, якщо кожен технологічний процес буде оптимізуватися незалежно від інших технологічних процесів на об'єкті, виникає ризик, що на об'єкті, наприклад, буде вироблятися надлишок пари, який доведеться випускати. Звертаючи увагу на інтеграцію агрегатів, можна врівноважити потоки пари і виявити можливості використання джерел тепла з одного технологічного процесу для нагрівання в іншому технологічному процесі, і таким чином знизити сукупні витрати енергії на об'єкті. Таким чином, можна досягти ефектів синергії шляхом врахування таких моментів (у вказаному порядку):

1. Врахування всього об'єкта і того, як взаємопов'язані різні агрегати та/або системи (наприклад, компресори та опалення). Тут може бути потрібно, зокрема, розглянути можливість того, щоб відмовитися від оптимізації енергоефективності одного чи кількох виробничих процесів / агрегатів заради досягнення оптимальної енергоефективності всього об'єкта. Потрібно оцінити ефективність використання технологічних процесів, агрегатів, засобів інженерного забезпечення чи пов'язаних з ними видів діяльності або навіть їх прийнятність у їх поточних формах.
2. Далі виконується оптимізація різних агрегатів та/або систем (наприклад, системи стисненого повітря, системи охолодження, парової системи).
3. Насамкінець виконується оптимізація решти складових частин (наприклад, електродвигунів, насосів, клапанів).

Щоб зрозуміти важливість врахування ролі систем в енергоефективності, важливо розуміти, як визначення системи та її границі вплине на досягнення енергоефективності. Це питання розглядається у розділі 1.5.1 та розділі 2.2.2.

Крім того, загальну енергоефективність можна додатково підвищити шляхом розширення границь за межі діяльності компанії та об'єднання промислового виробництва і споживання енергії з потребами спільноти за межами об'єкта – наприклад, шляхом постачання дешевої енергії для опалення сусідніх районів, як-от у випадку когенерації (див. розділ 3.4).

1.3.6 Інші важливі пов'язані терміни

Інші терміни, які використовуються, можна знайти у «Словнику термінів», Додаток 7.1, або у стандартних текстах.

1.3.6.1 Первинна енергія, вторинна енергія та кінцева енергія

Первинна енергія – це енергія, що міститься в неочищеному паливі (тобто у природних ресурсах до будь-якої обробки), у тому числі в горючих відходах та всіх інших формах енергії, які система отримує у якості вхідних ресурсів. Це поняття використовується головним чином в енергетичній статистиці при складанні енергетичних балансів.

У ході процесів перетворення енергія первинна енергія перетворюється у зручніші форми енергії, як-от електрична енергія, пара та чистіше паливо. У енергетичній статистиці ці наступні форми енергії називаються вторинною енергією. Кінцева енергія – це енергія у тому вигляді, у якому її отримують користувачі; вона може бути як первинною, так і вторинною (наприклад, природний газ використовується в установці як первинна енергія, а електроенергія – як вторинна енергія). Зв'язок між цими енергіями пояснений на Рисунку 1.6.

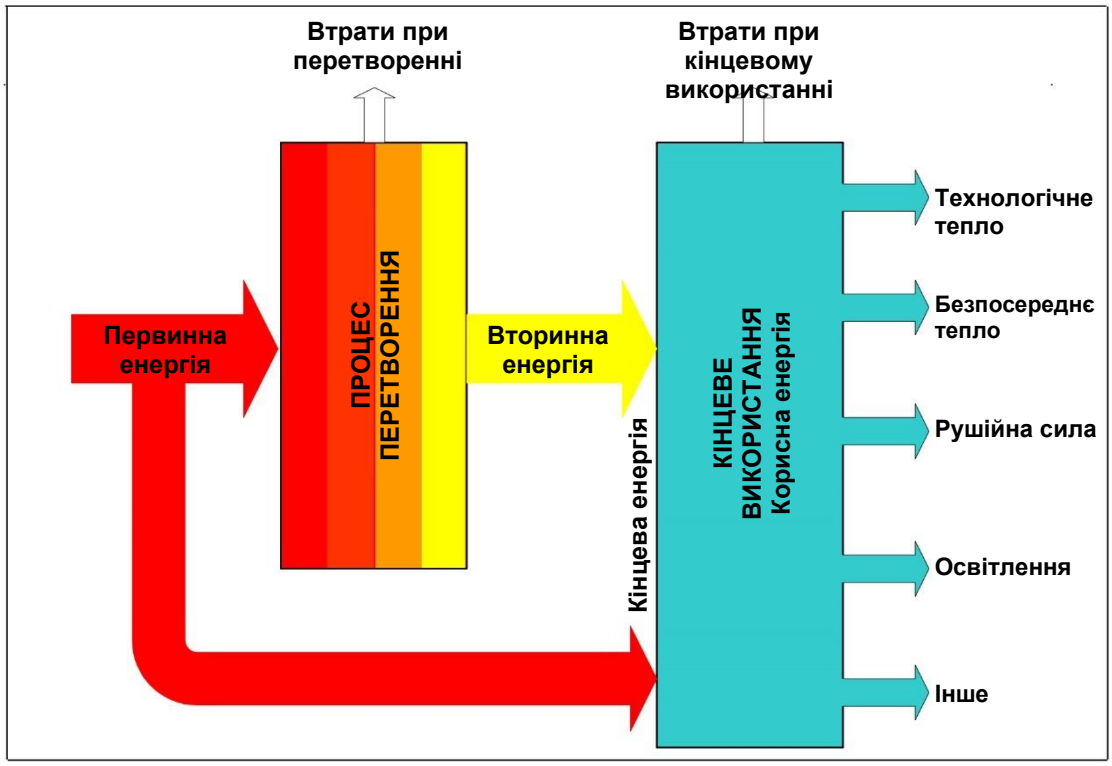


Рисунок 1.6. Визначення первинної, вторинної та кінцевої енергії [260, ТРГ, 2008]

Використання первинної та вторинної енергій проілюстроване у розділі 1.4.2.1. При порівнянні різних енергоносіїв (наприклад, порівняння пари та/або теплоти, що виробляється в установці з неочищеного палива, з електроенергією, яка виробляється за межами установки і постачається через національну мережу) важливо враховувати прояви неефективності у зовнішньому енергоносії (енергоносіях). Якщо цього не робити, як у прикладі, наведеному в розділі 1.4.2.1, зовнішній енергоносій може здаватися значно ефективнішим.

Прикладами енергоносіїв, які можуть постачатися з-за меж агрегату або установки, є:

- **електроенергія:** ККД різниться залежно від палива та технології – див. джерело [125, EIPPCB]. Для традиційних паротурбінних установок ККД виробництва електроенергія з первинного палива варіюється від 36 до 46 %. У випадку технології комбінованого циклу ККД становить від 55 до 58 %. У випадку когенерації (комбінованого виробництва тепла та електроенергії, ТЕЦ – див. розділ 3.4) повний ККД для електроенергії та тепла може досягати 85 % і більше. Для електроенергії, отриманої з ядерного палива та відновлюваних джерел, ККД розраховується по-іншому;

- **пара**: енергетичну цінність пари можна описати рівнянням $\frac{h_п - h_в}{\eta_к}$

де: $h_п$ = ентальпія пари
$h_в$ = ентальпія живильної води котла (після деаерації)
$\eta_к$ = термічний ККД котла.

Втім, ця оцінка надто вузька. По суті, при визначенні енергетичної цінності пари також потрібно враховувати такі надходження енергії:

- Парова система, наприклад:
  - теплота, передана живильній воді котла для її догрівання до температури деаератора;
  - пара, вбризнута в деаератор для видалення кисню з живильної води котла.

- Власні потреби, наприклад:
  - енергія, потрібна для накачування живильної води котла до робочого тиску котла;
  - енергія, спожита повітряним вентилятором, який створює примусову тягу в котлі.

Існують й інші чинники, які потрібно враховувати, як-от товари широкого вжитку, тощо. Спосіб, у який задається визначення первинної енергії пари, повинен бути чітко описаний у процедурі розрахунку показників ефективності та в орієнтирах для енергії. Важливо, щоб усі користувалися однаковою базою для розрахунку первинної енергії пари – див. розділ 3.2.1, у якому викладені стандарти для розрахунку ККД котлів [249, ТРГ, 2007, 260, ТРГ, 2008].

Існують й інші засоби інженерного забезпечення, які потрібно враховувати подібним чином, як-от:

- стиснене повітря: див. розділ 3.7;
- гаряча вода;
- охолоджувальна вода: див. розділ 3.4.3.

Інші вхідні ресурси можуть не вважатися «засобами інженерного забезпечення» у традиційному сенсі. Проте вони можуть вироблятися на об'єкті або за його межами, і/або користь, яку з них отримують, та відповідний вплив на споживання енергії можуть бути суттєвими. Наприклад:

- азот: див. розділ 3.7, присвячений стисненому повітрю та виробництву N_2 низької чистоти;
- кисень: коли він використовується у спалюванні, може стверджуватися, що він підвищує ККД згорання. Проте, якщо враховувати енергію, що витрачається на виробництво кисню, при киснево-паливному горінні може споживатися стільки ж або більше енергії, скільки заощаджується у процесі згорання (залежно від печі), хоча значною перевагою цієї технології є зниження викидів NO_x – див. розділ 3.1.6 [156, Беркенс, 2004, 157, Беркенс Р.Г.К., 2006].

Проте процедура розрахунку енергій у вигляді первинних енергій потребує часу (хоча її можна з легкістю автоматизувати, створивши електронну таблицю для повторних розрахунків у заданій ситуації), і вона не позбавлена проблем із тлумаченням. Наприклад, нова установка, оснащена максимально енергоефективними технологіями, може працювати у країні з застарілими системами виробництва та розподілу електроенергії. Якщо враховувати низький ККД вітчизняних систем виробництва та розподілу електроенергії, показник енергоефективності установки може бути низьким порівняно з подібними установками в інших країнах [127, ТРГ]. Крім того, різні джерела електроенергії можуть мати різні ККД генерації, і структура джерел генерації у різних країнах може різнитися. Цю проблему можна обійти, використовуючи стандартні значення – наприклад, структуру енергетики Європи (див. Додаток 7.16). Проте для врахування виробництва будь-якого вторинного енергоносія та його міжсередовищних наслідків можуть використовуватися, залежно від місцевих обставин, інші показники, як-от вуглецевий баланс.

Згідно з Директивою 2003/54/ЕС[14], з 1 липня 2004 року постачальники електроенергії розкривають структуру свого паливного балансу. Конкретика представлення даних, що надаються, залишається на розсуд країн-членів ЄС. http://europa.eu/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l 176/l 17620030715en00370055.pdf

Коментар Європейської комісії щодо впровадження доступний на сайті: http://ec.europa.eu/energy/electricity/legislation/doc/notes_for_implementation_2004/labelling en.pdf

Директива щодо сприяння когенерації [146, Європейська комісія, 2004] та пов'язані з нею настанови роз'яснюють еталонні значення для виробництва електроенергії та пари, у тому числі коефіцієнти поправок, залежно від географічного місцезнаходження. Директива також роз'яснює методику визначення ККД процесу когенерації.

Існують інші різноманітні джерела даних – наприклад, про національні структури паливного балансу: http://www.berr.gov.uk/energy/policy-strategy/consumer-policy/fuel-mix/page21629.html

Замість приведення всіх енергій до первинної енергії можна розраховувати ПВЕ за основними енергоносіями – наприклад, див. розділ 6.2.2.4, сторінка 338, Довідкового документа з НДТМ для целюлозно-паперової промисловості [125, EIPPCB], де зазначено, що загальна потреба в енергії (споживання енергії) у формі тепла (пари) та електроенергії для паперової фабрики з неповним технологічним циклом, що виробляє чистоцелюлозний папір, як повідомляється [276, Управління з охорони навколишнього середовища США, 1997], склала:

[14] Директива 2003/54/ЕС від 26 червня 2003 року щодо загальних правил для внутрішнього ринку електроенергії, яка анулює Директиву 96/92/ЕС

- технологічне тепло: 8 ГДж/т (≈ 2222 кВт·год./т);
- електроенергія: 674 кВт·год./т.

Це означає, що споживається близько 3 МВт·год. електроенергії та пари на тонну продукту. Якщо враховувати витрату первинної енергії на перетворення викопного палива у потужність, усього потрібно 4 МВт·год./т паперу. З огляду на це приймаємо, що вихід первинної енергії з електрогенератора становить 36,75 %. У цьому випадку 674 кВт·год/т. спожитої електроенергії – це відповідно 1852 кВт·год./т первинної енергії (наприклад, вугілля).

Загалом первинну енергію можна використовувати:

- для порівняння з іншими агрегатами, системами, об’єктами в межах секторів, тощо;
- під час аудиту для оптимізації енергоефективності та порівняння різних енергоресурсів, що споживаються конкретними агрегатами або установками (див. розділи 1.4.1 та 1.4.2).

Первинну енергію, розраховану на місцевому (або національному) рівні, можна використовувати для порівнянь конкретного об’єкта, наприклад:

- коли потрібно зрозуміти місцеві (або національні) ефекти – наприклад, при порівнянні установок, розташованих у різних місцях, в межах сектора або компанії;
- під час аудиту для оптимізації енергоефективності та порівняння різних енергоресурсів, що споживаються конкретними агрегатами або установками (див. розділи 1.4.1 та 1.4.2). Наприклад, якщо розглядається можливість заміни парової турбіни на електродвигун, оптимально використовувати фактичний ККД виробництва електроенергії у цій країні.

Первинна енергія, розрахована на регіональному рівні (наприклад, структура енергетики ЄС), використовується:

- для моніторингу видів діяльності, агрегатів або установок на регіональному рівні – наприклад, у секторі промисловості.

Вторинну або кінцеву енергію можна використовувати:

- для моніторингу конкретної поточної ситуації;
- якщо вона розрахована на рівні енергоносія – для моніторингу ККД об’єкта та сектора промисловості.

У розділі 1.4.1 кінцеву (або вторинну) енергію можна використовувати для порівняння установок у різних країнах, на базі чого встановлюються вимоги до питомого споживання енергії, наведені у деяких галузевих документах BREF (наприклад, див. Довідковий документ з НДТМ для целюлозно-паперової промисловості). І навпаки: первинну енергію можна використовувати для вираження загальних ККД на національному рівні (наприклад, для оцінки різних ККД секторів промисловості в різних країнах).

Зверніть увагу, що Європейська комісія (а конкретно – Генеральний директорат з енергетики, Об'єднаний дослідницький центр – Інститут перспективних технологічних досліджень (JRC IPTS)) та Міжурядова група експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) для ясності наводять у своїх звітах як первинні, так і вторинні значення [158, Сабо, 2007].

1.3.6.2 Теплотворна здатність палива та паливний ККД

У Європі вміст корисної енергії в паливі зазвичай розраховується за допомогою нижчої теплотворної здатності (НТЗ), нижчої теплоти згорання (НТЗ) або теплотворної здатності нетто (ТЗН) цього палива, тобто теплоти, яка виділяється при згоранні (окисненні) палива, виміряної за таких умов, що водяна пара, яка при цьому утворюється, залишається в газоподібному стані, не конденсуючись у вигляді рідкої води. Це зумовлено реальними умовами в котлі, де водяна пара не охолоджується нижче своєї точки роси, і немає прихованої теплоти для утворення пари.

У США та в інших країнах використовується вища теплотворна здатність (ВТЗ), вища теплота згоряння (ВТЗ) або теплотворна здатність брутто (ТЗП), у якій також враховується прихована теплота, пов'язана з конденсацією водяної пари, тому у разі використання ВТЗ не може бути перевищений термодинамічний максимум у 100 %. $ВТЗ_{сух.}$ – це ВТЗ для палива, що не містить води або водяної пари, а $ВТЗ_{волог.}$ використовується у випадку, коли паливо містить вологу.

Проте якщо замість ВТЗ у якості еталонного значення використовується НТЗ (ТЗН), для конденсаційного котла можна отримати «ККД нагрівання», який нібито перевищує 100 %, а це було б порушенням першого закону термодинаміки.

Це важливо враховувати при порівнянні даних, виражених через теплотворні здатності, зі США та Європи. Проте якщо ці величини використовуються у відношеннях, таких як ПЕЕ, ця відмінність може бути присутня як у чисельнику, так і у знаменнику, а отже, скоротиться. Деякі орієнтовні ВТЗ та НТЗ наведені у Таблиці 1.1: як бачимо, відношення $НТЗ_{волог.}$ до $ВТЗ_{волог.}$ варіюється від 0,968 до 0,767. Зверніть увагу, що ВТЗ/НТЗ можуть різнитися залежно від джерела, часу, тощо.

Паливо	**Вміст вологи (% на вологу масу)**	**Вміст водню ($кг_Н/кг_{паливо}$)**	**$ВТЗ_{сух.}$ (МДж/кг)**	**$ВТЗ_{волог.}$ (МДж/кг)**	**$НТЗ_{сух.}$ (МДж/кг)**	**$НТЗ_{волог.}$ (МДж/кг)**	**Відношення $НТЗ_{волог.}/ВТЗ_{волог.}$ (безрозмірне)**
Кам'яне вугілля	2	4,7	29,6	29,0	28,7	28,1	0,968
Природний газ 1 (Уренгой, Росія)	0		54,6	54,6	49,2	49,2	0,901
Природний газ 2 (Канзас, США)	0		47,3	54,6	42,7	42,7	0,903
Важкий мазут	0,3	10,1	43,1	43,0	40,9	40,8	0,949
Легкий мазут	0,01	13,7	46,0	46,0	43,0	43,0	0,935
Соснова кора, не висушена	60	5,9	21,3	8,5	20	6,5	0,767
Соснова кора, висушена	30	5,9	21,3	14,9	20	13,3	0,890
Природний газ 1: CH_4 (97,1 об. %), C_2H_6 (0,8 %), C_3H_8 (0,2 %), C_4H_{10} (0,1 %), N_2 (0,9 %), CO_2 (0,1 %) Природний газ 2: CH_4 (84,1 об. %), C_2H_6 (6,7 %), C_3H_8 (0,3 %), C_4H_{10} (0,0 %), N_2 (8,3 %), CO_2 (0,7 %)							

Таблиця 1.1. Орієнтовні значення нижчої та вищої теплотворної здатності для різних видів палива
[153, Вікіпедія]

1.3.6.3 Керування з боку постачання та з боку потреби

Бік постачання стосується постачання енергії, її передавання та розподілу. Стратегія та керування постачанням енергії за межами установки не підпадає під зміст Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень – IPPC (хоча діяльність, пов'язана з виробництвом електроенергії, охоплена так, як визначено у Додатку 1 (1.1) до Директиви). Зверніть увагу, що у випадку установки, на якій електроенергія або тепло виробляється у ході технологічного процесу інженерного забезпечення або пов'язаного з ним технологічного процесу, постачання цієї енергії в інший агрегат або технологічний процес у межах установки також може називатися «боком постачання».

Керування боком потреби означає керування потребою об'єкта в енергії, і це питання розглядається у великій кількості літератури, присвяченої енергоефективним технологіям. Проте важливо пам'ятати, що тут є дві складові: вартість енергії на агрегат та кількість енергетичних агрегатів, що використовуються. Важливо розрізняти підвищення енергоефективності в економічному сенсі та у сенсі фізичної енергії (цей момент докладніше пояснюється у Додатку 7.11).

1.4 Показники енергоефективності у промисловості

1.4.1 Вступ: впровадження визначень показників та інших параметрів

Основна мета показників – полегшити самоаналіз та моніторинг і допомогти порівняти енергоефективність агрегатів, видів діяльності або установок. Хоча Рівняння 1.1 та Рівняння 1.5 здаються простими, з ними пов'язані моменти, які потрібно задати і вирішити, перш ніж використовувати показники, – особливо у випадку, коли один виробничий процес порівнюється з іншим. Моменти, які потрібно задати, – це, наприклад, границі технологічного процесу, границі системи, енергоносії, а також як порівнювати різні види палива та джерела палива (і які ці джерела – внутрішні чи зовнішні). Після того, як ці фактори були визначені для конкретної установки або для орієнтиру, що діє між об'єктами, їх необхідно дотримуватися.

У цьому розділі розглядається, як задати визначення енергоефективності та показників для окремих промислових виробничих процесів / агрегатів / об'єктів. Тут пояснюється, у чому полягають значимі питання, і як їх враховувати, щоб виміряти і кількісно оцінити зміни в енергоефективності.

Існують проблеми з тим, щоб дані, отримані від різних агрегатів або об'єктів, були дійсно придатними для порівняння, а якщо це вдалося забезпечити, – чи можуть бути зроблені такі висновки про економіку об'єкта, які несприятливо вплинуть на конфіденційність або конкуренцію. Ці питання та використання цих показників розглядаються у розділі 2.16 «Бенчмаркінг (еталонне порівняння)».

У розділі 1.3.3 підкреслено, що показники можуть базуватися на найбільш доцільних відношеннях з огляду на специфіку процесу – наприклад, ГДж/тонну, ГДж/одиниці виробленого продукту, вироблена енергія/імпортована енергія (для галузей, у яких виробляється енергія), енергія/м^2 (наприклад, для покриття рулонного прокату, у виробництві автомобілів), енергія/працівник, тощо.

1.4.2 Енергоефективність виробничих агрегатів

Два наведені нижче приклади ілюструють поняття ПВЕ та ПЕЕ і підкреслюють основні проблеми з тлумаченням.

1.4.2.1 Приклад 1. Простий випадок

На Рисунку 1.7 зображено приклад простого виробничого агрегату[15]. Технологічний процес для простоти показаний без потоків експорту енергії, лише з одним початковим матеріалом та одним продуктом. У процесі виробництва використовується пара, електроенергія та паливо.

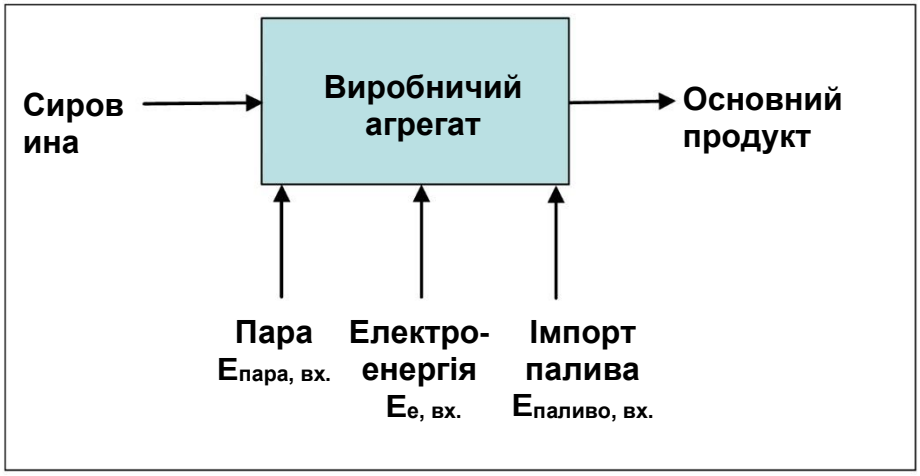


Рисунок 1.7. Енергоносії для простого виробничого агрегату

ПВЕ для цього технологічного процесу виглядає так:

$$\text{ПВЕ} = \frac{E_{\text{пара,вх.}} + E_{\text{е,вх.}} + E_{\text{паливо,вх.}}}{P} \quad \text{Рівняння } \mathbf{1.4}$$

де:

$E_{\text{пара, вх.}}$ = енергія, що підводиться до технологічного процесу у вигляді пари для виробництва кількості продукту P
$E_{\text{е, вх.}}$ = енергія, що підводиться до технологічного процесу у вигляді електроенергії для виробництва кількості продукту P
$E_{\text{паливо, вх.}}$ = енергія, що підводиться до технологічного процесу у вигляді палива для виробництва кількості продукту P
P = кількість продукту P

У Рівнянні 1.5 важливо, щоб різні енергоносії (потоки енергії) були виражені через **первинну енергію** і приведені до однієї і тієї ж бази (див. розділ 1.3.6.1). Наприклад, для виробництва 1 МВт·год. електроенергії потрібно більше енергії, ніж для виробництва 1 МВт·год. пари, оскільки електроенергія зазвичай виробляється з ККД від 35 до 58 %, а пара – з ККД від 85 до 95 %. Тому споживання енергії різних енергоносіїв у Рівнянні 1.5 потрібно виражати через первинну енергію. При цьому враховується ККД виробництва цього енергоносія.

Приклад розрахунку енергоефективності: нехай для виробництва 1 тонни продукту P1 потрібні такі енергоносії:

- 0,01 тонни палива;
- 10 кВт·год. електроенергії;
- 0,1 тонни пари.

Нехай[15]:

- нижня теплота згорання палива = 50 ГДж/тонну;
- ККД виробництва електроенергії = 40%;
- пара виробляється з води, температура якої – 25 °C, і різниця ентальпій пари та води за температури 25 °C = 2,8 ГДж/тонну;
- пара виробляється з ККД 85 %.

Витрата енергії на виробництво 1 тонни продукту P1 (у перерахунку на ГДж):

- $E_{паливо, вх.}$ = 0,01 тонни палива x 50 ГДж/тонну = 0,50 ГДж
- $E_{е, вх.}$ = 10 кВт·год. x 0,0036 ГДж/кВт·год. x 100/40 = 0,09 ГДж (де 1 кВт·год. = 0,0036 ГДж)
- $E_{пара, вх.}$ = 0,1 тонна пари x 2,8 ГДж/тонну x 1/0,85 = 0,33 ГДж.

Тоді ПВЕ для цього технологічного процесу виглядає так:

- ПВЕ = (0,50 + 0,09 + 0,33) ГДж/тонну = 0,92 ГДж/тонну.

Щоб визначити ПЕЕ, припустимо, що це еталонна ПВЕ. Тепер припустимо, що на установці було реалізовано ряд проєктів з підвищення енергоефективності, тож через рік витрата енергії у виробничому процесі стала такою:

- 0,01 тонни палива;
- 15 кВт·год. електроенергії;
- 0,05 тонни пари.

У результаті цих проєктів з підвищення енергоефективності нова ПВЕ для технологічного процесу буде такою:

- ПВЕ = (0,5 + 0,135 + 0,165) ГДж/тонну = 0,8 ГДж/тонну.

Тоді ПЕЕ цього технологічного процесу:

- ПЕЕ = 0,92/0,8 = 1,15.

Це означає, що енергоефективність виробничого процесу зросла на 15 %.

Важливо зазначити, що прояви неефективності у виробництві електроенергії в цьому випадку стали внутрішніми (через використання первинної енергії: насправді ці прояви неефективності знаходяться за межами об’єкта). Якби вони не були враховані, підведена електрична енергія здавалася б на 50 % ефективнішою, ніж насправді:

$$\frac{(0{,}09 - 0{,}036)}{0{,}036} = 1{,}5; \text{тобто } 150\%$$

Якщо первинною енергією нехтувати, це може призвести, наприклад, до того, що буде прийнято рішення замінити інші енергоносії електроенергією. Проте для визначення кількості корисної енергії, яку можна отримати з джерел, потрібно було б виконати складніший аналіз, – наприклад, аналіз ексергії, – який виходить за межі цього прикладу.

[15] Рисунки наведені лише для наочності і не претендують на точність. Тиск пари не вказаний, проте можна припустити, що в обох частинах прикладу він однаковий. Тут був би кориснішим аналіз ексергії, проте він виходить за межі цього простого прикладу.

Таким чином, цей приклад демонструє, що важливо знати, на базі чого розраховуються ПВЕ та ПЕЕ.

Також важливо зазначити, що та ж сама логіка застосовується до інших засобів інженерного забезпечення, які можуть надходити в агрегат / технологічний процес / установку з-за границі (а не вироблятися в межах границі), як-от пара, стиснене повітря, N_2, тощо (див. пояснення про первинну енергію, розділ 1.3.6.1).

1.4.2.2 Приклад 2. Типовий випадок

На Рисунку 1.8 розглядається складніший випадок, де є як експорт енергії, так і внутрішня переробка палива або енергії. Цей приклад ілюструє принципи, які можна застосовувати у багатьох галузях з відповідними поправками.

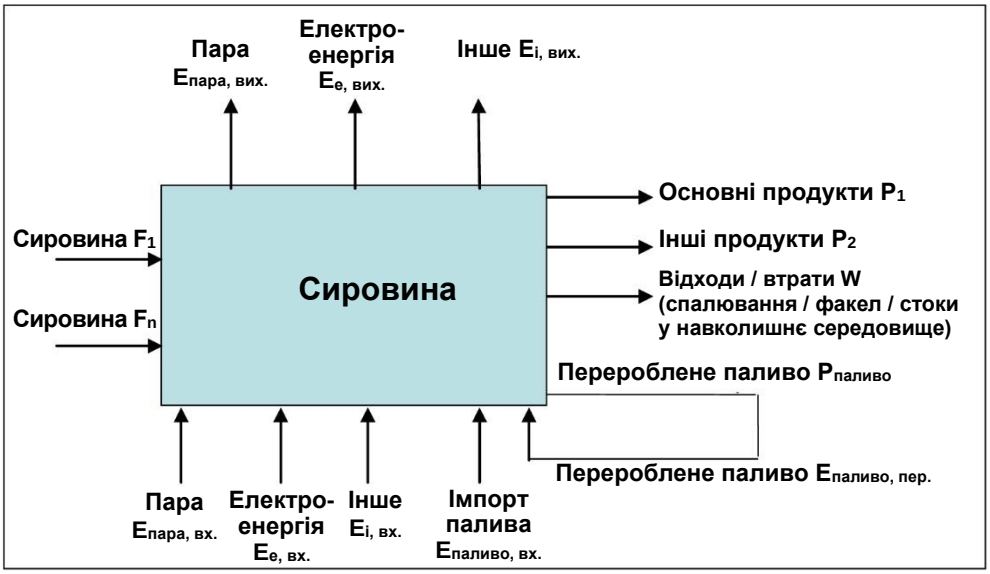


Рисунок 1.8. Енергоносії для виробничого агрегату

$$\text{ПВЕ} = \frac{\left(E_{\text{пара,вх.}} + E_{\text{е,вх.}} + \left(E_{\text{паливо,вх.}} + E_{\text{паливо,рек.}}\right) + E_{\text{і,вх.}}\right) - \left(E_{\text{пара,вих.}} + E_{\text{е,вих.}} + E_{\text{і,вих.}}\right)}{P_1} \quad \text{Рівняння } \mathbf{1.5}$$

Цю загальну формулу можна застосовувати до кожного виробничого процесу / агрегату / установки, проте різні її складові потрібно буде адаптувати до кожного конкретного виробничого процесу / агрегату / об'єкта. Розмірність цього показника – (одиниця енергії)/(одиниця маси), зазвичай ГДж/т продукту або МВт·год./т продукту. Однак продуктів може бути кілька, або один основний продукт і суттєві побічні продукти.

Деякі міркування, які потрібно враховувати при застосуванні Рівняння 1.5, описані у шести наступних пунктах (деякі з них також стосуються Рівняння 1.5):

1. Потоки сировини / продукту ($F_{1\text{-}n}$, P_1)

На Рисунку 1.8 масові потоки сировини та продуктів показані у горизонтальному напрямку. Потоки сировини F_1 – F_n ($F_{1\text{-}n}$) – це різні види сировини, які використовуються для виробництва основних продуктів P_1 та побічних продуктів. Ці продукти поділяються на дві частки: частка, яка переробляється як паливо ($P_{\text{паливо}}$), і решта побічних продуктів (P_2).

Прикладами такої ситуації є:

- установки парового крекінгу для виробництва етилену у нафтохімічній галузі, для яких витрату енергії можна виразити у ГДж на тонну етилену, у ГДж на тонну

олефінів (етилен + пропілен) або у ГДж на тонну цінних хімічних речовин (олефіни + бутадієн + бензол + чистий водень);

- у хлорно-лужному секторі, де витрата енергії зазвичай приводиться до тонн виробленого Cl_2 (основний продукт), а побічними продуктами є H_2 та NaOH.

2. Енергоносії (потоки енергії) ($E_{вх.}$)

Енергоносії відображають різні типи потоків енергії, що входять в агрегат і виходять з нього. Імпортована енергія та енергія, що експортується для використання деінде, на Рисунку 2.2 показані у вертикальній площині. Враховуються такі енергоносії:

- $E_{пара}$ = пара та/або гаряча вода;
- E_e = електроенергія, що підводиться до технологічного процесу;
- $E_{паливо}$ = паливо (газоподібне, рідке, тверде). Воно поділяється на паливо, придбане ззовні, $E_{паливо}$ та паливо, яке переробляється всередині у рамках технологічного процесу, $E_{паливо,\ пер.}$ Зверніть увагу: якщо паливо виробляється як продукт для використання за межами об'єкта, воно буде розглядатися як P_1 або P_2 (а не $E_{паливо,\ вих.}$) – див. пункт 5 нижче.
- E_i = інше: сюди належать усі засоби інженерного забезпечення, для яких потрібно виробляти енергію – наприклад, гаряча олива, охолоджувальна вода, стиснене повітря та N_2 (якщо вони обробляються на об'єкті). Для виробництва такої охолоджувальної води потрібна енергія (енергія потрібна, щоб працювали насоси, які забезпечують циркуляцію охолоджувальної води, та вентилятори на градирнях).

Важливо, щоб з вихідного боку враховувалися лише ті енергоносії, які корисним чином використовуються у технологічному процесі або агрегаті, який бере участь в іншому технологічному процесі. Зокрема, енергію, пов'язану з охолодженням технологічного процесу охолоджувальною водою або повітрям, у жодному разі не слід вносити в Рівняння 1.5 у якості «виходу енергії». Також необхідно враховувати енергію, що використовується для постачання різних засобів інженерного забезпечення та живлення інших супутніх систем: наприклад, для приготування охолодженої води (приведення в дію насосів та вентиляторів), стисненого повітря, виробництва N_2, обігрівання трубопроводів паром, подавання пари на турбіни. Також у жодному разі не слід зараховувати до корисного виходу енергії інші втрати тепла у повітря. У відповідних розділах частини 3, присвячених цим допоміжним системам, наведена докладніша інформація про їх ККД і втрати.

3. Різні ступені пари ($E_{пара}$) (та ступені гарячої води)

Виробнича установка може використовувати кілька типів пари (з різними тисками та/або температурами). Кожен ступінь пари або води може вироблятися з власним ККД. Кожен із цих ступенів пари потрібно врахувати у члені $E_{пара}$ шляхом додавання їх ексергій [127, ТРГ]. Див. пояснення про пару у розділі 3.2.

Гарячу воду, якщо вона використовується (або виробляється і використовується іншою виробничою установкою) слід розглядати аналогічним чином.

4. Потоки відходів (W) і втрати енергії

У кожному технологічному процесі також утворюється певна кількість відходів виробництва та втрат енергії. Ці відходи виробництва можуть бути твердими, рідкими або газоподібними, і їх можна:

- викинути на звалище (лише тверді речовини);
- спалити з регенерацією енергії або без неї;
- використати у якості палива ($P_{паливо}$);
- переробити.

Значимість цього потоку відходів буде детальніше розглядатися у розділі 1.5.2.3.

Прикладами втрат енергії, що зустрічаються на спалювальних установках, є:

- димові гази, що виходять через димар;
- втрати теплоти за рахунок випромінювання через стінки установки;
- теплота, що міститься у шлаку та золі;
- теплота і неокиснений вуглець у неспалених матеріалах.

5. Паливо, або продукт, або відходи (E_0, $P_{паливо}$)

На Рисунку 1.8 паливо не показане як енергоносій, що експортується. Це зумовлено тим, що паливо (P_1 або P_2, або ж його можна розглядати як $E_{паливо}$) вважається продуктом, а не енергоносієм, і енергетичний потенціал палива, який був би присвоєний паливу, вже врахований у потоці сировини, що надходить у виробничий агрегат. Ця умовність типова для нафтопереробних заводів та хімічної промисловості.

У інших галузях можуть застосовуватися інші підходи. Наприклад, у хлорно-лужній промисловості деякі оператори враховують H_2 (побічний продукт виробництва Cl_2 та NaOH) як енергоносій, незалежно від того, як цей H_2 потім використовується – як хімічна речовина чи як паливо (H_2, спалений на факелі, не враховується).

Тому важливо встановити правила визначення енергоефективності з урахуванням специфіки конкретного сектора промисловості – наприклад, потоків сировини, продуктів, енергоносіїв, що імпортуються, та енергоносіїв, що експортуються. Також див. пояснення щодо регенерації відходів та факелів, розділ 1.5.2.3.

6. Вимірювані або розрахункові величини

У Рівнянні 1.5 припускається, що надходження різних енергоносіїв у виробничий процес відомі. Проте у типовому виробничому процесі деякі параметри, як-от витрати різних засобів інженерного забезпечення (наприклад, охолоджувальна вода, азот, обігрівання трубопроводів паром, подавання пари на турбіну, електроенергія), не завжди вимірюються. Часто вимірюються лише окремі основні витрати засобів інженерного забезпечення у виробничому процесі для керування технологічним процесом (наприклад, надходження пари у ребойлер або палива у піч). Тоді повна витрата енергії буде сумою багатьох окремих складових, одні з яких виміряні, а інші – «розрахункові». Правила розрахункової оцінки повинні бути прозоро визначені і задокументовані. Див. розділи 1.5 та 2.10.

1.4.3 Енергоефективність об’єкта

Складні виробничі об’єкти працюють з більш ніж одним виробничим процесом / агрегатами. Щоб визначити енергоефективність усього об’єкта, його потрібно розділити на менші вузли, до складу яких входять виробничі агрегати та агрегати інженерного забезпечення. Енергоносії, що рухаються по виробничому об’єкту, можна схематично відобразити так, як показано на Рисунку 1.9.

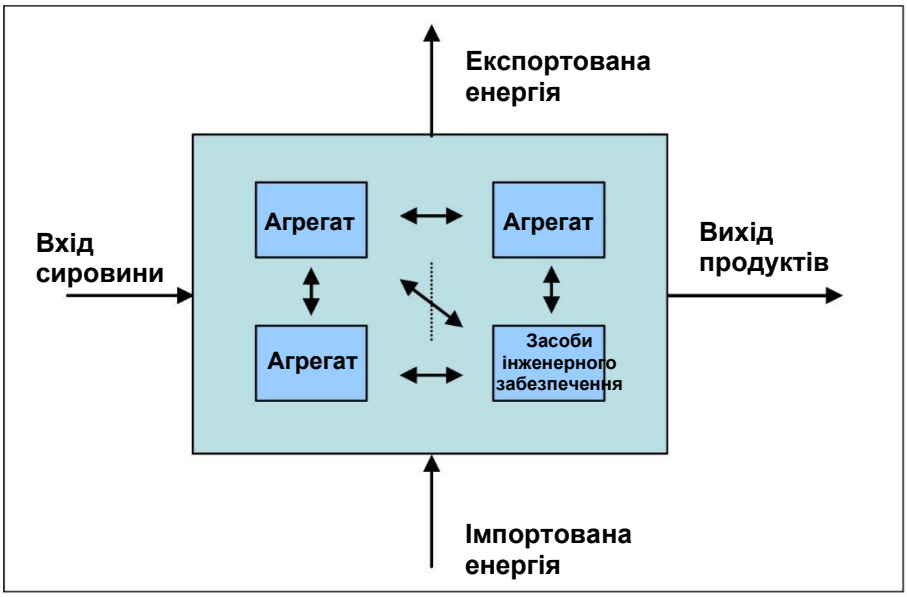


Рисунок 1.9. Вхідні та вихідні ресурси об’єкта

Виробничий об’єкт може виробляти різні типи продукції, у кожного з яких є свій коефіцієнт енергоємності. Тому для об’єкта не завжди легко встановити осмислений показник енергоефективності. Показник можна виразити так:

$$\text{ПЕЕ} = \frac{\sum_{i-\text{агрегати}} Pi,j \times \text{ПВЕ}_{\text{еталон}\,j}}{\text{Енергія, спожита об'єктом за період, який розглядається}}$$

де: $P_{i,j}$ = сума продуктів від агрегатів
$\text{ПВЕ}_{\text{еталон, j}}$ = еталонна ПВЕ для продуктів, j

Це та ж сама формула, яка згадувалася у розділі 1.3.3, пункт (3). Єдина відмінність полягає в тому, що у розділі 1.3.2 формула стосувалася різних продуктів, які виготовляються на одній виробничій лінії, а тут (у розділі 1.4.3) мова йде про різні продукти, які виготовляються на різних виробничих лініях.

Засоби інженерного забезпечення
При поділі виробничих об’єктів на виробничі агрегати (див. розділ 2.2.2) центр інженерного забезпечення слід враховувати так, щоб уможливити облік. Якщо центр інженерного забезпечення виробляє засоби інженерного забезпечення для більш ніж одного виробничого агрегату, він зазвичай розглядається як окремий (автономний) виробничий агрегат. Засіб інженерного забезпечення так само може постачатися іншим оператором – наприклад, див. пояснення про енергосервісні компанії (ЕСК), розділ 7.12.

Саму ділянку інженерного забезпечення можна розділити на кілька ділянок: наприклад, на частину, пов'язану з зоною зберігання та завантаження / розвантаження, частину, пов'язану з гарячими засобами інженерного забезпечення (як-от пара, гаряча вода), та частину, пов'язану з холодними засобами інженерного забезпечення (охолоджувальна вода, N_2, стиснене повітря). Розрахунок енергоносіїв, що надходять від засобів інженерного забезпечення, розглядається в розділі 1.5, у поясненні про первинну та вторинну енергію.

Завжди слід виконувати перевірку за таким рівнянням:

$$\text{Споживання енергії об'єктом} = \sum_{i=агрегати} ПВЕ_i 1 \times P_i + \text{енергія, спожита ділянкою інженерного забезпечення}$$

де:

$$\sum_{i=агрегати} ПВЕ_i = \text{сума ПВЕ для і агрегатів}$$

Різне об'єднання агрегатів на різних об'єктах

Прикладом є реактори гідроочищення бензину на установці парового крекінгу. Бензин – це супутній продукт установки парового крекінгу (а отже, зараховується до потоку P_2, а не P1, на Рисунку 1.8). Однак, перш ніж його можна буде додавати до бензинових продуктів, він повинен бути гідроочищений з метою насичення присутніх у ньому олефінів та діолефінів і видалення сполук сірки. У більшості операторів реактор гідроочищення бензину – це окремий агрегат установки парового крекінгу. Проте на деяких об'єктах реактор гідроочищення бензину вбудований у крекінгову установку таким чином, що його для простоти іноді враховують разом з крекінговою системою в межах її границь. Цілком закономірно, що такі крекінгові установки з реактором гідроочищення бензину в межах границь системи матимуть вищі витрати енергії, ніж установки без нього. Це, звісно, не означає, що їх енергоефективність нижча.

Таким чином, бачимо, що для реалізації енергетичного менеджменту в межах об'єкта необхідно:

- поділити об'єкт на виробничі агрегати, у тому числі визначити точні границі систем цих виробничих агрегатів (також див. розділ 1.5 нижче). Розбиття об'єкта на виробничі агрегати залежить від складності виробничого об'єкта, і визначатися з ним у кожному випадку повинен оператор, відповідальний за об'єкт;
- чітко задати потоки енергії на об'єкт, з об'єкта та між різними виробничими агрегатами (блоки агрегатів на Рисунку 1.9);
- дотримуватися цих заданих границь, за винятком випадків, коли необхідно внести зміни, або такі зміни виникли, наприклад, внаслідок змін і виробництві та/або засобах інженерного забезпечення чи внаслідок переходу на іншу базу, погоджену на рівні установки, компанії або сектора.

Таким чином чітко задається спосіб розрахунку енергоефективності даного виробничого процесу.

1.5 Питання, які потрібно враховувати при впровадженні показників енергоефективності

У розділі 1.3 описано, як впроваджувати визначення енергоефективності, і підкреслено важливі супутні питання, як-от первинна та вторинна енергія. У цьому розділі також впроваджується поняття енергоефективності для засобів інженерного забезпечення та/або систем. У розділах 1.4.2 та 1.4.3 описано, як виводити показники енергоефективності для виробничого агрегату та для об'єкта з точки зору низхідного підходу; крім того, в обох розділах розглядаються проблеми, які при цьому виникають.

У поточному розділі:

- у розділі 1.5.1 розглядається важливість встановлення правильних границь системи при оптимізації енергоефективності. При цьому враховується відносний вплив енергоефективності складових частин та систем шляхом застосування висхідного підходу;
- у розділі 1.5.2 враховуються додаткові важливі питання, які можуть бути розглянуті оператором, і які слід враховувати при впровадженні визначень енергоефективності та показників.

1.5.1 Задавання границі системи

[5, Гарделл та Форс, 2005]

У наведених нижче прикладах розглядаються окремі компоненти, підсистеми та системи і вивчається, як можна оцінити покращення в енергоефективності. Приклади базуються на типовій оцінці енергоефективності компанії. Приклади демонструють наслідки розгляду системи для необхідного засобу інженерного забезпечення на надто низькому рівні (на рівні компонента / складової частини або підсистеми).

Фізична енергоефективність[16] пояснена у розділі 1.2.2.1 та Додатку 7.1.1:

$$\text{Енергоефективність (енергетичний ККД)} = \eta = \frac{\text{вихід енергії}}{\text{підведення енергії}} \quad \text{(зазвичай виражається у \%)}$$

де:
робота (W) = кількість корисної роботи, що виконується компонентом, системою або технологічним процесом (у джоулях)
енергія (E) = кількість енергії (у джоулях), що споживається компонентом, системою, технологічним процесом або обладнанням

$$\text{Покращення (зміна) енергоефективності} = \frac{\text{зміна у спожитій кількості енергії}}{\text{початкове споживання енергії}}$$

Приклад. Система 1. Електродвигун

<u>Старий електродвигун</u>
Компанія провела дослідження існуючих електричних приводів. Було виявлено, що вхідна електрична потужність старого двигуна становить 100 кВт. ККД двигуна становив 90 %, і, відповідно, механічна вихідна потужність становила 90 кВт (див. Рисунок 1.10).

[16] У англійській мові енергоефективність у цьому контексті означає енергетичний ККД одиниці обладнання або технологічного процесу (а не його недбале використання). Французькою це буде rendements èngètiques.

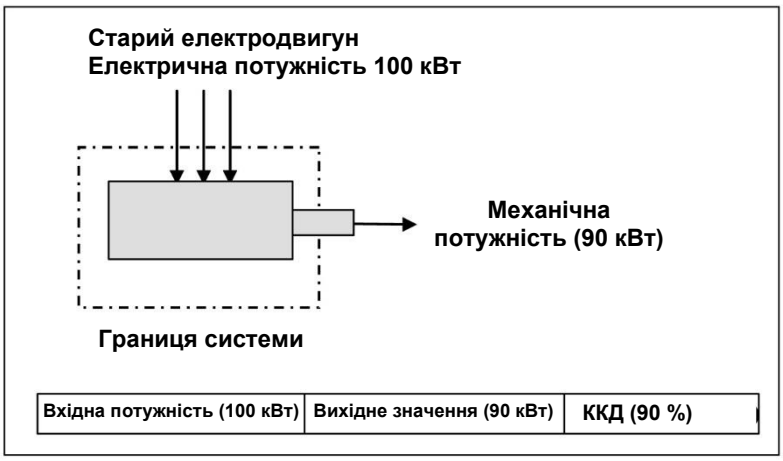


Рисунок 1.10. Границя системи: старий електродвигун

Новий електродвигун

З метою підвищення ефективності двигун було замінено двигуном з високим ККД. Наслідки цієї заміни показані на Рисунку 1.11. Електрична потужність, потрібна для отримання тієї ж вихідної потужності, 90 кВт, тепер становить 96 кВт, оскільки ККД нового двигуна вищий. Таким чином, підвищення енергоефективності склало 4 кВт, або: підвищення енергоефективності = 4/100 = 4 %.

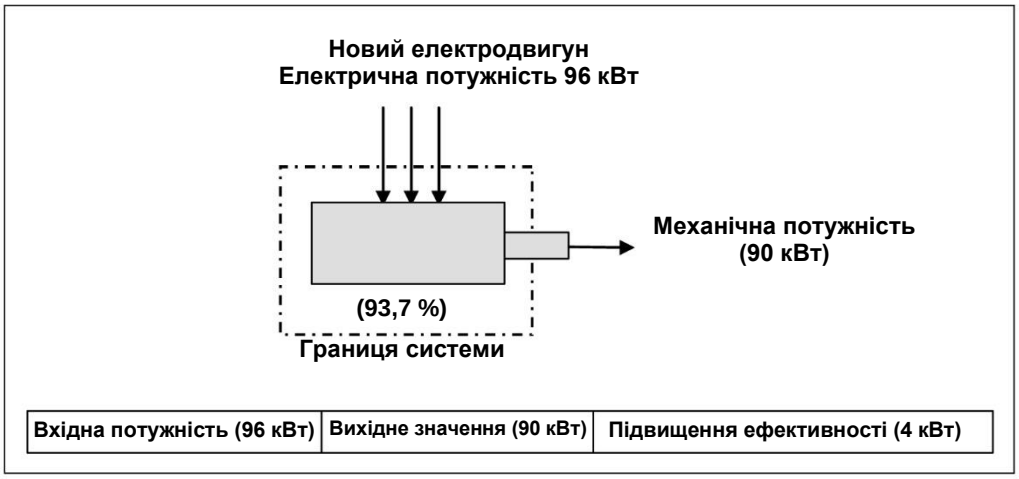


Рисунок 1.11. Границя системи: новий електродвигун

Приклад: Система 2. Електродвигун і насос

Як показано на Рисунку 1.12, електродвигун приводить у дію насос, який постачає охолоджувальну воду для системи охолодження. Поєднання двигуна і насоса тут вважається однією підсистемою.

Новий електродвигун і старий насос

Вихідною величиною цієї підсистеми є гідравлічна потужність у вигляді витрати і тиску охолоджувальної води. Через низький ККД насоса вихідна величина обмежена значенням у 45 кВт.

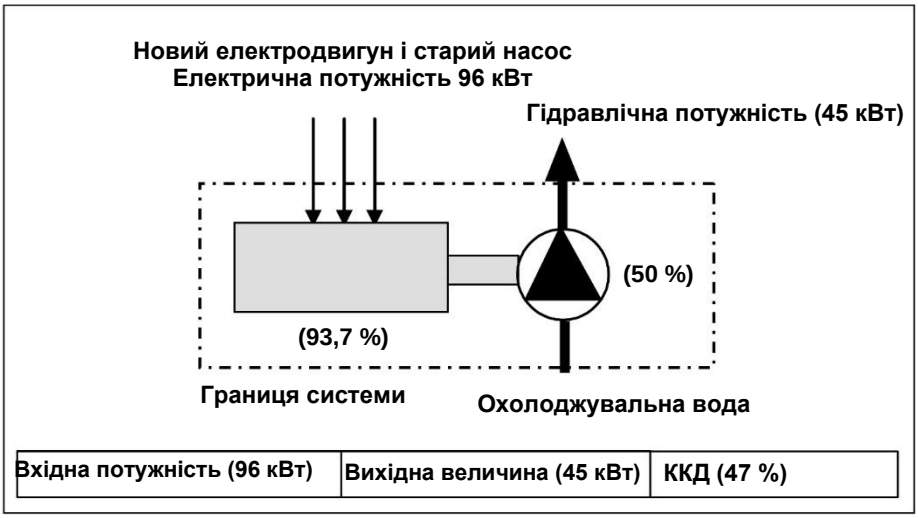


Рисунок 1.12. Границя системи: новий електродвигун і старий насос

<u>Новий електродвигун і новий насос</u>
Старий насос замінили новим, завдяки чому ККД насоса збільшився з 50 до 80 %. Результат заміни показаний на Рисунку 1.13.

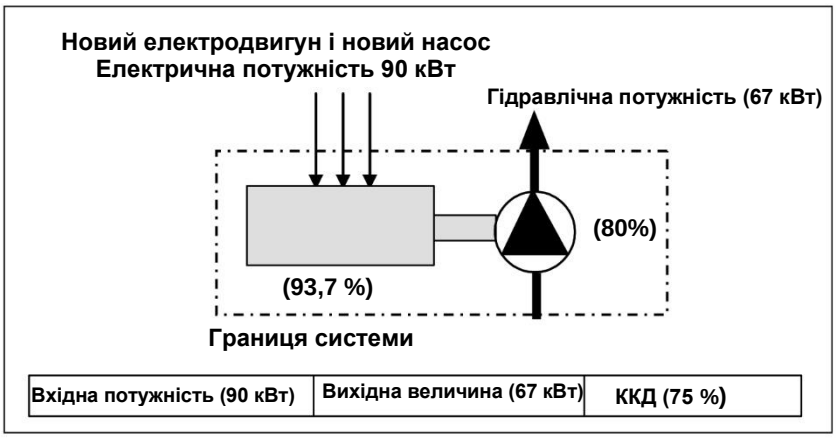


Рисунок 1.13. Границя системи: новий електродвигун і новий насос

ККД нової підсистеми набагато вищий, ніж у попередньої. Гідравлічна потужність збільшилася з 45 до 67 кВт. Підвищення енергоефективності можна виразити так (див. розділ 1.3.1):

$$\text{КЕЄ} = \frac{\text{ККД}}{\text{еталонний ККД}} = \frac{75}{47} = 1{,}60 \text{ (тобто підвищення енергетичного ККД на 60 \%)}$$

Приклад. Система 3. Новий електродвигун і новий насос із постійною вихідною величиною
Як показано на Рисунку 1.12, система охолодження задовільно працює навіть за гідравлічної потужності у 45 кВт. Користь від збільшення гідравлічної потужності на 50 % – до 67 кВт – сумнівна, і втрати на перекачування тепер можуть передатися на регулювальний клапан та у трубопровідну систему. Компоненти заміняли більш енергоефективними варіантами не для цього.

Комплексне дослідження системи охолодження може показати, що гідравлічної потужності у 45 кВт достатньо, і в цьому випадку розрахункова потужність на валу складе 45/0,8 = 56 кВт. Тоді електрична потужність, потрібна для приведення двигуна в дію, складе приблизно 56/0,937 = 60 кВт.

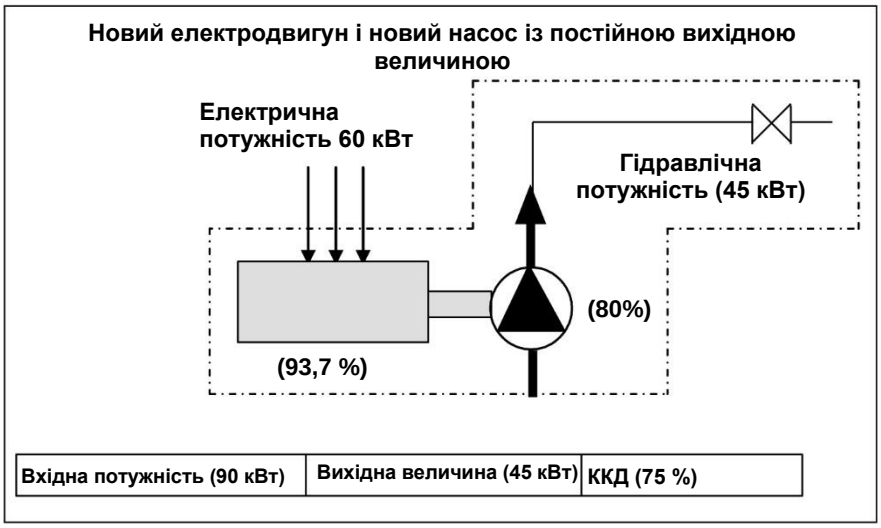


Рисунок 1.14. Новий електродвигун і новий насос із постійною вихідною потужністю

У цьому випадку вхідна потужність стала на 40 кВт нижчою, ніж раніше – див. Рисунок 1.10. ККД залишається на рівні 75 %, проте витрата потужності знизилася на 40 % порівняно з системою 1 (старий двигун і, вочевидь, старий насос) та на 33 % порівняно з системою 2 (новий двигун, новий насос).

Оцінка могла б показати, чи можна зменшити розмір як двигуна, так і насоса без несприятливих наслідків для охолодження, або зменшити необхідну гідравлічну потужність, наприклад, до 20 кВт. Таким чином можна було б зменшити капітальні витрати на обладнання, а також, як було показано, підвищити енергоефективність.

Приклад. Система 4. Система 3 разом з теплообмінником

На Рисунку 1.15 границі системи розширено, і підсистема тепер складається з нового двигуна, нового насоса і старого теплообмінника для процесу охолодження. Потужність охолодження технологічного процесу – 13 000 кВт$_т$ (індекс «т» = теплова потужність).

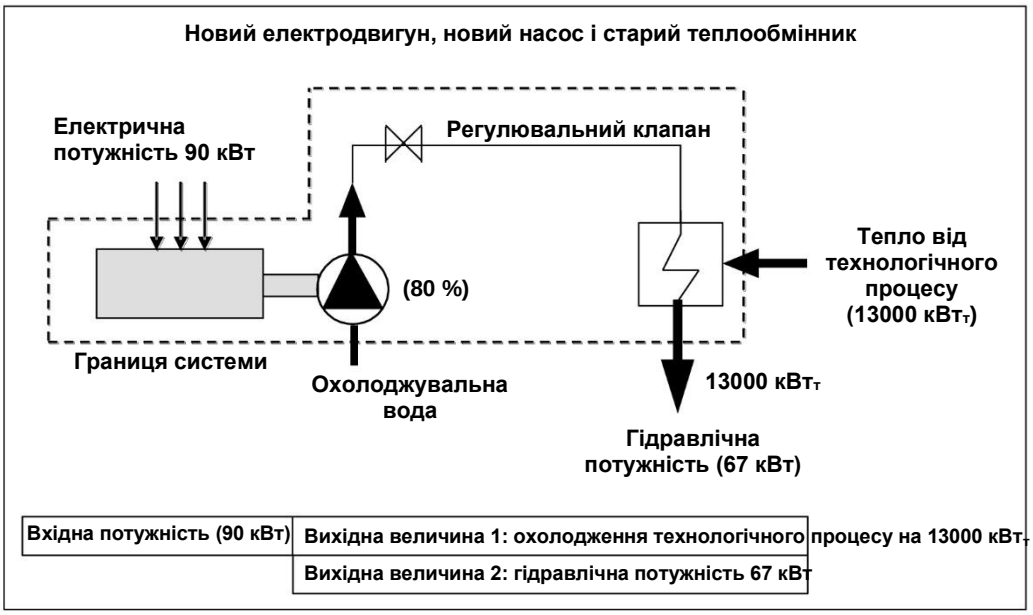


Рисунок 1.15. Новий електродвигун, новий насос і старий теплообмінник

Вихідними величинами є відведення технологічного тепла та гідравлічна потужність внаслідок збільшення витрати і тиску води.

Проте з точки зору визначення цієї системи інженерного забезпечення (див. розділи 1.3.1 та 1.4.1) послугою інженерного забезпечення, яку надає ця система, є охолодження. Система розрахована на те, щоб охолоджувати технологічний процес (або процеси) з потужністю 13 000 кВт$_т$. Технологічне тепло у цій системі не має значення, а вихідне тепло втрачається. ККД залишається на рівні 75 %, як у системі 3, якщо вимірювати за вхідними / вихідними ресурсами. Проте його можна виміряти за ПВЕ та енергією, необхідною для забезпечення вказаної величини охолодження (див. розділ 1.3.1):

$$\text{ПВЕ} = \frac{\text{спожита енергія}}{\text{вихід продукції}} = \frac{(\text{імпортована енергія} - \text{експортована енергія})}{\text{вихід продукції/результату}}$$

$$= \frac{\text{енергія, спожита у системі охолодження}}{\text{надана послуга}} = \frac{90 - 67\ \text{кВт}}{13000\ \text{кВт}_\text{т}\ \text{охолодження}}$$

$$= 0{,}00177 \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}_\text{т}\ \text{охолодження}} = 1{,}77\ \text{Вт/кВт}_\text{т}\ \text{охолодження}$$

Якщо потреба в охолодженні зменшується – наприклад, до 8000 кВт внаслідок скорочення виробництва – ПВЕ збільшується до 2,88 Вт/кВт$_т$. Як зазначено у розділі 1.3.1, це збільшення ПВЕ означає втрату в енергоефективності, тобто втрату у розмірі:

$$\frac{(2{,}88 - 1{,}77)}{1{,}77} = 62\%$$

Примітка: це стосується не ККД охолодження технологічного процесу, а лише енергоефективності системи охолодження.

Приклад. Система 5. Система 4 з регенерацією тепла

Компанія з екологічних міркувань прийняла рішення регенерувати тепло з охолоджувальної води і таким чином зменшити споживання мазуту в нагрівальній установці, щоб знизити викиди оксидів вуглецю та азоту (див. Рисунок 1.16):

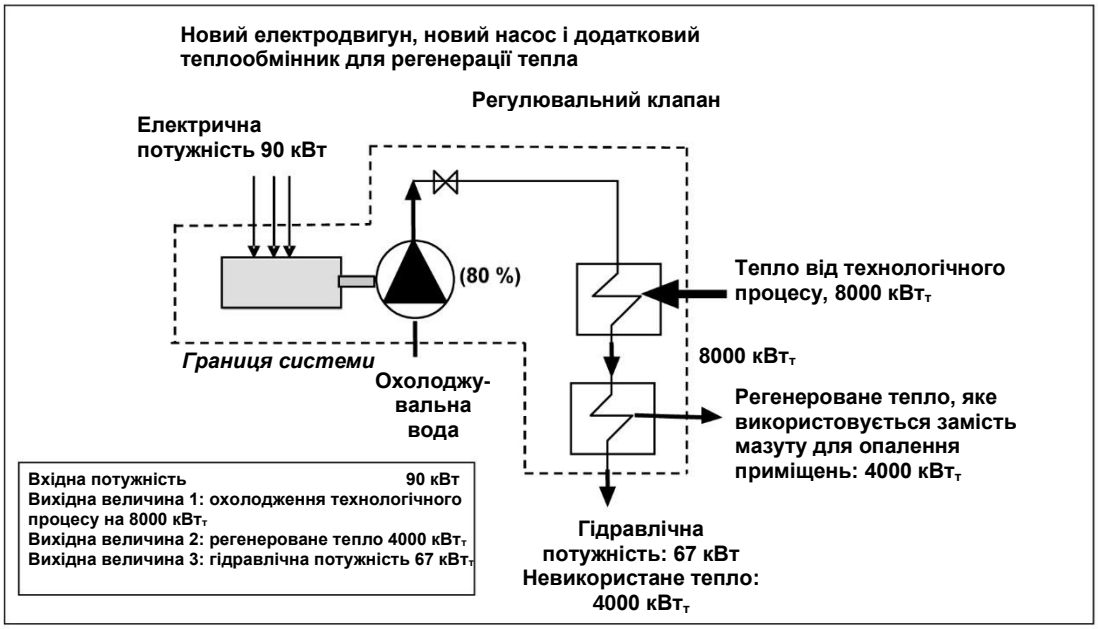


Рисунок 1.16. Новий електродвигун, новий насос і два теплообмінники

Виконуючи розрахунок строго за вхідними та вихідними ресурсами системи охолодження, отримаємо:

$$\frac{\text{енергія, спожита у системі охолодження}}{\text{надана послуга}} = \frac{90 - 67\ \text{кВт}}{4000\ \text{кВт охолодження}}$$

$$= 0{,}00575\ \text{кВт/кВт}_{\text{т}}\ \text{охолодження} = 5{,}75\ \text{Вт/кВт}_{\text{т}}\ \text{охолодження}$$

У порівнянні з розрахунками для системи 4, ефективність знизилася, у той час як для мазутної нагрівальної установки буде спостерігатися підвищення ефективності.

Проте очевидно, що заходи з регенерації тепла підвищують енергоефективність. Щоб детальніше оцінити величину регенерації тепла, також потрібно врахувати мазутну нагрівальну установку. Потрібно врахувати величину зниження витрати мазуту та скорочення регенерації тепла з гарячих димових газів, що виходять із нагрівальної установки.

У цьому випадку, як і в більшості інших, підсистеми пов'язані між собою, а це означає, що енергоефективність однієї підсистеми часто впливає на ефективність іншої.

1.5.1.1 Висновки щодо систем та границь систем

Установку важливо розглядати з точки зору її складових агрегатів / систем. Максимальної рентабельності інвестицій можна досягти, розглядаючи весь об'єкт у цілому та його взаємопов'язані агрегати / системи (наприклад, у Довідковому документі з НДТМ для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників (STS) див. загальні НДТМ 13 і 14 та НДТМ 81 для нанесення покриття на автомобілі). Якщо цього не робити, внесення змін в окремі компоненти (як показано на прикладі систем 1 та 2 вище) може призвести до того, що кошти будуть вкладені в обладнання неправильно підібраного розміру, а найбільш дієві способи заощадження за рахунок підвищення ефективності будуть упущені.

Слід виконати дослідження на предмет потреби в конкретній існуючій системі або підсистемі або на предмет того, чи може необхідна послуга (наприклад, охолодження, опалення) надаватися у модифікований або принципово інший спосіб таким чином, щоб енергоефективність покращилася.

Агрегати / системи повинні відповідати таким вимогам:

- вони повинні бути задані з точки зору границь та взаємодій на належному рівні;
- має бути доведено, що вони надають потрібну послугу або продукт, що піддається визначенню;
- вони повинні бути оцінені з точки зору поточної або запланованої потреби у цьому продукті або послузі (тобто не за минулими планами).

Максимальна енергоефективність установки може передбачати, що для досягнення максимальної загальної ефективності доведеться відмовитися від заходів з оптимізації енергоефективності однієї чи кількох систем. (Це може виражатися математично за рахунок того, що ефективність підвищується в іншому місці, або інші зміни можуть призводити до зміни факторів у розрахунках для окремої системи. Це може не призводити до збільшення споживання енергії у цілому).

1.5.2 Інші важливі питання, які потрібно враховувати на рівні установки

1.5.2.1 Реєстрація процедур звітування, що використовуються

На рівні установки потрібно прийняти і підтримувати одну процедуру (або набір домовленостей) для звітування. Границі для розрахунків енергоефективності та всі зміни у границях та експлуатаційних регламентах повинні бути зафіксовані у внутрішній та зовнішній хронологічній базі даних. Це допоможе забезпечити можливість тлумачення та порівняння даних за різні роки.

1.5.2.2 Внутрішнє виробництво та споживання енергії

У ряді технологічних процесів (наприклад, нафтопереробні заводи, чорний луг на целюлозно-паперових комбінатах) паливо, що виробляється у ході технологічного процесу, споживається в його межах. Вкрай важливо, щоб енергія, яка міститься у цьому паливі, враховувалася під час вивчення енергоефективності технологічного процесу. Дійсно, як показано у розділі 2.2.2, для нафтопереробних заводів характерні дуже низькі витрати енергії, оскільки приблизно 4 – 8 % надходжень сирої нафти використовуються на самому об'єкті у якості рідкого та газоподібного палива. Крім того, нафтопереробні заводи можуть також імпортувати енергоресурси, такі як електроенергія, пара та (іноді) природний газ. Нафтопереробний завод може бути обладнаний когенераційною установкою і може експортувати електроенергію, збільшуючи при цьому внутрішню витрату палива. На підставі Рівняння 1.1 та Рівняння 1.3 може здатися, що нафтопереробний завод, обладнаний когенераційною установкою, у підсумку виробляє енергію, оскільки він у підсумку може стати виробником електроенергії.

Звісно, це не відповідає дійсності, адже нафтопереробні заводи споживають значну кількість енергії. Границі систем та енергоносії можна вибирати так, щоб відобразити конкретні обставини на установці, проте після того, як вони були задані для конкретної установки, їх потрібно дотримуватися.

1.5.2.3 Регенерація відходів та факелів

У кожному технологічному процесі виробляється певна кількість твердих, рідких та/або газоподібних відходів. Ці відходи можуть мати енергетичну цінність, яку можна регенерувати на самому об'єкті або за його межами. Тверді та рідкі відходи можна відсилати сторонній сміттєспалювальній компанії, а відхідні гази можна спалювати на факелах. Див. розділ 3.1.5.

Відходи
Приклад: Відходи раніше відсилалися сторонній сміттєспалювальній компанії. Виробничий об'єкт знайшов спосіб використовувати ці відходи на самому об'єкті – наприклад, у якості палива для своїх котлів чи печей, – і тепер йому потрібно визначити, чи це підвищить енергоефективність виробничого агрегату / об'єкта за умови, що:

- використання цих відходів на самому об'єкті зменшує потребу в зовнішньому паливі, проте сукупна витрата енергії залишається незмінною;
- з іншого боку, сміттєспалювальна компанія може мати установку, на якій енергетичний потенціал цих відходів регенерується шляхом виробництва пари. У цьому випадку переспрямування потоку відходів для використання у якості внутрішнього палива замість відсилання сміттєспалювальній компанії може у цілому не покращити енергоефективність, якщо розглядати загальну картину з урахуванням як виробника відходів, так і сміттєспалювальної компанії.

Примітка: перехід зі спалювання за межами об'єкта до використання на самому об'єкті може диктуватися не міркуваннями енергоефективності, а комерційними обставинами.

Висновки наведені у пункті **«Підсумки»** нижче.

Факели

У промисловості факели – це в першу чергу запобіжні пристрої, які використовуються для безпечного здування відхідних газів на таких установках, як нафтопереробні заводи з виробництва мінеральної оливи, резервуарні господарства, хімічні заводи та звалища. Їх використання у якості маршруту утилізації відхідних газів – це зазвичай лише допоміжна функція[17]. На об'єктах, які належним чином обслуговуються, експлуатуються і спроєктовані, потік, який потрібно спалювати на факелах, за нормальних умов роботи буде невеликим або зовсім незначним. Проте на більшості об'єктів існує постійний невеликий потік на факели – наприклад, внаслідок протікання спускних клапанів та здування газів при завантаженні / розвантаженні резервуарів для зберігання.

Увесь газ, що надходить на факел, спалюється без регенерації енергії, яка міститься у факельному газі. Проте можна встановити систему регенерації факельних газів, яка уловлює цей невеликий потік і повертає його в систему газового палива об'єкта.

Приклад: Оператор виробничого процесу, у якого раніше не було системи регенерації паливних газів, вирішив встановити таку систему. Це призведе до зменшення витрати газоподібного палива, яке постачається ззовні, у той час як сукупне споживання газоподібного палива у технологічному процесі залишиться незмінним. Оператору потрібно визначити, як враховувати цю систему регенерації паливних газів з точки зору енергоефективності. Це питання стає ще важливішим, якщо в одному виробничому процесі регенеруються не лише його власні скиди на факели, а й скиди на факели інших виробничих процесів, присутніх на об'єкті.

Висновки наведені у пункті **«Підсумки»** нижче.

Підсумки

Як випливає з Рівняння 1.5 у розділі 1.4.2.2, пільги за регенерацію відходів у якості палива не відображаються явним чином. Проте у випадках, коли такі відходи переробляються на самому об'єкті, така регенерація може використовуватися для зменшення величини імпорту палива ($E_{паливо,\ вх.}$). Якщо енергія регенерується у спалювальній печі за межами об'єкта, ситуація аналогічна розрахунку первинної енергії (див. розділ 1.3.1), і поправку на неї можна внести у такий же спосіб. Ще один варіант – задати для конкретного процесу еталонний регламент щодо того, яка кількість відходів виробляється, і якою мірою вони переробляються, і надавати пільги на енергію тим операторам, які здатні використати відходи більш ефективно, ніж в еталонному випадку. Проте ця картина може стати невиправдано складною, якщо тільки на установці не виробляються значні об'єми відходів, що містять енергію (пропорційно підведенню енергії до установки).

З наведених вище міркувань очевидно, що при впровадженні концептуальної бази для встановлення визначень ПВЕ / ПЕЕ технологічного процесу / агрегату важливо узгодити правила поводження з відходами. У різних секторах промисловості підприємства можуть застосовувати різні підходи і враховувати цінність відходів, що використовуються на самому об'єкті, у своїй енергоефективності. Важливо, щоб у кожного сектора промисловості та/або компанії був чітко визначений стандартний підхід, який вони застосовують.

[17] Винятком є буріння нафтових свердловин, у ході якого факел дійсно може використовуватися для утилізації газу, що викачується нагору разом з нафтою. У всіх інших галузях промисловості – особливо там, де присутні токсичні гази – вважається за доцільніше використовувати для очищення відхідних газів спалювальну піч, а не факел. Втім, основною перевагою факела є значно більший діапазон регулювання навантаження, ніж у спалювальної печі.

Крім того, кожна галузь повинна чітко визначити, як поводитися з відходами, щоб конкуруючі виробничі процеси можна було справедливо порівнювати. На рівні установки потрібно прийняти і підтримувати одну процедуру для звітування. Зміни слід фіксувати у внутрішній та зовнішній хронологічній базі даних, щоб дані за різні роки можна було порівнювати.

1.5.2.4 Коефіцієнт завантаження (зменшення ПВЕ при збільшенні виробництва)

Зменшення питомої витрати енергії при збільшенні темпу виробництва – це цілком нормальне явище, зумовлене двома чинниками:

- якщо темп виробництва високий, виробниче обладнання буде працювати протягом більш тривалого часу. Це означає, що періоди простоювання будуть коротшими. Деяке обладнання працює безперервно, навіть протягом непродуктивних періодів. Якщо непродуктивний час скоротиться, ці періоди зменшаться;
- • існує базова витрата енергії, яка не залежить від використання виробничої потужності. Ця витрата пов'язана з пуском обладнання та підтриманням його температури (без виробництва – див. пояснення про відчутне тепло, розділ 1.5.2.10), використанням освітлення, вентиляторів для вентиляції, офісної техніки, тощо. Опалення приміщень також залежить не від темпу виробництва, а від температури надворі, як показано на Рисунку 1.17. За вищих темпів виробництва ці витрати будуть розподілені між більшою кількістю (тонн) продукції.

Щоб виключити вплив коефіцієнта завантаження на реальну енергоефективність об'єкта / агрегату, оператор може використовувати поправні коефіцієнти, специфічні для конкретного сектора / об'єкта / агрегату. Нарівні з цим можна виміряти, розрахувати або оцінити базове навантаження об'єкта / агрегату (наприклад, шляхом екстраполяції різних темпів виробництва). Ця ситуація аналогічна фінансовому обліку, і в окремих випадках можуть бути доцільними баланси енергоефективності [127, ТРГ].

Оператор повинен оновлювати внутрішню та зовнішню хронологічну базу даних, щоб можна було порівнювати дані за різні роки.

1.5.2.5 Зміни у технологіях виробництва та розробка продукції

Зміни у технологіях виробництва можуть впроваджуватися, наприклад, у результаті технічного розвитку або внаслідок того, що на ринку з'явилися нові компоненти чи технічні системи. Для підвищення ефективності виробництва може бути потрібно замінити застарілі технічні системи і впровадити нові системи керування. Впровадження таких змін у технологіях виробництва також може призвести до покращень в енергоефективності. Зміни у технологіях виробництва, які призводять до більш ефективного використання енергії, будуть вважатися заходами з підвищення енергоефективності. Див. розділи 2.3 та 2.3.1.

У деяких випадках може бути потрібно додати до виробничого процесу нові агрегати, щоб задовольнити ринковий попит, забезпечити дотримання нових технічних вимог до продукту або екологічних вимог. У цих випадках ПВЕ може погіршитися після введення нового агрегату в експлуатацію, оскільки новий агрегат потребує додаткової енергії. Це не означає, що об'єкт неправильно керує своєю енергією.

Оператор повинен оновлювати внутрішню та зовнішню хронологічну базу даних, щоб можна було порівнювати дані за різні роки.

Приклади:

- У 2000 – 2005 роках з'явилися нові технічні вимоги до палива (встановлені стандартом ЄВРО IV для дизельного палива та бензину з низьким вмістом сірки), і нафтопереробним заводам з виробництва мінеральних олив довелося до них пристосовуватися. Це призвело до збільшення витрати енергії на нафтопереробних заводах.
- У целюлозно-паперовій промисловості споживання енергії скоротилося за рахунок вдосконалення волокон, що використовуються у технологічному процесі. Пізніше також була покращена якість готової продукції, а це потребувало більш інтенсивного дефібрування. Після цих двох кроків у технічному розвитку повне споживання енергії у кінцевому підсумку збільшилося.
- Сталеливарна компанія може збільшити міцність сталевих виробів, які вона випускає, проте нові технологічні процеси збільшать витрату енергії. Споживачі можуть зменшити товщину сталі у своїх виробах на кілька десятків відсотків. Таким чином, можливий виграш в енергії за рахунок зменшення ваги виробів – наприклад, в автомобілях. Ці заощадження енергії входять до складу оцінки життєвого циклу продуктів і не фігурують у розрахунках енергоефективності установки (оскільки Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) не поширюється на оцінку життєвого циклу (ОЖЦ) продуктів).

Зміни у компонуванні виробництва
Зміни у компонуванні виробництва можуть означати, наприклад, що нерентабельні виробничі лінії будуть зупинені, допоміжні системи інженерного забезпечення будуть змінені, і подібні напрямки діяльності будуть об'єднані. Зміни у компонуванні виробництва також можуть впроваджуватися для досягнення покращень в енергоефективності.

Це може вплинути на знаменник ПВЕ, і оператор повинен оновити внутрішню та зовнішню хронологічну базу даних, щоб дані за різні роки можна було порівнювати.

Припинення виробництва продукту з великими витратами енергії
Компанія може припинити виготовляти продукт, який потребує великих витрат енергії. При цьому зменшиться як повна, так і питома витрата енергії. Це може бути заявлено як захід з підвищення енергоефективності, навіть якщо жодні інші заходи не вживалися.

Знову ж таки, оператор повинен оновити внутрішню та зовнішню хронологічну базу даних, щоб дані за різні роки можна було порівнювати.

Залучення сторонніх постачальників
Постачання засобу інженерного забезпечення – наприклад, виробництво і постачання стисненого повітря – доручається постачальнику за межами установки (див. розділ 3.7). Якщо стиснене повітря купується у зовнішнього постачальника, витрата енергія зменшиться. При цьому споживання енергії постачальником стисненого повітря збільшиться. З цією зміною слід поводитися так, як описано для первинної енергії у розділі 1.3.6.1.

Передавання окремих етапів технологічного процесу на підряд
Оператор може вирішити передати на підряд енергоємний технологічний процес, як-от термічна обробка металевих компонентів. Оскільки операцію все рівно потрібно виконувати, це не можна вважати заходом з підвищення енергоефективності, і операцію потрібно враховувати в розрахунках, якщо тільки ця зміна не була зафіксована в записах, і ПВЕ та ПЕЕ не були відповідним чином змінені. Поправка: субпідрядник, який виконує такий технологічний процес, може бути більш енергоефективним, оскільки він може мати більше експертних знань про технологічний процес (що дає змогу краще оптимізувати технологічний процес) і вищу пропускну здатність, а отже, менший коефіцієнт завантаження.

Приклад: Оператор установки з серійного виробництва автомобілів вирішив збільшити обсяг закупівлі компонентів замість того, щоб виготовляти такі компоненти самостійно. Як наслідок, повна та питома витрата енергії зменшиться. Це потрібно враховувати при оновленні показників та записів про енергоефективність.

1.5.2.6 Енергетична інтеграція

Внутрішнє виробництво потужності
Внутрішнє виробництво потужності (електроенергії або пари) без збільшення обсягу використання джерел первинної енергії – це загальновизнаний спосіб підвищення енергоефективності. Його можна оптимізувати шляхом обміну енергією з сусідніми агрегатами або установками (або непромисловими користувачами); див. розділи 2.4, 2.12, 2.13 та 3.3. Потрібно задати границі системи і врегулювати потенційні неоднозначності. Задавання границь розглядається у розділах 1.4 та 1.5 вище, а розрахунок первинної енергії – у розділі 1.3.6.1.

Використання кисню у спалювальній установці
Кисень може використовуватися у спалювальній установці для підвищення ККД згорання і зменшення витрати палива. Крім того, використання кисню сприятливо впливає на ефективність, зменшуючи масову витрату повітря у димових газах, і знижує викиди NO_x. Проте на виробництво O_2 – як на об’єкті, так і за його межами – теж витрачається енергія, і це потрібно враховувати. Це питання розглядається у поясненні щодо первинної енергії (розділ 1.3.6.1), у розділі 3.1.6 та у Додатку 7.9.5.

Технологічна інтеграція та розукрупнення компанії
Протягом останніх кількох десятиріч спостерігалося дві тенденції:

- інтеграція технологічних процесів;
- розукрупнення компаній, особливо у хімічному секторі.

Розробка об’єктів з високим ступенем інтеграції має суттєві економічні переваги. У інших випадках ринкова стратегія полягала в тому, щоб розбити компанії на суб'єкти, які виготовляють потрібні їм компоненти. У обох випадків це призводить до появи складних об’єктів, у яких є багато операторів, а засоби інженерного забезпечення виробляються одним із цих операторів або навіть третьою стороною. Це також може призвести до складних потоків енергії між різними операторами.

Загалом у цих великих інтегрованих комплексів є потужний потенціал для ефективного використання енергії шляхом інтеграції.

1.5.2.7 Неефективне застосування енергії, яке сприяє сталості довкілля та/або ефективності об’єкта у цілому

Як зазначено у розділах 1.4 та 1.5, при визначенні енергоефективності складних об’єктів, як-от описані у розділі 1.5.2.6, тощо, потрібно особливо уважно задавати границі систем. Наголошується, що при спеціальному вивченні окремих виробничих процесів деякі застосування енергії можуть здаватися неефективними, хоча вони передбачені у рамках високоефективного підходу, що застосовується в межах об’єднаної системи об’єкта. Оператори окремих агрегатів, технологічних процесів або систем, які не можуть працювати з максимальною ефективністю, можуть отримувати комерційну компенсацію з метою створення максимально конкурентного середовища для об’єднаного об’єкта у цілому.

Ось кілька прикладів:

- використання пари у процесі сушіння здається менш енергоефективним, ніж безпосереднє використання природного газу. Проте пара низького тиску надходить від процесу комбінованого виробництва тепла та електроенергії, у якому її виробництво поєднується з високоефективним виробництвом електроенергії (див. розділи 3.4 та 3.11.3.2);
- когенераційні установки, розташовані на території виробничого об'єкта, не завжди належать виробничому об'єкту, а можуть натомість бути сумісним підприємством із місцевою електрогенеруючою компанією. Пара належить оператору об'єкта, а електроенергія належить енергокомпанії. Тому потрібно звертати увагу на те, як враховуються такі установки;
- електроенергія виробляється і споживається на самому об'єкті; проте завдяки цьому втрати на передавання електроенергії будуть меншими;
- у високоінтегрованій системі рештки, які містять енергію, від виробничих процесів повертаються в енергетичний цикл. Прикладами є повернення відпрацьованої гріючої пари у парову мережу та використання водню з процесу електролізу в якості газоподібного замінника палива у процесі виробництва тепла та/або електроенергії чи у якості хімічної речовини (наприклад, сировини для виробництва перекису водню). Інші приклади – це спалювання решток виробництва у заводських котлах та спалювання відхідних газів у якості палива, яке має нижчий ККД, ніж у разі використання, наприклад, природного газу (газоподібні вуглеводні на нафтопереробному заводі або CO в обробці кольорових металів). Див. розділ 3.1.6.

Відновлювані / екологічні джерела енергії та/або види палива, хоча вони й не входять до змісту цього документа (див. пункт «Сфера застосування»), можуть знизити загальні викиди вуглекислого газу в атмосферу. Це можна врахувати шляхом використання вуглецевого балансу – див. розділ 1.3.6.1 та Додаток 7.9.6.

1.5.2.8 Опалення та охолодження приміщень

Опалення та охолодження приміщень – це застосування енергії, яке дуже залежить від температури надворі, як показано на Рисунку 1.17.

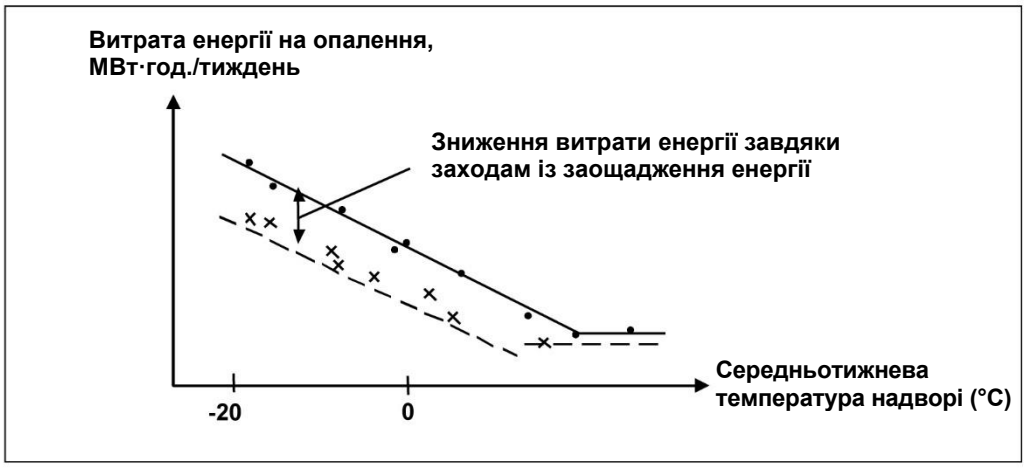


Рисунок 1.17. Витрата енергії залежно від температури надворі

У разі вжиття заходів, таких як регенерація тепла з вихідного потоку вентиляційного повітря або вдосконалення ізоляції будівлі, лінія на Рисунку 1.17 опуститься нижче.

Таким чином, потреби в опаленні та охолодженні не залежать від продуктивності і є складовими коефіцієнта завантаження – див. розділ 1.5.2.4.

1.5.2.9 Регіональні чинники

Опалення та охолодження (розділ 1.5.2.8, вище) – це регіональні чинники: потреба в опаленні загалом вища у Північній Європі, а потреба в охолодженні вища у Південній Європі. Це може впливати на виробничі процеси – наприклад, у Фінляндії на установках з переробки відходів взимку потрібно підтримувати температуру, за якої відходи придатні до обробки; у Південній Європі харчові продукти потрібно інтенсивніше охолоджувати, щоб вони залишалися свіжими, тощо.

Регіональні та місцеві відмінності у кліматі також накладають інші обмеження на енергоефективність: ККД вугільних котлів у Північній Європі зазвичай становить близько 38 %, а у Південній Європі – 35 %; ККД мокрих систем охолодження залежить від температури навколишнього середовища і точки роси, тощо.

1.5.2.10 Відчутна теплота

Теплота, яка призводить до зміни температури, називається «відчутною» (тобто явною, або такою, яку можна «відчути», хоча цей термін виходить із вжитку) – див. розділ 3.1. Наприклад, теплота, потрібна для нагрівання всіх вхідних ресурсів установки від температури навколишнього середовища до 104,4 °C на нафтопереробному заводі, називається **відчутною теплотою**.

1.5.2.11 Додаткові приклади

У Додатку 7.3 наведені додаткові приклади технологічних процесів:

- приклад 1: крекінгова установка для виробництва етилену;
- приклад 2: виробництво мономера вінілацетату (VAM);
- приклад 3: стан гарячого прокату на сталеливарному заводі.

Ці технологічні процеси ілюструють такі питання:

- мінливі та складні об'єкти;
- складні потоки енергії;
- кілька продуктів з енергетичним потенціалом;
- ефективність електричної енергії, що змінюється залежно від обсягу виробництва;
- спеціальний загальногалузевий ПЕЕ (показник енергоефективності) для нафтопереробних заводів, Енергетичний орієнтир Solomon, у Додатку 7.9.1.

2 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ СЛІД РОЗГЛЯДАТИ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА РІВНІ УСТАНОВКИ

[9, Болдер (Bolder), 2003, 89, Європейська комісія, 2004, 91, CEFIC, 2005, 92, Motiva Oy, 2005, 96, Гонскус (Honskus), 2006, 108, Раціональна енергетика – Європа, 2005, 127, ТРГ]

До частин 2 та 3 застосовано ієрархічний підхід:

- у частині 2 описані технології, які слід розглядати на рівні всієї установки, і за допомогою яких потенційно можна досягти оптимальної енергоефективності;
- у частині 3 описані технології, які слід розглядати на нижчому рівні, ніж установка: в першу чергу на рівні енергоспоживчих систем (наприклад, стиснене повітря, пара, тощо) або видів діяльності (наприклад, спалювання), і на ще нижчому рівні для деяких енергоспоживчих складових частин або обладнання (наприклад, двигунів).

Системи управління, технології, інтегровані у технологічний процес, та спеціальні технічні заходи містяться в обох частинах, проте у контексті пошуку оптимальних результатів вони повністю повторюють одне одного. Багато прикладів комплексного підходу демонструють усі три типи заходів. Внаслідок цього розмежування технологій з метою їх опису дещо ускладнюється і виконується у дещо довільний спосіб.

Ні ця частина, ні частина 3 не містять вичерпного списку технологій та інструментів – можливо, існують або будуть розроблені інші технології, які можуть бути рівною мірою дієвими у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень та НДТМ. Технології, описані в цій частині та частині 3, можуть використовуватися окремо або у поєднанні і підкріпляються інформацією, наведеною в частині 1, з метою досягнення цілей комплексного запобігання та контролю забруднень.

Для окреслення кожної технології у цій частині та частині 3 використовується, коли це можливо, стандартна структура, показана у Таблиці 2.1. Зверніть увагу, що ця ж структура використовується для опису систем, які розглядаються, як-от (на рівні установки) енергетичний менеджмент та (на нижчому рівні) стиснене повітря, спалювання, тощо.

Таблиця 2.1. Розбиття інформації для систем і технологій, описаних у частинах 2 та 3

Тип інформації, що враховується	**Тип інформації, що входить до складу цих відомостей**
Опис	Стислі описи енергоефективних технологій з цифрами, рисунками, технологічними схемами, тощо, які ілюструють ці технології
Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти	Основні вигоди для навколишнього середовища, підкріплені належними виміряними даними про викиди та споживання ресурсів. У цьому документі вони стосуються конкретно підвищення енергоефективності, проте також містять (за наявності) інформацію про зниження рівнів інших забруднюючих речовин та споживання ресурсів
Міжсередовищні наслідки	Будь-які побічні наслідки та недоліки, що впливають на навколишнє середовище, спричинені реалізацією цієї технології. Детальні відомості щодо екологічних проблем, які створює технологія, у порівнянні з іншими технологіями
Експлуатаційні параметри	Робочі показники, що характеризують споживання енергії та інших ресурсів (сировини та води) і викиди / відходи. Будь-яка інша корисна інформація щодо способів експлуатації, технічного обслуговування та керування цією технологією, включно з питаннями безпеки, експлуатаційними обмеженнями технології, якістю продукції, що випускається, тощо
Застосовність	Врахування факторів, пов'язаних з застосуванням цієї технології та модернізації з її використанням (наприклад, наявність вільної виробничої площі, особливості для конкретного технологічного процесу, інші обмеження або недоліки технології)

Економіка	Інформація щодо витрат (інвестиційних та експлуатаційних), пов'язаних з ними заощаджень енергії (теплової та/або електричної) у євро / кВт·год. та інших можливих заощаджень (наприклад, зменшення споживання сировини, викидів відходів), у тому числі залежно від потужності технології
Рушій для впровадження	Причини (крім Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень – IPPC) для впровадження технології (наприклад, законодавство, добровільні зобов'язання, економічні причини)
Приклади	Посилання принаймні на одну ситуацію, у якій повідомляється про використання технології
Довідкова інформація	Інформація, яка використовувалася при написанні цього розділу і містить детальніші відомості

2.1 Системи керування енергоефективністю (ENEMS)

Опис

Усі промислові підприємства можуть заощаджувати енергію, застосовуючи ті ж самі принципи і методики раціонального керування, які вони застосовують в інших сферах господарської діяльності до основних ресурсів, таких як фінанси, сировина і трудові ресурси, а також до охорони навколишнього середовища та охорони здоров'я і техніки безпеки. Ці практики керування передбачають, зокрема, повну управлінську відповідальність за споживання енергії. Керування споживанням енергії та витратами усуває зайві втрати і з часом забезпечує кумулятивні заощадження.

Зверніть увагу, що деякі технології енергетичного менеджменту, які забезпечують фінансові заощадження, не зменшують споживання енергії (див. розділ 7.11).

Найкращі екологічні показники зазвичай досягаються шляхом встановлення найкращих технологій і максимально дієвої та ефективної їх експлуатації. Це відображається у визначенні «технологій» у Директиві щодо Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC): ними вважаються *«як технології, що використовуються на установці, так і способи проєктування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації»*.

Для установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, система керування навколишнім середовищем (EMS) є інструментом, за допомогою якого оператори можуть систематично і очевидно вирішувати ці питання, пов'язані з проєктуванням, будівництвом, технічним обслуговуванням, експлуатацією та виведенням з експлуатації. Система керування навколишнім середовищем охоплює організаційну структуру, обов'язки, практичні підходи, процедури, процеси та ресурси для розробки. реалізації, підтримки, аналізу та моніторингу екологічної політики. Системи керування навколишнім середовищем є найбільш дієвими та ефективними у тому випадку, коли вони є невід'ємною частиною загального керування та експлуатації установки.

Керування з метою досягнення енергоефективності аналогічним чином потребує організованої уваги до енергії з метою постійного зниження витрати енергії та підвищення ефективності виробництва і засобів інженерного забезпечення, а також підтримання вдосконалень, яких вдалося досягти, на рівні як компанії, так і об'єкта. Воно створює структуру та основу для визначення поточної енергоефективності, виявлення можливостей для вдосконалення та забезпечення постійного вдосконалення. Усі чинні стандарти керування, програми та настанови у сфері енергоефективності (та охорони навколишнього середовища) містять поняття постійного вдосконалення, яке означає, що енергетичний менеджмент – це процес, а не проєкт, який зрештою завершується.

Існують різні структури процесів, проте більшість систем керування базуються на підході «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів» (який широко застосовується в інших аспектах керування компанією). Цей цикл є ітеративною динамічною моделлю, у якій завершення одного циклу перетікає у початок іншого – див. Рисунок 2.1.

Рисунок 2.1. Постійне вдосконалення системи керування енергоефективністю [92, Motiva Oy, 2005]

Найкращі робочі показники спостерігаються у тих систем енергетичного менеджменту, для яких характерне таке: (з Матриці енергетичного менеджменту [107, Настанова з найкращих практик, 2004])

- **енергетична політика** – в енергетичній політиці, планах дій та регулярних аналізах відображається цілеспрямована політика вищого керівництва в рамках екологічної стратегії;
- **організація** – енергетичний менеджмент повністю інтегрований у структуру управління. Чітке делегування відповідальності за споживання енергії;
- **мотивація** – формальні та неформальні канали зв'язку, які регулярно використовуються енергоменеджерами та персоналом енергетичного господарства на всіх рівнях;
- **інформаційні системи** – комплексна система встановлює цільові показники, здійснює моніторинг споживання ресурсів, виявляє відмови, обчислює заощадження і забезпечує контроль бюджету;
- **маркетинг** – просування на ринку цінності енергоефективності та результатів діяльності енергетичного менеджменту як у межах, так і за межами організації;
- **інвестиції** – позитивна дискримінація на користь «зелених» схем з детальною оцінкою інвестицій у всі нові будівництва та модернізації потенціалів.

З цих джерел видно, що система керування енергоефективністю (ENEMS) для установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, повинна складатися з таких компонентів:

a. цілеспрямована політика вищого керівництва;
b. визначення політики енергоефективності;
c. планування та встановлення цілей і цільових показників;
d. впровадження і виконання процедур;
e. бенчмаркінг (еталонне порівняння);
f. заходи з перевірки та усунення порушень;
g. аналіз системи керування;
h. підготовка регулярних звітів про енергоефективність;

i. затвердження сертифікаційним органом або стороннім перевіряльником системи керування енергоефективністю (ENEMS);
j. проєктні міркування щодо виведення заводу з експлуатації після завершення його життєвого циклу;
k. розробка енергоефективних технологій;

Ці функції детальніше пояснені нижче. Детальна інформація про компоненти (a) – (k) наведена у пункті «Довідкова інформація» нижче. Приклади наведено в Додатку 7.4.

a. Цілеспрямована політика вищого керівництва

Цілеспрямована політика вищого керівництва – це невід'ємна умова успішного керування енергоефективністю. Керівництво вищої ланки повинне:

- відвести енергоефективності важливе місце у повістці компанії, забезпечити її видимість і переконливість;
- призначити одного керівника вищої ланки, відповідального за енергоефективність (аналогічно системам керування якістю, це не обов'язково повинна бути особа, відповідальна за енергію);
- посприяти створенню культури енергоефективності і створити необхідні рушії для її втілення;
- визначити стратегію (довготермінове бачення) для досягнення енергоефективності в рамках цілей комплексного запобігання та контролю забруднень;
- встановити цільові показники компанії для досягнення цих цілей енергоефективності разом з цілями комплексного запобігання та контролю забруднень;
- визначити конкретні заходи на коротко- та середньотермінову перспективу для досягнення цього довготермінового бачення;
- надати платформу для комплексного приймання рішень з метою забезпечення комплексного запобігання забрудненням включно з заощадженням енергії, особливо при плануванні нових установок або суттєвих модернізацій;
- спонукати компанію здійснювати капіталовкладення і купувати рішення, які забезпечать комплексне запобігання забрудненням у поєднанні з заощадженням енергії на постійній основі. Комплексне запобігання та контроль забруднень забезпечується шляхом комплексного приймання рішень і вживання заходів, у тому числі придбання засобів інженерного забезпечення та основного обладнання, планування, виробництва та технічного обслуговування, а також керування навколишнім середовищем;
- розробити політику енергоефективності – див. пункт (b) нижче.

b. Визначення політики енергоефективності

Керівництво вищої ланки відповідальне за те, щоб визначити політику енергоефективності для установки та переконатися, що вона:

- відповідає характеру (включно з місцевими умовами, як-от клімат), масштабу та споживанню енергії видами діяльності, що здійснюються на установці;
- містить зобов'язання щодо енергоефективності;
- містить зобов'язання дотримуватися всіх актуальних законів та норм, які стосуються енергоефективності, та інших вимог (у тому числі енергетичних угод), під якими підписується організація;
- забезпечує механізм для встановлення та аналізу цілей та цільових показників енергоефективності;
- задокументована і повідомлена всім працівникам;
- може бути надана громадськості та всім зацікавленим сторонам.

c. Планування і встановлення цілей та цільових показників (див. розділ 2.2)

- процедури для визначення аспектів установки, пов'язаних з енергоефективністю, та підтримання цієї інформації в актуальному стані;
- процедури для оцінки пропозицій щодо нових технологічних процесів, агрегатів та обладнання, модернізацій, капітальних ремонтів та зміни з метою визначення аспектів енергоефективності та впливу на планування і закупівлі у такий спосіб, щоб оптимізувати енергоефективність і комплексне запобігання та контроль забруднень;
- процедури для визначення і отримання доступу до правових та інших вимог, до яких приєдналася організація, і які стосуються аспектів її діяльності, пов'язаних з енергоефективністю;
- встановлення та аналіз задокументованих цілей та цільових показників енергоефективності з урахуванням правових та інших вимог і точок зору зацікавлених сторін;
- встановлення і регулярне оновлення програми керування енергоефективністю, включно з розмежуванням відповідальності за досягнення цілей та цільових показників для кожної відповідної функції та рівня, а також засобів та часових рамок, у межах яких їх необхідно досягти.

d. Впровадження і виконання процедур

Важливо мати у розпорядженні системи, які дають змогу переконатися, що про процедури знають, їх розуміють і дотримуються. Тому ефективний енергетичний менеджмент охоплює такі складові:

(i) структура та відповідальність:

- визначення, документування, звітування та повідомлення ролей, обов'язків та повноважень, у тому числі призначення одного конкретного представника керівництва (на додачу до керівника верхньої ланки – див. пункт (a) вище);
- надання ресурсів, необхідних для реалізації та контролю системи енергетичного менеджменту, включно з кадровими ресурсами та спеціалізованою кваліфікацією, технологіями і фінансовими ресурсами;

(ii) навчання, обізнаність та компетенція:

- визначення потреб у навчанні персоналу, яке гарантуватиме, що весь персонал, чия робота може суттєво впливати на енергоефективність діяльності, пройшов належне навчання (див. розділ 2.6);

(iii) комунікація:

- впровадження та підтримання процедур для внутрішньої комунікації між різними рівнями та функціями установки. Особливо важливо, щоб усі особи та команди, причетні до енергоефективності, впровадили процедури для підтримання контакту – особливо якщо вони займаються закупівлями енергоспоживчих засобів інженерного забезпечення та основного обладнання або відповідальні за виробництво, технічне обслуговування та планування;
- впровадження процедур, які сприяють діалогу зі сторонніми зацікавленими особами, та процедур для отримання, документування та, якщо це доцільно, відповіді на відповідні повідомлення від зовнішніх зацікавлених осіб (див. розділ 2.7);

(iv) залучення працівників:

- залучення працівників у процес, націлений на досягнення високого рівня енергоефективності, шляхом організації різних форм участі, таких як система книг пропозицій або проєктна групова діяльність чи комісії з охорони навколишнього середовища (див. розділ 2.7);

(v) документація:

- створення та підтримання в актуальному стані інформації у паперовій чи електронній формі для опису ключових елементів системи керування та їх взаємодії і для надання посилань на пов'язану документацію;

(vi) ефективне керування технологічними процесами (див. розділ 2.8):

- належне керування технологічними процесами у всіх режимах роботи, тобто під час підготовки, пуску, штатної експлуатації, зупинки та в аномальних умовах;
- визначення ключових робочих показників енергоефективності та методів вимірювання і контролю цих параметрів (наприклад, витрати, тиску, температури, складу та кількості);
- оптимізація цих параметрів для забезпечення енергоефективної роботи;
- документування та аналіз аномальних умов експлуатації з метою виявлення корінних причин та їх наступного усунення для виключення повторного виникнення цих подій (цього можна досягти, впровадивши політику відмови від пошуку винних, у якій визначення причин є більш важливим, ніж пошук винної особи);

(vii) технічне обслуговування (див. розділ 2.9):

- впровадження структурованої програми технічного обслуговування на основі технічних описів обладнання, норм, тощо, а також усіх відмов обладнання та їх наслідків;
- доповнення програми технічного обслуговування належними системами ведення записів та діагностичним випробуванням;
- виявлення потенційних програшів в енергоефективності або можливостей поліпшення енергоефективності за результатами планового технічного обслуговування і даними про виходи з ладу та порушення нормальних умов;
- чітке розмежування відповідальності за планування та виконання технічного обслуговування;

(viii) аварійна готовність та реагування:

- врахування споживання енергії під час регенерації або переробки сировини чи продуктів, які зазнали впливу аварійних ситуацій.

e. Бенчмаркінг, тобто:

- виконання систематичних та регулярних порівнянь з галузевими, національними чи регіональними орієнтирами (докладніше – у розділі 2.16).

f. Заходи з перевірки та усунення порушень, тобто (також див. пункт (e) про бенчмаркінг вище):

(i) моніторинг та вимірювання (див. розділ 2.10)

- впровадження та підтримка документально оформлених процедур для регулярного моніторингу і вимірювання ключових характеристик операцій та видів діяльності, які можуть суттєво впливати на енергоефективність, серед яких – реєстрація інформації для відстежування робочих показників, відповідні засоби оперативного контролю та дотримання цілей та цільових показників енергоефективності установки;
- впровадження та підтримка документально оформленої процедури для періодичної оцінки дотримання відповідного законодавства, норм та угод (якщо такі угоди існують) у сфері енергоефективності;

(ii) заходи з усунення та профілактики порушень

- впровадження та підтримка процедур для розмежування відповідальності та повноважень при усуненні та розслідуванні невідповідностей умовам надання дозволу, іншим правовим вимогам та зобов'язанням, а також цілям та цільовим показникам, для вживання заходів для пом'якшення будь-яких спричинених наслідків та для ініціювання і доведення до кінця заходів з усунення та профілактики порушень, які відповідають величині проблеми і сумірні з виявленим впливом на енергоефективність;

(iii) реєстрація та звітування

- впровадження та підтримка процедур для пошуку, зберігання та розпорядження розбірливими, доступними для ідентифікації та відстежуваними записами про енергоефективність, включно з записами про навчання та результатами аудитів та аналізів;
- організація регулярного звітування перед визначеною особою (особами) щодо прогресу у досягненні цільових показників енергоефективності;

(iv) енергетичний аудит та енергетична діагностика (див. розділ 2.11)

- впровадження та підтримка програм(и) та процедур для проведення періодичних аудитів системи керування енергоефективністю, до складу яких входять обговорення з персоналом, огляд робочих умов і обладнання та аналіз записів і документації, і за результатами яких складається письмовий звіт, – неупереджено та об'єктивно самим персоналом (внутрішні аудити) або сторонніми організаціями (зовнішні аудити) – з метою визначення, чи відповідає система керування енергоефективністю запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується. Ці програми та процедури встановлюють обсяг, частоту та методики аудиту, а також відповідальність та вимоги до проведення аудитів та звітування про результати;
- проведення аудиту або, якщо потрібно, циклу аудиту, залежно від характеру, масштабу та складності видів діяльності, значимості споживання енергії, відповідних впливів на навколишнє середовище, важливості та терміновості проблем, виявлених у ході попередніх аудитів, та історії будь-яких проявів енергетичної неефективності або проблем – для складніших видів діяльності, які більш суттєво впливають на навколишнє середовище, аудит проводиться частіше;
- забезпечення наявності належних механізмів, які дають змогу переконатися, що результати аудиту були належним чином враховані;

(v) періодична оцінка дотримання законодавства та угод, тощо

- аналіз дотримання застосовного законодавства щодо енергоефективності, умов надання природоохоронного дозволу (дозволів), виданих для установки, та – за наявності – угод щодо енергоефективності;
- документальне оформлення оцінки.

g. Аналіз системи керування, тобто:

- аналіз керівництвом верхньої ланки з визначеною ним періодичністю системи керування енергоефективністю, метою якого є переконатися, що вона продовжує бути придатною, повноцінною та дієвою (див. розділ 2.5);
- перевірка на предмет того, чи зібрана вся необхідна інформація, за допомогою якої керівництво зможе виконати цю оцінку;
- документальне оформлення аналізу.

h. Підготовка регулярних звітів про енергоефективність:

- підготовка звіту про енергоефективність, у якому особлива увага звернена на результати, яких досягла установка з огляду на її цілі та цільові показники енергоефективності. Цей звіт складається регулярно – раз на рік або рідше, залежно від важливості споживання енергії, тощо. Він враховує інформаційні потреби відповідних зацікавлених сторін і знаходиться у відкритому доступі (наприклад, в електронних публікаціях, у бібліотеках, тощо) – згідно з пунктом «Застосовність» (нижче).

При складанні звіту оператор може використовувати відповідні існуючі робочі показники енергоефективності, переконавшись, що вибрані показники:

- дають точну оцінку результатів роботи установки;
- зрозумілі і недвозначні;
- можуть бути порівняні за різні роки для оцінки розвитку показників енергоефективності установки;
- за потреби можуть бути порівняні з галузевими, національними або регіональними орієнтирами;
- за потреби можуть бути порівняні з нормативними вимогами.

i. Затвердження сертифікаційним органом або стороннім перевіряльником системи керування енергоефективністю (ENEMS):

- перевірка та затвердження системи керування енергоефективністю, процедури аудиту та програмної заяви акредитованим сертифікаційним органом або стороннім перевіряльником може, за умови правильного виконання, підвищити достовірність результатів, які надає система (див. пункт «Застосовність» нижче).

j. Проєктні міркування щодо виведення заводу з експлуатації після завершення його життєвого циклу

- якщо вплив майбутнього виведення установки з експлуатації на навколишнє середовище заздалегідь врахований на етапі проєктування нового заводу, виведення з експлуатації буде простішим, екологічно чистішим і дешевшим;
- виведення з експлуатації породжує ризик для навколишнього середовища, пов'язаний з забрудненням землі (та підземних вод). Крім того, при цьому часто утворюється велика кількість твердих відходів. Профілактичні технології залежать від конкретного процесу, проте загальні міркування при виборі енергоефективних технологій можуть охоплювати такі моменти:
  - уникнення влаштування підземних конструкцій;
  - реалізація особливостей, які полегшують демонтаж;
  - вибір таких видів покриття поверхонь, які можна легко очистити від забруднень;
  - використання конфігурації обладнання, яка мінімізує затримання пилу і забезпечує можливість зливання води або миття;
  - проєктування гнучких, автономних агрегатів, які можна закривати поетапно;
  - використання за можливості біорозкладних матеріалів та матеріалів, які можна переробити;
  - уникнення використання небезпечних речовин – наприклад, у випадках, коли існують замінники (як-от у випадку теплообмінних або ізоляційних рідин). У разі використання небезпечних матеріалів – належне керування ризиками під час використання, технічного обслуговування та виведення з експлуатації.

k. Розробка енергоефективних технологій:

- енергоефективність повинна бути невід'ємною складовою усіх видів діяльності з проєктування процесу, що виконуються оператором, оскільки технології, реалізовані на якомога ранішому етапі проєктування, є водночас найефективнішими і найдешевшими (див. розділ 2.3). Розробку енергоефективних технологій можна розглянути, наприклад, за допомогою науково-дослідної діяльності або вишукувань. У якості альтернативи внутрішнім роботам можна вжити заходів, щоб іти в ногу та, якщо це доцільно, делегувати роботу іншим операторам або дослідним інститутам, що працюють у відповідній сфері.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Реалізація та дотримання системи керування енергоефективністю (ENEMS) зосереджує увагу оператора на показниках енергоефективності установки. Зокрема, технічне обслуговування та дотримання чітких експлуатаційних процедур як у нормальних, так і в аномальних ситуаціях, і відповідні сфери відповідальності повинні забезпечувати дотримання в будь-який момент часу умов надання дозволів на установку та інших цільових показників і цілей у сфері енергоефективності.

Системи керування енергоефективністю зазвичай забезпечують постійне покращення показників енергоефективності установки. Чим гірша початкова ситуація, тим більш помітних короткочасних покращень можна очікувати. Якщо установка вже має хороші загальні показники енергоефективності, система допомагає оператору підтримувати показники на високому рівні.

Міжсередовищні наслідки
Методики керування енергоефективністю повинні бути розроблені у комплексі з іншими екологічними цілями, з урахуванням загального впливу на навколишнє середовище, як і передбачено комплексним підходом Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Проте енергоефективність, вочевидь, буде однією з кількох цілей, яких потрібно досягти (серед інших цілей, наприклад – заощадження сировини, покращення якості продукції, зниження викидів у навколишнє середовище, яке може супроводжуватися збільшенням витрати енергії). Це питання докладніше розглядається у Довідковому документі з економіки та міжсередовищних наслідків (ECM REF).

Експлуатаційні параметри
Конкретної інформації не надходило. Див. пункт «Приклади» нижче.

Застосовність
1. <u>Компоненти</u>
Описані вище компоненти зазвичай можуть застосовуватися до всіх установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень. Обсяг (наприклад, ступінь деталізації) та характер системи керування енергоефективністю (наприклад, стандартизована чи нестандартизована) загалом пов'язаний з характером, масштабом та складністю установки та споживанням енергії, а також зі спектром інших впливів на навколишнє середовище, які вона може чинити. Наприклад:

- у випадку невеликих установок керівники верхньої ланки, згадані у розділі 2.1 (a) та 2.1 (d) (i), можуть бути однією і тією ж особою;
- енергетична політика, згадана у розділі 2.1 (b), може бути опублікована у складі заяви про екологічну політику або за допомогою звіту про корпоративну соціальну відповідальність;

- необхідно враховувати інші чинники, як-от законодавство щодо конкуренції та конфіденційності (див. розділ 2.1(h)). Дані про енергоефективність можна публікувати у вигляді індексів (наприклад, зниження на Y %, де споживання енергії за рік X взяте за 100 %), які узагальнюють цифри для установок на одному й тому ж об'єкті або в одній і тій же компанії (див. розділ 1.3 та приклади у Додатку 7.4).

2. Стандартизовані та нестандартизовані системи керування навколишнім середовищем (EMS) та/або системи керування енергоефективністю (ENEMS)

У Європейському Союзі багато організацій добровільно прийняли рішення впровадити системи енергетичного менеджменту. Ці системи можна впровадити таким чином:

- шляхом додавання спеціальних вимог щодо енергоефективності до існуючої системи керування – зазвичай (але не обов'язково) системи керування навколишнім середовищем (зверніть увагу, що системи керування енергоефективністю, описані у пункті нижче, розраховані на сумісність з існуючими системами керування навколишнім середовищем). Система керування навколишнім середовищем може базуватися на стандарті EN ISO 14001:1996 або Схемі екологічного менеджменту та аудиту ЄС – EMAS. Схема екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) містить вимоги до систем керування, встановлені стандартом EN ISO 14001, проте акцентує додаткову увагу на дотриманні законодавчих вимог, екологічних показниках та залученні працівників; вона також вимагає зовнішньої верифікації системи керування та затвердження публічного звіту про вплив на навколишнє середовище. У стандарті EN ISO 14001 альтернативою зовнішній верифікації є самодекларація. Також існує багато організацій, які вирішили впровадити нестандартизовані системи керування навколишнім середовищем;
- шляхом використання систем керування енергоефективністю (ENEMS). Це може бути:
  енергетичний менеджмент на базі національних стандартів (як-от данський стандарт DS 2403, ірландський стандарт IS 393, шведський стандарт SS627750, німецька директива VDI Richtlinie № 46 «Енергетичний менеджмент», фінські настанови або інші настанови (міжнародні стандарти або настанови щодо енергетичного менеджменту). Європейський стандарт (CEN) перебуває на етапі розробки;
  - система енергетичного менеджменту на нестандартизованій основі, пристосована до їх власних потреб та управлінських структур.

У результаті аналізу схем бенчмаркінгу та енергетичного менеджменту було визначено [165, Схема бенчмаркінгу та енергетичного менеджменту у малому та середньому бізнесі (BESS) – Заява про вплив на навколишнє середовище (EIS)]:

- *переваги стандартизованої системи* (наприклад, данський стандарт DS 2403):
  - структурований підхід, зосереджена на енергії, легко реалізується, якщо вже присутня система керування на базі стандарту ISO чи інша система керування;
  - структура та термінологія аналогічні стандартам ISO 14001 та ISO 9001;
  - доведені заощадження енергії в Данії від 10 до 15 %;
  - енергоефективність стає організаційною вимогою вищого керівництва;
  - після затвердження видається сертифікат;
  - великі компанії віддають перевагу сертифікованим або структурованим системам керування;
  - процес сертифікації цінний, амбіційний і детальний;
  - охоплює всі теми, пов'язані з постачанням, перетворенням, споживанням енергії, поведінкою, технологією, людськими ресурсами;
  - детально задокументована (на базі стандарту ISO 9001);
  - може використовуватися в будь-яких енергетичних угодах;

- *недоліки:*
  - сама по собі гарантує лише мінімальний рівень енергетичного менеджменту;
  - різною мірою впроваджена компаніями – як, наприклад, система DS 2403;
  - компанії зосереджуються на задоволенні вимог системи, а не на впровадженні найкращих практик у сфері енергетичного менеджменту;
  - якщо формальна задокументована система керування відсутня, її реалізація потребуватиме додаткових ресурсів та експертних знань.

Реалізація та дотримання визнаної на міжнародному рівні стандартизованої системи, такої як EN ISO 14001:1996, може посилити достовірність результатів, отриманих за допомогою системи керування навколишнім середовищем, особливо якщо вона пройшла належним чином виконану зовнішню верифікацію. Схема екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) додатково посилює достовірність завдяки взаємодії з громадськістю через звіти про вплив на навколишнє середовище та механізм забезпечення дотримання застосовного законодавства щодо охорони навколишнього середовища. Проте нестандартизовані системи можуть, в принципі, бути не менш ефективними, за умови, що вони належним чином спроєктовані та реалізовані.

3. Зовнішня верифікація
Залежно від вибраної системи, оператор може вирішити пройти зовнішню верифікацію та/або зробити публічну заяву щодо енергії (або вирішити не робити цього).

4. На публікацію політики енергоефективності (див. пункт (h) вище) можуть накладатися обмеження з міркувань конфіденційності та конкуренції. Хоча ці заходи можуть відіграти роль рушія, самі по собі вони не покращують енергоефективність. Загальну політику енергоефективності можна поширити серед громадськості у вигляді Звіту про корпоративну соціальну відповідальність, і/або можна повідомити дані у вигляді індексів – див., наприклад, пункт «Приклади» та Додаток 7.4.

Економіка
Вартість та економічні переваги впровадження та підтримання хорошої системи керування енергоефективністю (ENEMS) важко точно визначити. Проте слід пам’ятати, що заощадження (чисті) напряму впливають на валовий прибуток.

Див. пункт «Приклади» нижче.

Рушії для впровадження
Системи керування енергоефективністю можуть надавати ряд переваг, наприклад:

- краще розуміння аспектів діяльності компанії, пов’язаних з енергоефективністю;
- покращені показники енергоефективності та дотримання заходів із забезпечення енергоефективності (добровільних або нормативних);
- краща конкурентоспроможність – зокрема, у контексті тенденції до збільшення цін на енергію;
- додаткові можливості зниження експлуатаційних витрат та покращення якості продукції;
- краща основа для прийняття рішень;
- краща мотивація персоналу;
- краща репутація компанії;
- більша привабливість для працівників, клієнтів та інвесторів;
- посилення довіри регулюючих органів, яке може призвести до зменшення регуляторного нагляду;
- дає змогу користуватися вільними енергетичними ринками, перспективними енергопослугами, енергетичними угодами та стимулами за енергоефективність (див., наприклад, Додатки 7.4, 7.11, 7.12, 7.13 та 7.14).

Приклади (див. Додаток 7.4)

- Outokumpu, завод у комуні Торніо, Фінляндія [160, Агуадо (Aguado), 2007];
- Aughinish Alumina (AAL), Ірландія [161, Управління сталої енергетики Ірландії (SEI), 2006];
- Dow Chemical Company [163, Dow, 2005]. Компанія Dow досягла цільового зниження енергоємності на 20 % – з 13 849 кДж/кг продукту до 11 079 кДж/кг (виміряно у кг сукупної номенклатури продукції Dow);
- доведені заощадження енергії в Данії [165, BESS – Заява про вплив на навколишнє середовище].

Довідкова інформація
[160, Агуадо, 2007, 161, SEI, 2006, 163, Dow, 2005]

1. Основні екологічні стандарти
(Регламент (ЕС) № 761/2001 Європейського парламенту та Ради, що дозволяє добровільну участь організацій у Схемі екологічного менеджменту та аудиту Європейської спільноти (EMAS), OJ L 114, 24.04.2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001:1996, http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html; http://www.tc207.org)

2. Стандарти енергоефективності
- IS 393:2005 – Системи енергетичного менеджменту (Ірландія);
- DS2403 – Системи енергетичного менеджменту (Данія);
- SS627750 – Системи енергетичного менеджменту (Швеція).

2.2 Планування та встановлення цілей і цільових показників

2.2.1 Постійне покращення стану навколишнього середовища та міжсередовищні наслідки

Опис
Важливим елементом системи керування навколишнім середовищем (EMS, яка вважається НДТМ у всіх секторах, що підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень) є підтримання загального покращення стану навколишнього середовища. Вкрай важливо, щоб оператор розумів, що відбувається з вхідними ресурсами включно з енергією (тобто розумів технологічний процес), і яким чином їх споживання призводить до викидів. Не менш важливо, керуючи суттєвими вхідними та вихідними ресурсами, підтримувати правильний баланс між зниженням викидів та міжсередовищними наслідками, як-от витрата енергії, води та сировини. Це дасть змогу зменшити загальний вплив установки на навколишнє середовище.

Щоб забезпечити комплексний підхід до контролю забруднень, важливо взяти постійне покращення стану навколишнього середовища за один з орієнтирів при плануванні господарської діяльності установки. Це планування охоплює коротко-, середньо- та довготермінове планування та всі складові технологічні процеси та/або системи установки. Слід зазначити, що «постійне» у цьому контексті означає, що мета, яка полягає у покращенні стану навколишнього середовища, діє постійно, і що для її досягнення відповідні заходи з часом повторюються.

Усіма суттєвими статтями споживання ресурсів (у тому числі енергії) та викидами слід керувати узгоджено, з огляду на коротко-, середньо- та довготермінову перспективу, у поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиційними циклами – тобто адаптація короткотермінових рішень, які застосовуються у кінці виробничого циклу, до конкретних викидів може вимагати від оператора збільшити споживання енергії у довготерміновій перспективі та відкласти інвестиції у рішення, які потенційно є вигіднішими для навколишнього середовища (див. пункт «Приклади» нижче). Для цього потрібно врахувати деякі міжсередовищні наслідки: вказівки щодо них, а також питання розцінок та співвідношення витрат і вигод, викладені у розділі 1.1.6 та – докладніше – у Довідковому документі з економічних та міжсередовищних наслідків (ECM) [167, EIPPCB, 2006], а також у розділі, присвяченому енергоефективному проєктуванню, та інших розділах (розділ 2.2.2, тощо).

Вигоди для навколишнього середовища можуть не бути лінійними – наприклад, може бути неможливо щороку заощаджувати 2 % енергії протягом 10 років. Вигоди з великою ймовірністю будуть нерівномірними і ступінчастими, відображаючи інвестиції в енергоефективність, тощо. Нарівні з цим можуть спостерігатися міжсередовищні наслідки інших вдосконалень, націлених на покращення стану довкілля: наприклад, може бути необхідно збільшити витрату енергії для зниження викидів речовини, яка забруднює повітря. Рисунок 2.2 ілюструє, як споживання енергії може:

- зменшитися після першого енергетичного аудиту та продиктованих ним заходів;
- зрости при встановленні додаткового обладнання для зниження викидів;
- знову зменшитися у результаті подальших заходів та інвестицій;
- загальний тренд споживання енергії з часом спадає внаслідок довготермінового планування та інвестицій.

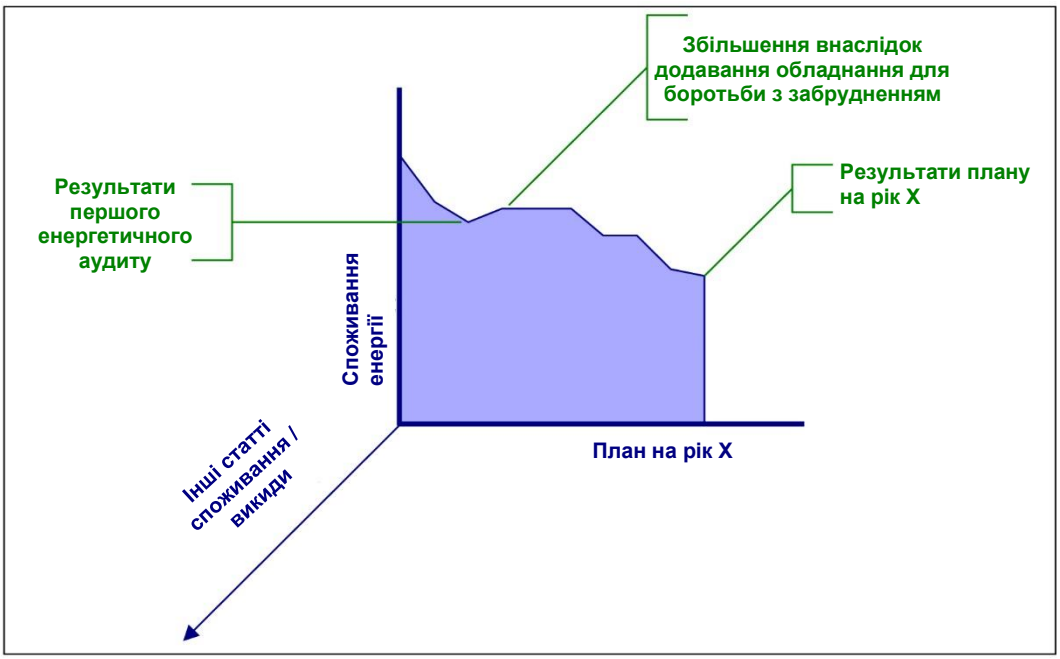


Рисунок 2.2. Приклад можливих коливань споживання енергії з часом [256, Темпані (Tempany), 2007]

Енергоефективності надається велике значення у політиці ЄС (у таких заявах, як Берлінська декларація, де з-поміж екологічних проблем розглядається лише ця [141, ЄС, 2007]). Розглядаючи економічні та міжсередовищні наслідки реалізації НДТМ в межах установки, при врахуванні вимог Статті 9 (4), тобто граничних значень викидів (ГЗВ) для дозволу та еквівалентних параметрів, слід брати до уваги важливість енергоефективності.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
У довготерміновій перспективі можна досягти зниження споживання енергії, води і сировини, а також зниження викидів. Вплив на навколишнє середовище ніколи не можна знизити до нуля, і будуть моменти, коли від подальших заходів буде мало або взагалі не буде економічної вигоди. Однак у більш віддаленій перспективі зі зміною технологій та витрат (наприклад, цін на енергію) рентабельність також може змінитися.

Міжсередовищні наслідки
Якась частина статей споживання або викидів у ході експлуатації може протягом певного часу бути пропорційно вищою, поки не почнуть діяти інвестиції, розраховані на більш віддалену перспективу.

Експлуатаційні параметри
Дослідження, проведене у 1990-х роках, показало, що багато компаній нехтують явно дуже хорошими прибутками від інвестицій в енергію. Було зроблено висновок, що більшість компаній чітко розділяють «основну» та «неосновну» господарську діяльність і докладають мало зусиль для управління останньою, якщо тільки можливості, якими вони все-таки скористалися, не подолали дуже високі перешкоди, як-от період окупності у 18 – 24 місяці. На підприємствах, для яких не властива висока енергоємність, витрати на енергію розглядалися як «фіксовані накладні витрати» або ігнорувалися як такі, що не дотягують до «порогової» частки витрат. Крім того, схоже, що компанії з більш суттєвими витратами не енергію не користувалися наявними можливостями для «безпрограшних» інвестицій [166, Міністерство навколишнього середовища, продовольства та сільського господарства Великої Британії (DEFRA), 2003].

Застосовність
Може застосовуватися до всіх установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень. Те, якою мірою вживаються ці заходи, залежить від розміру установки та кількості змінних (також див. пункт «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти» вище). Повне дослідження міжсередовищних наслідків виконується рідко.

Економіка
Дає змогу здійснювати капіталовкладення у свідомий спосіб з метою збільшення загальних вигод для навколишнього середовища та отримання оптимального співвідношення витрат і результатів.

Рушії для впровадження
Скорочення витрат у коротко-, середньо- та довготерміновій перспективі.

Приклади
Приклад врахування міжсередовищних наслідків наведений у Довідковому документі з економічних та міжсередовищних наслідків (ECM) [167, EIPPCB, 2006].

Теоретичним прикладом такої ситуації є виробник транспортних засобів, який прагне додатково знизити викиди розчинника. Він може кардинально змінити ситуацію за один крок, але для цього потрібно замінити всю фарбувальну камеру, експлуатаційний ресурс якої становить 25 років, а капітальні витрати – близько 500 мільйонів євро. Споживання енергії фарбувальною камерою становить приблизно 38 – 52 % від споживання енергії всім заводом, тобто порядку 160 000 – 240 000 МВт·год. (з яких 60 % припадає на газ). Кількість сировини, що використовується, ефективність нанесення фарби та кількість розчинників, що втрачається, також може залежати від ступеня автоматизації. Для вирішення перелічених нижче питань потрібно врахувати експлуатаційні та капітальні витрати, а також споживання та викиди, за період окупності інвестиції:

- вибір типу фарби та системи нанесення;
- ступінь автоматизації;

- обсяг очищення відхідних газів та кількість фарби, необхідні для системи;
- експлуатаційний ресурс існуючої фарбувальної камери.

Довідкова інформація
[127, ТРГ, 141, ЄС, 2007, 152, Європейська комісія, 2003, 159, EIPPCB, 2006, 166, DEFRA, 2003, 167, EIPPCB, 2006, 256, Темпані, 2007]

2.2.2 Системний підхід до керування енергією

Опис
Робота над програмою SAVE[18] показала, що, хоча деяких заощаджень можна досягти шляхом оптимізації окремих компонентів (таких як двигуни, насоси або теплообмінники, тощо), для отримання максимального виграшу в енергоефективності необхідно застосовувати системний підхід, починаючи з установки, враховуючи складові агрегати та системи і оптимізуючи (a) те, як вони взаємодіють, а також (b) оптимізуючи саму систему. Лише після цього слід оптимізувати ті пристрої, що залишилися.

Це важливо для систем інженерного забезпечення Історично склалося так, що оператори зазвичай зосереджувалися на вдосконаленнях енергоспоживчих технологічних процесів та іншого обладнання, тобто на енергетичному менеджменті з боку потреби. Проте кількість енергії, що споживається на об'єкті, також можна зменшити за рахунок способу придбання і постачання енергії, тобто енергетичного менеджменту з боку постачання (або керування засобами інженерного забезпечення), для якого існують різні можливості – див. розділ 2.15.2.

У розділах 1.3.5 та 1.5.1 розглянуто важливість розгляду енергоефективності систем у цілому і продемонстровано, як за допомогою системного підходу можна отримати більший виграш в енергоефективності (такий підхід можна вважати низхідним).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Досягаються більші заощадження енергії на рівні компонентів (з точки зору висхідного підходу). Див. пункт «Приклади» нижче. Застосування системного підходу також може зменшити кількість відходів та стічних вод, знизити інші викиди, технологічні втрати, тощо.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
Подробиці наведені у відповідних розділах, як-от:

- Розділ 2.15.2: оптимізація та керування засобами інженерного забезпечення шляхом моделювання.
- У частині 3 розглядаються переважно окремі системи.

Застосовність
Усі установки.

Економіка
Див. відповідні розділи.

[18] SAVE – це програма Європейської комісії з енергоефективності

Рушій для впровадження

- витрати;
- підвищення ефективності;
- зменшення капіталовкладень.

Приклади

Див. відповідні розділи. Наприклад: новий двигун у системі стисненого повітря або насосній системі може заощадити 2 % підведеної енергії, а оптимізація всієї системи може заощадити 30 % енергії або й більше (залежно від стану системи). Див. розділи 3.6 та 3.7.

Довідкова інформація

[168, Європейське об'єднання виробників компресорів, вакуумних насосів, пневматичних інструментів та супутнього обладнання (PNEUROP), 2007, 169, Європейська комісія, 1993, 170, Європейська комісія, 2003, 171, де Смедт П. (de Smedt P.), Петела Е. (Petela E.), 2006]

2.3 Енергоефективне проєктування (EED)

Опис

На етапі планування нового заводу чи установки (або такого, що підлягає капітальному ремонту) слід оцінити витрати на енергію протягом усього життєвого циклу технологічних процесів, обладнання та систем інженерного забезпечення. Часто виявляється, що витрати на енергію становлять значну частку сукупної вартості володіння (TCO) або вартості життєвого циклу цього заводу чи установки, як проілюстровано на Рисунку 2.3 нижче для типового промислового обладнання.

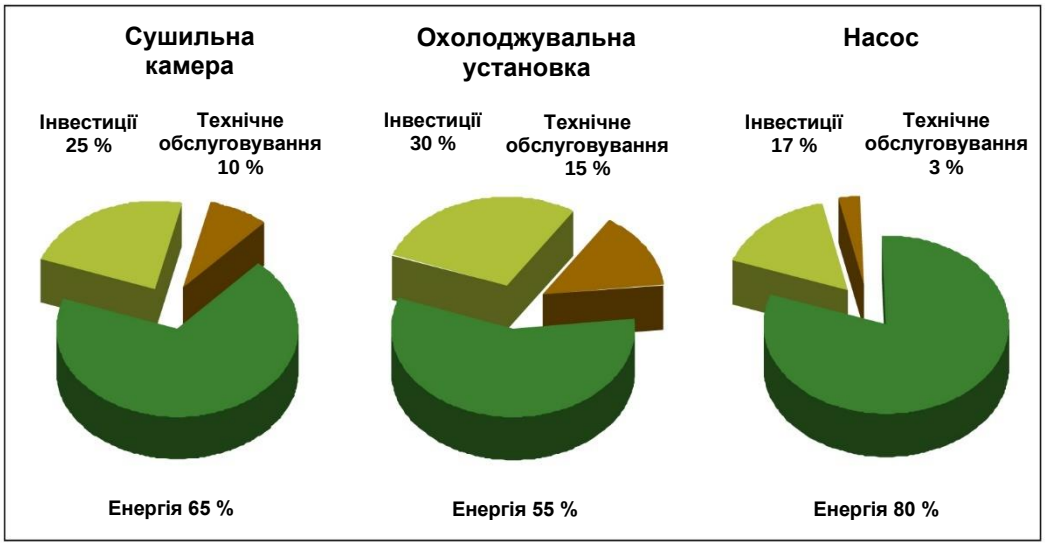


Рисунок 2.3. Приклади сукупної вартості володіння типовим промисловим обладнанням (за життєвий цикл понад 10 років)

Як показує досвід, якщо на етапах планування та проєктування нового заводу враховується енергоефективність, він матиме більший потенціал для заощаджень, і інвестиції, необхідні для досягнення цих заощаджень, будуть набагато меншими у порівнянні з випадком, коли завод оптимізується під час його промислової експлуатації. Це ілюструється на Рисунку 2.4 нижче.

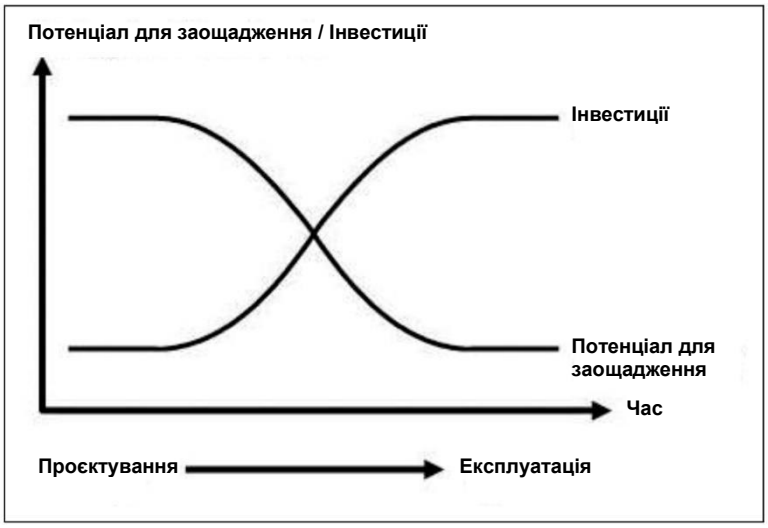


Рисунок 2.4. Потенціал для заощаджень та інвестиції на етапі проєктування у порівнянні з етапом експлуатації

У енергоефективному проєктуванні застосовуються ті ж самі технічні знання, види діяльності і методики, що й при виконанні енергетичних аудитів на існуючих об'єктах. Основна відмінність зумовлена тим, що на етапі проєктування можна вплинути на такі сфери, як базові проєктні параметри, вибір технологічного процесу, що буде використовуватися (розділ 2.3.1), та основне технологічне обладнання, як проілюстровано на Рисунку 2.5 нижче. Це дає змогу вибрати найбільш енергоефективні технології. Якщо завод вже перебуває у промисловій експлуатації, вплинути на ці сфери неможливо або як мінімум дуже дорого.

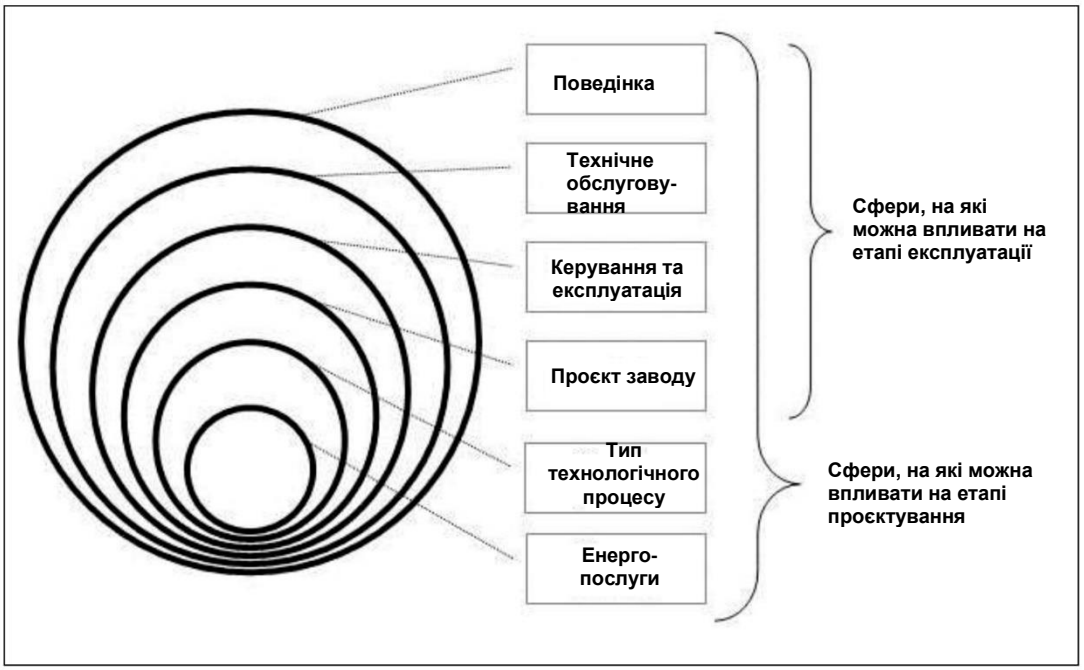


Рисунок 2.5. Сфери, на які можна вплинути на етапі проєктування, але не на етапі експлуатації

Типовими сферами, у яких можна аналізувати і впливати на енергопослуги та реальну потребу в енергії, є визначення таких моментів:

- необхідна витрата повітря у запланованих установках ОВіК (опалення, вентиляції і кондиціювання повітря): що можна зробити, щоб зменшити витрату повітря у центральних системах ОВіК? (див. розділ 3.9);
- потреба у низькій температурі соляного розчину в системі охолодження: які технологічні процеси слід змінити або оптимізувати, щоб зменшити холодильне навантаження і збільшити температура соляного розчину?
- теплове навантаження у процесі сушіння: які технологічні параметри і принципи дії заводу можна змінити, щоб мінімізувати теплове навантаження? (див. розділ 3.11);
- потреба технологічної установки в парі: чи можна використовувати гарячу воду так, щоб відхідне тепло можна було вжити для опалення? (див. розділ 3.2);
- потрібний тиск стисненого повітря: чи можна знизити тиск або розбити систему на системи високого та середнього тиску? (див. розділ 3.7).

З першого погляду здається, що на ці питання легко відповісти, проте для уточнення потенційних можливостей заощадження потрібно розглянути ряд питань.

Як показує досвід, найбільші заощадження досягаються в нових будівництвах та суттєвих модернізаціях, проте це не причина нехтувати цією методикою при плануванні та проєктуванні переобладнання, модернізації або капітального ремонту. У випадках, коли в агрегаті або установці є як гарячі, так і холодні потоки, для отримання відповідей на ці питання можна використовувати пінч-аналіз (див. розділ 2.12).

Знову ж таки, досвід показує, що процеси планування та проєктування жорстко регламентовані і часто виконуються за щільним розкладом – нерідко настільки, що для додаткового аналізу потенційних можливостей заощадження немає часу (або ресурсів). Як наслідок, робочий процес енергоефективного проєктування (EED) повинен іти впритул за діяльністю з планування та проєктування, як показано для типового процесу будівництва у Таблиці 2.2 нижче.

Етап будівництва	**Діяльність у рамках енергоефективного проєктування (EED)**
Ескізний проєкт / концептуальний проєкт	• збір даних про використання енергії для нових об’єктів з контролем за його виконанням • оцінка реальних потреб в енергії • оцінка витрат на енергію протягом життєвого циклу • аналіз базових проєктних параметрів, які впливають на споживання енергії • визначення ключових осіб та сторін, які впливають на енергоефективність нових об’єктів • мінімізація обсягу енергопослуг • впровадження найкращих доступних технологій та методів управління
Робочий проєкт	• проєктування оптимальних технологічних установок та систем інженерного забезпечення • оцінка потреб у контрольно-вимірювальних приладах та автоматиці • технологічна інтеграція / системи регенерації тепла (пінч-аналіз) • мінімізація втрат тиску, втрат температури, тощо • вибір ефективних двигунів, приводів, насосів, тощо • допоміжні технічні умови стосовно енергоефективності до тендерних матеріалів
Проведення тендеру	• звернення до учасників тендеру та виробників з проханням надавати більш енергоефективні рішення • контроль якості проєктів та технічних умов, що пропонуються у рамках тендеру
Будівництво та монтаж	• контроль якості технічних характеристик встановленого обладнання у порівнянні з обладнанням, вказаним у тендерних заявках
Введення в експлуатацію	• оптимізація технологічних процесів та засобів інженерного забезпечення згідно з технічними умовами
Етап експлуатації	• енергетичні аудити • енергетичний менеджмент

Таблиця 2.2. Приклади діяльності у ході енергоефективного проєктування нового промислового об’єкта

«Оцінка реальних потреб в енергії» має принципове значення для робіт з енергоефективного проєктування і є центральною передумовою визначення найбільш привабливих можливостей, які варто розглянути на пізніших етапах процесу планування та проєктування. Цю послідовність дій теоретично можна використовувати як для проєктування складних технологічних установок, так і при закупівлі простих машин та установок. Суттєві інвестиції, які плануються і закладаються в бюджеті, слід визначати, наприклад, у річному аналізі системи керування, і при цьому відзначати потребу в особливій увазі до енергоефективності.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Методика енергоефективного проєктування (EED) націлена на забезпечення максимального потенціалу для заощадження енергії у промисловості і дає змогу застосовувати енергоефективні рішення, які можуть виявитися недоцільними у дослідженнях можливостей для модернізації. У великій кількості проєктів вдалося досягти заощаджень у 20 – 30 % від повного споживання енергії. Такі заощадження значно перевищують ті, які досягаються за допомогою енергетичних аудитів для установок в експлуатації.

Міжсередовищні наслідки
Від комплексного підходу до проєктування не очікується жодних міжсередовищних наслідків.

Експлуатаційні параметри
Деякі приклади результатів енергоефективного проєктування у різних секторах промисловості наведені у Таблиці 2.3 нижче.

Компанія	**Заощадження (євро/рік)**	**Заощадження (%)**	**Інвестиції (євро)**	**Окупність (роки)**
Харчові інгредієнти: • нові принципи охолодження • зміни у процесі бродіння • менше ОВіК у пакувальних зонах • регенерація тепла, що виділяється з бродильних чанів • нові принципи освітлення	130000	30	115000	0,8
Солодощі: • удосконалене керування процесом сушіння • оптимізація контура охолодження • менше сушіння продуктів інфрачервоним випромінюванням • зниження тиску стисненого повітря • дешевше джерело тепла (централізоване опалення)	65000	20	50000	0,7
Готові харчові продукти: • зміна джерела тепла для духовок • нова технологія заморожування • новий принцип регенерації тепла • оптимізована холодильна установка на NH_3 • оптимізовані теплообмінники	740000	30	1500000	2,1
Пластмаси: • новий принцип охолодження (природне охолодження) • регенерація тепла для опалення будівлі • знижений тиск стисненого повітря	130000	20	410000	3,2

• зменшення обсягу систем ОВіК				
Скотобійня: • комплексна регенерація тепла • оптимізовані процеси очищення • зменшене морозильне та холодильне навантаження • удосконалене керування процесами охолодження • • використання лою для опалення приміщень	2000000	30	5000000	2,5

Таблиця 2.3. Досягнуті заощадження та інвестиції у п'яти пілотних проєктах з застосуванням енергоефективного проєктування

У порівнянні з традиційними енергетичними аудитами, для заощаджень, які вдається реалізувати завдяки енергоефективному проєктуванню, досягається у 3 – 4 рази краще співвідношення між сумарними соціально-економічними вигодами та витратами.

Роботи з енергоефективного проєктування рекомендується виконувати на кількох етапах виконання проєкту, наприклад:

- Оцінка даних про споживання енергії та напрямків роботи.
- Мінімізація обсягу енергопослуг і застосування НДТМ.
- Надання вхідних даних для проєкту установки, контрольно-вимірювальних приладів та автоматики.
- Контроль якості тендерних заявок.
- Подальший контроль.

На кожному етапі виконання проєкту повинні надаватися конкретні результати, щоб оператор міг вирішити, чи потрібно виконувати подальші дослідження.

Щоб досягти найкращих можливих результатів у роботі з енергоефективного проєктування, важливо дотримуватися таких критеріїв:

- щоб забезпечити максимальні заощадження і не затримувати процес проєктування, енергоефективне проєктування слід розпочинати на ранніх стадіях етапу концептуального проєктування / ескізного проєктування, хоча планові інвестиції на цих етапах можуть ще не бути чітко визначені;
- усі дані про споживання енергії та витрати протягом життєвого циклу повинні бути розраховані або надані на ранній стадії етапу концептуального проєктування / ескізного проєктування. Вкрай важливо, щоб усі дані про споживання енергії були оцінені особою, відповідальною за енергоефективне проєктування. Постачальники та виробники часто не надають (або не можуть надати) дані на цьому етапі, тому, якщо ці дані відсутні, їх необхідно оцінити в інший спосіб. Може бути потрібно виконати збір даних – у рамках розробки проєкту або окремо;
- роботи з енергоефективного проєктування повинні виконуватися експертом з енергетики, незалежним від проєктної організації, як показано на Рисунку 2.6 нижче, – особливо у випадку неенергоємних галузей (див. пункт «Застосовність»);

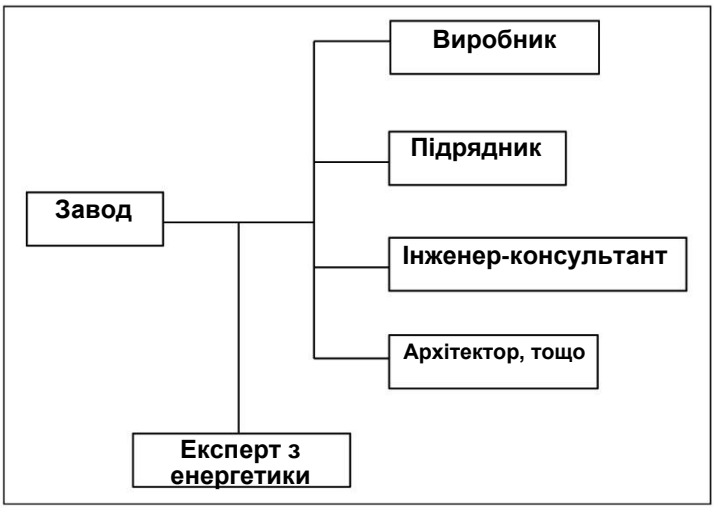


Рисунок 2.6. Рекомендована організація робіт з планування та проєктування нових об'єктів за участі експерта з енергетики

- окрім споживання енергії кінцевими користувачами, при початковому плануванні розподілу споживання енергії також слід розглянути, які сторони в організаціях, причетних до проєкту, впливають на майбутнє споживання енергії. Наприклад, персонал (наприклад, експлуатаційний і технічний персонал), який працює на (існуючому) заводі, часто відповідальний за визначення технічних вимог до проєктних параметрів (параметра), які мають найбільше значення для оптимізації енергоефективності майбутньої установки;
- оцінка ризику, пов'язаного з тендером, та інші дані повинні розкривати, які виробники не виграють від оптимізації енергоефективності продукції, яку вони постачають для проєкту. Наприклад, жорстка цінова конкуренція часто змушує виробників установок використовувати дешеві компоненти, мінімізувати використання теплообмінників, тощо, внаслідок чого збільшуються експлуатаційні витрати протягом життєвого циклу установки;
- з більшого боку, оголошення енергоефективності головним критерієм у тендері на нові заводи та установки або їх модернізацію (і надання їй відповідної ваги) заохотить учасників надавати максимально енергоефективні варіант(и).

Важливо наголосити, що роботи з енергоефективного проєктування часто міждисциплінарні, і що експерт з енергетики (незалежний або штатний) повинен не лише бути кваліфікованим з технічної точки зору, а й мати значний досвід роботи зі складними організаційними структурами та складними технічними проблемами.

Застосовність

Енергоефективне проєктування (EED) зарекомендувало себе як один із найбільш економічно ефективних та привабливих способів підвищити енергоефективність у промисловості, а також в інших секторах, які є основними споживачами енергії. Енергоефективне проєктування успішно застосовується в більшості секторів промисловості: за його допомогою було досягнуто заощаджень на рівні установок, у технологічних агрегатах та системах інженерного забезпечення.

Важливою перешкодою на шляху до успіху є те, що виробники (особливо в неенергоємних галузях) часто консервативні або не бажають відступатися від перевіреної стандартної конструкції та/або оновлювати гарантії на продукт, тощо. З іншого боку, часто неможливо передбачити всі наслідки зміни – наприклад, з точки зору якості та продуктивності виробництва. Деякі системи управління, як-от загальне управління якістю (TQM), не дозволяють виробнику вносити зміни, які можуть вплинути на якість продукту.

Важливо, щоб роботи з енергоефективного проєктування були розпочаті на ранніх стадіях роботи над концептуальним проєктом і добре організовані, аби уникнути затримок у процесі планування та проєктування.

Хоча енергоефективне проєктування зосереджується головним чином на добре вивчених технологіях та принципах, у його рамках часто впроваджуються нові технології або складніші рішення. Це необхідно враховувати як ризик з точки зору клієнта.

Підприємства, що діють в енергоємних галузях промисловості (як-от хімічна промисловість, нафтопереробні заводи, спалювання відходів, виробництво сталі), відзначили такі моменти стосовно залучення експертів з енергоефективного проєктування, незалежних від проєктної організації:

- у енергоємних галузях на підприємствах є штатні експерти з енергоефективного проєктування. Однією з головних причин, якими це зумовлено, є конкуренція і потреба у збереженні конфіденційності проєктів, що накладає обмеження на залучення сторонніх експертів;
- питання енергоефективності можуть входити до складу технічної документації на проведення тендеру для виробників та постачальників обладнання (питання енергоефективності повинні входити до складу технічної документації на проведення тендеру – див. пояснення про оцінку ризику, пов'язаного з тендером, у пункті «Експлуатаційні параметри» вище). Тому виробники можуть бути чутливими до енергоефективності і регулярно порівнювати свою продукцію з орієнтирами;
- при проведенні тендерів на складні установки та системи, у яких споживання або виробництво енергії має критичне значення, тендерні заявки часто оцінюються експертами з енергетики, залученими з боку клієнта.

Економіка
Плата за послуги незалежного експерта з енергетики може бути порядку 0,2 – 1 % від запланованої інвестиції, залежно від величини та характеру споживання енергії. Якщо енергоефективне проєктування виконується виробником технологічної установки або штатною командою, цю вартість важко оцінити.

У багатьох випадках енергоефективне проєктування, на додачу до заощадження енергії, зменшує розмір інвестицій, оскільки дає змогу звести до мінімуму використання основних енергопослуг (таких як охолодження, опалення, система стисненого повітря, тощо).

Було доведено, що добре спроєктована технологічна установка часто має більшу потужність, ніж установка, спроєктована традиційним чином, оскільки її основне обладнання, як-от теплообмінники, тощо, розраховані на більшу потужність з метою мінімізації втрат енергії.

Рушій для впровадження
Першочерговими рушіями для застосування енергоефективного проєктування є:

- нижчі експлуатаційні витрати;
- застосування нових технологій (можливість впровадження НДТМ);
- добре спроєктовані установки завдяки кращій практиці проєктування та повнішим даним.

Також можливі вигоди у вигляді збільшеної продуктивності, зменшення кількості відходів, покращення якості продукції (див. розділ 2.3.1).

Приклади
Повідомлено про ряд (10) офіційних пілотних проєктів у Данії, наприклад:

- нова скотобійня, що належить компанії Danish Crown, місто Горсенс, Данія (www.danishcrown.com). Ця скотобійня – найбільша у країнах ЄС-25, і оператор має великий досвід в енергетичному менеджменті, оскільки на це припадала значна частка експлуатаційних витрат. Проте у ході застосування процесу енергоефективного проєктування до початкової проєктної роботи було виявлено можливість додаткових заощаджень протягом життєвого циклу у розмірі понад 30 %;
- новий завод з виробництва готових харчових продуктів, що належить компанії Danpo, село Фарре (Farre), Данія (www.danpo.dk);
- новий завод харчових інгредієнтів, що належить компанії Chr. Hansen, у місцевості Аведьор Холме (Avedøre Holme), Данія (www.chrhansen.com).

Офіційні звіти про ці проєкти (данською мовою) доступні на сайті Управління енергетики Данії (www.ens.dk).

Проєкт стійла для утримання худоби внесений до складу НДТМ, які стосуються енергоефективності, у Довідковому документі з НДТМ для інтенсивного птахівництва та свинарства (IRPP) [173, EIPPCB, 2003].

- новий завод з виробництва картопляного крохмалю в місті Каруп, Karup Kartoffelmelfabrik, Данія (проєкт у рамках програми ЄС LIFE).

У ході проєкту з енергоефективного проєктування, який виконувався сторонніми фахівцями для фармацевтичної компанії в Ірландії, було виявлено можливості для заощадження енергії протягом життєвого циклу у розмірі 64 %. На жаль, процес енергоефективного проєктування був розпочатий надто пізно, щоб можна було реалізувати всі заходи, хоча приблизно половини потенційних заощаджень вдалося досягти.

Довідкова інформація
Організація інженерів-консультантів (FRI) виконала комплексне дослідження з метою розробки методик та керівних принципів у сфері енергоефективного проєктування. Ці матеріали (данською мовою) можна замовити на сайті www.frinet.dk.

У Данській схемі угод описано ряд прикладів із практики, а також методики, яких повинні дотримуватися підприємства в галузях, що є основними споживачами енергії (данською мовою), див. сайт www.end.dk.
[172, Мааге Петерсен (Maagøe Petersen), 2006]

Довідковий документ з НДТМ для інтенсивного птахівництва та свинарства (IRPP), розділ 5.2.4 та розділ 5.3.4.
Посилання на проєкт заводу з виробництва картопляного крохмалю: LIFE04ENV/DK/67
[174, Європейська комісія, 2007] http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/

2.3.1 Вибір технології процесу

Опис
Вибір енергоефективної технології процесу – це ключова складова енергоефективного проєктування, яка заслуговує особливої уваги, оскільки технологію процесу зазвичай можна вибирати лише у випадку нового будівництва або значної модернізації. У багатьох випадках це може бути єдиною можливістю реалізувати найбільш дієві способи заощадження енергії. При цьому рекомендується враховувати технологічні розробки у сфері технологічного процесу, який розглядається (див. розділ 2.1 (k)).

З огляду на труднощі в узагальненні інформації про вибір технологій процесу у всьому розмаїтті секторів, що підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, нижче (у пункті «Приклади») проілюстровано чотири різнорідні галузі.

У цілому існують різні способи змінити технологію процесу:

- змінити наукове підґрунтя технологічного процесу;
- змінити технологічне обладнання;
- змінити як обладнання, так і наукове підґрунтя.

Технологічний процес може складатися з кількох кроків, на яких використовуються різні технології, – наприклад, можуть створюватися проміжні продукти, які потім зазнають подальшої обробки. Один або кілька таких кроків можна змінити при будівництві нової установки чи значній модернізації вже існуючої. Найкращих результатів зазвичай вдається досягти у випадку заміни всього технологічного процесу, оскільки це дає змогу розглянути нові маршрути до отримання кінцевого продукту.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Залежно від технологічного процесу: зміна технологічного процесу може забезпечити значні заощадження енергії, а також може зменшити кількість відходів та/або вміст небезпечної речовини, знизити інші викиди, як-от викиди розчинників, тощо. Див. пункт «Приклади».

Міжсередовищні наслідки
Залежно від технологічного процесу. Див. пункт «Приклади».

Експлуатаційні параметри
Залежно від технологічного процесу. Див. пункт «Приклади».

Застосовність
Залежно від установки. Див. пункт «Приклади».

Економіка
Залежно від технологічного процесу. Див. пункт «Приклади».

Рушій для впровадження
Залежно від технологічного процесу: це може бути, зокрема, зниження витрат, збільшення виходу продукту, покращення якості продукції (наприклад, стереоспецифічність), зменшення кількості побічних продуктів, зменшення токсичності відходів, тощо.

У випадку каталізаторів:

- у деяких випадках – потреба в селективності за продуктом;
- деякі реакції не можуть протікати без каталізатора (хоча термодинамічні розрахунки можуть показувати, що реакція можлива).

Приклади
У Додатку 7.5 розглядаються такі приклади:

1. Використання каталізу у хімічних реакціях. Каталізатори можуть зменшити енергію активації і, залежно від конкретної реакції, можуть знизити кількість теплової енергії, яку необхідно підводити. Каталізатори використовуються вже багато років, проте їх дослідження досі тривають у всіх галузях. На сьогодні велику зацікавленість викликають біотехнологічні підходи (як-от каталіз) та їх роль у виробництві органічних хімічних речовин, фармацевтичних препаратів, біопалива, тощо – див. Додаток 7.5, приклад 1: ферментативне виробництво акриламіду (Mitsubishi Rayon, Японія).
2. Використання систем чорнила або фарби з радіаційним закріпленням замість традиційних систем на основі розчинника – див. Додаток 7.5, приклад 2.
3. Використання регенерації тепла з системами теплої підлоги на тваринницьких фермах зі стійловим утриманням – див. Додаток 7.5, приклад 3.

Ще одним прикладом є новий завод з виробництва картопляного крохмалю в місті Каруп, Karup Kartoffelmelfabrik, Данія (проєкт у рамках програми ЄС LIFE).

Довідкова інформація
[164, Організація економічного співробітництва та розвитку (OECP), 2001, 173, EIPPCB, 2003, 175, Сондерс Р. (Saunders R.), 2006]
Посилання на проєкт заводу з виробництва картопляного крохмалю: LIFE04ENV/DK/67 [174, Європейська комісія, 2007];
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/
[257, Кларк (Clark), 2006]

2.4 Поліпшена технологічна інтеграція

Опис
Інтенсифікація використання енергії та сировини шляхом оптимізації їх сумісного використання кількома технологічними процесами або системами.

Застосування залежить від конкретного об'єкта та технологічного процесу, проте проілюстроване у пункті «Приклади» (нижче).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Досягається одна або кілька з таких вигод:

- поліпшення енергоефективності;
- поліпшення ефективності використання матеріалів, у тому числі сировини, води (наприклад, охолоджувальної води і знесоленої води) та інших засобів інженерного забезпечення;
- зниження викидів у повітря, ґрунт (наприклад, на звалищах) та воду.

Інші вигоди залежать від конкретного об'єкта.

Міжсередовищні наслідки
Немає наслідків, які б вважалися імовірними.

Експлуатаційні параметри
Інформації не надано.

Застосовність
Методика придатна для загального застосування – особливо у тих випадках, коли технологічні процеси вже взаємозалежні. Проте можливості для вдосконалення залежать від конкретного випадку.

Потрібно пам'ятати, що на інтегрованому об'єкті зміни в одній установці можуть вплинути на експлуатаційні параметри інших установок. Це також стосується змін, зумовлених екологічними рушіями.

Рушій для впровадження
- економічні вигоди;
- інші вигоди залежать від конкретного об'єкта.

Економіка
Економічні вигоди за рахунок заощаджень енергії та інших видів сировини залежать від конкретного випадку.

Приклади
1. На заводі Grande Paroisse у місті Руан, Франція, вдалося досягти заощаджень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат на більш ніж 1000 000 євро/рік. На заводі, взятому у якості прикладу (див. Довідковий документ з НДТМ для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництво твердих та інших речовин – LVIC-AAF, розділ 1.4.1), було поліпшено інтеграцію установок з виробництва азотної кислоти та нітрату амонію (нітрат амонію (АН): NH_4NO_3). Було вжито таких заходів:

- газоподібний (перегрітий) аміак (NH_3) – це поширена сировина. Обидві установки можуть використовувати один і той же випарник NH_3, який працює на технологічній парі, що надходить від установки з виробництва нітрату амонію;
- пару низького тиску, яка є в установці з виробництва нітрату амонію, можна використовувати для нагрівання живильної води котла (ЖВК) від 43 до приблизно 100 °C через два теплообмінники;
- після цього гарячу живильну воду котла також можна використовувати для підігрівання остаточних газів установки з виробництва азотної кислоти;
- технологічний конденсат від установки з виробництва нітрату амонію рециркулюється в абсорбційну колону установки з виробництва азотної кислоти.

Це призвело до:

- поліпшення енергоефективності;
- скорочення споживання знесоленої води;
- зменшення інвестицій завдяки використанню спільного випарника аміаку.

2. Новий завод з виробництва картопляного крохмалю в місті Каруп, Karup Kartoffelmelfabrik, Данія (проєкт у рамках програми ЄС LIFE).

Довідкова інформація
[154, Енциклопедія «Колумбія»], [221, Ян В. (Yang W.), 25 травня 2005 року]
Посилання на проєкт заводу з виробництва картопляного крохмалю: LIFE04ENV/DK/67
[174, Європейська комісія, 2007];
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/

2.5 Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності

Опис
Було виявлено кілька проблем, пов’язаних з підтримання рушійної сили та виконання програм, націлених на підвищення енергоефективності. Потрібно знати, чи зберігаються з часом заощадження за рахунок енергоефективності, яких вдалося досягти завдяки впровадженню нової технології або методики. Ніяк не враховуються «відставання від плану», зумовлені неефективною роботою чи технічним обслуговуванням обладнання, тощо.

Виявлено, зокрема, такі проблеми (деякі з методик, за допомогою яких ці проблеми можна подолати, описані в інших розділах, зазначених нижче):

- динаміку стратегій видно в масштабах життєвого циклу, коли стратегії вже добре відпрацьовані. Щоб стратегії залишалися придатними з точки зору цільової аудиторії та методу впливу, їх потрібно переглядати (після того, як пройде достатній час, щоб ефективність стратегій можна було оцінити: цей час може настати через кілька років);

- у деяких сферах показники ефективності можуть досі перебувати на етапі розробки (подробиці труднощів викладені у розділі 1.3.3);
- у випадках, коли не існує належних інструментів обліку, виникають труднощі з керуванням енергоефективністю та її стимулюванням;
- хоча моніторинг енергоефективності обладнання та агрегатів можна здійснювати досить успішно, точні показники енергоефективності для комплексних систем є проблемою: на вимірювання одночасно впливають багато чинників, і існують труднощі з визначенням границі для вимірювання (див. розділи 1.4 та 1.5);
- енергоефективність часто розглядають як постійні витрати або накладні витрати, і часто відносять до іншої статті бюджету (або бюджетного центру), ніж виробництво;
- у рамках стратегії потрібно вживати заходів з її підтримання, щоб гарантувати доречність та належний зміст комунікаційних заходів шляхом оновлення інформації та моніторингу їх впливу. Це може передбачати, зокрема, використання інтерактивних методів комунікації, тощо (див. розділ 2.7);
- забезпечення сталості заощаджень, досягнутих за рахунок енергоефективності, та підтримання належних практик виконання робіт такою мірою, щоб вони стали невід'ємною частиною культури (установки);
- «застійність» з точки зору управління несприятливо впливає на ентузіазм, з яким поширюються ідеї (також див. розділи 2.6 та 2.7);
- навчання та постійний розвиток на всіх рівнях кадрової ієрархії (також див. розділ 2.6);
- технологічні розробки (див. розділи 2.2.1, 2.2.2, 2.3, тощо).

Програми з підвищення енергоефективності можна додатково стимулювати за допомогою таких методик:

- впровадження спеціальної системи керування енергоефективністю (див. розділ 2.1);
- облік споживання енергії на базі реальних значень (показів лічильників), а не розрахункових значень чи фіксованих часток від споживання по всьому об'єкту. Такий підхід як покладає відповідальність за енергоефективність на користувача / платника за рахунками, так і надає йому пільги за енергоефективність (див. розділи 2.10.3 та 2.15.2);
- створення центру прибутку від енергоефективності у компанії (у вигляді команди або бюджетного центру), щоб інвестиції та заощадження енергії (або зниження витрат на енергію) враховувалися в одному й тому ж бюджеті, і особи, відповідальні за енергоефективність, могли продемонструвати вищому керівництву, що вони можуть створити прибутки для компанії. Інвестиції в енергоефективність можна відобразити як еквівалент додаткових продаж випущених товарів (див. пункт «Приклади» нижче);
- свіжий погляд на існуючі системи – наприклад, застосування «високих стандартів господарської діяльності» (описано у пункті «Приклади» нижче);
- нагородження за результати застосування передових практик або НДТМ;
- застосування методик управління змінами (це також риса «високих стандартів господарської діяльності»). Для людини природно чинити опір змінам, якщо тільки особа, яка впроваджує зміну, не бачить від неї вигоди. Розрахунок вигод від можливостей (в оперативному або автономному режимі – наприклад, гіпотетичні сценарії), надійність яких можна продемонструвати, та їх ефективне доведення до відома працівників може допомогти мотивувати їх на необхідну зміну (зміни). Приклад надання даних наведено у розділі 2.15.2.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Високі стандарти господарської діяльності: підтримання або посилення рушійної сили програм з підвищення енергоефективності. Оскільки цей підхід комплексний, він також покращує вжиття інших заходів з охорони навколишнього середовища.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
Див. пункти «Опис» та «Приклади».

Застосовність
Методики, можливість застосування яких слід розглянути, залежать від типу та розміру установки. Наприклад:

- система керування енергоефективністю (ENEMS) підходить для всіх випадків (див. розділ 2.1), хоча, знову ж таки, її складність пропорційна розміру та типу об'єкта;
- належне навчання можна організувати для всіх типів установок (див. розділ 2.6);
- витрати на незалежні консультації за програмами з підвищення енергоефективності, особливо для малого та середнього бізнесу, у країнах-членах ЄС можуть бути компенсовані субсидіями від державних органів (див. розділ 2.6);
- високі стандарти господарської діяльності успішно застосовуються у великих розподілених компаніях;
- принципи системи керування енергоефективністю та високих стандартів господарської діяльності широко застосовуються.

Націленість на енергоефективність у надто вузькому масштабі може порушувати ефективність об'єкта і призводити до недостатньої оптимізації (наприклад – у контексті перелічених вище методик – безпосереднє вимірювання показників для кожного споживача).

Економіка
- Див. пункт «Приклади». Стосовно системи керування енергоефективністю (ENEMS) див. розділ 2.1.
- У випадку високих стандартів господарської діяльності – зменшення капіталовкладень, отримання від них значного доходу.

Рушій для впровадження
Зменшення витрат. Оскільки цей підхід комплексний, він також покращує вжиття інших заходів із керування виробництвом, а це призводить до зменшення кількості відходів, скорочення тривалості циклу, тощо.

Приклади
Високі стандарти господарської діяльності
Високі стандарти господарської діяльності (також відомі як OpX – operational excellence) – це комплексний підхід до систематичного керування безпекою, охороною праці, охороною навколишнього середовища, надійністю та ефективністю. Він поєднує в собі методики керування операційною діяльністю, як-от ощадливе виробництво і методика «шести сигм», та управління змінами, оптимізуючи те, як люди, обладнання і технологічні процеси функціонують разом. З ним пов'язані такі формулювання, як «стан або умова високого рівня операційної діяльності та здійснення господарської діяльності» та «досягнення показників світового рівня».

Цей підхід полягає у постійному вдосконаленні критичних процесів господарської діяльності і зосереджується на зменшенні кількості відходів та скороченні тривалості циклу за допомогою сукупності методик, таких як методика 5S, захист від помилок, розгортання функції якості (QFD), розробка продукції відповідно до принципів сталого розвитку (SPD), тощо.

Вживаються заходи, визначені у системі керування енергоефективністю (див. розділ 2.1), з акцентом на такі моменти:

- визначення передових практик (цілей, яких намагаються досягти команди, що здійснюють господарську діяльність, виконуючи певний процес на певному рівні досконалості);
- детальний опис кожної передової практики у господарській діяльності (включно зі змінами та вдосконаленнями);
- визначення метрик, потрібних для вимірювання рівнів ефективності господарської діяльності;
- ключові навички, які повинен мати експлуатаційний персонал, щоб бути здатним виконувати процес.

Основними особливостями є задіяння штатних фахівців, у тому числі з інших підрозділів (або асоційованих підприємств), які об'єднуються в ситуативні команди для визначення найкращих робочих практик, робота з персоналом в інших, не оптимізованих, підрозділах, тощо.

Приклади для системи керування енергоефективністю наведені в Додатку 7.4.

Створення бюджетного центру або центру прибутку для енергоефективності
Приклад відображення енергоефективності у якості центру прибутку в компанії показав, що дообладнання великого насоса частотно-регульованим приводом (VSD) еквівалентне збільшенню обсягу продажів на 11 %.

Довідкова інформація
[176, Боден М. (Boden M.), 2007, 177, Бікок (Beacock), 2007, 227, ТРГ]

2.6 Підтримання кваліфікації: кадрові ресурси

Опис
Цей чинник визначений у розділах 2.1 (d) (i) та (ii). Чисельність кваліфікованих кадрів за останні десятиріччя зменшилася практично на всіх європейських установках. Тому може бути необхідно, щоб існуючий персонал виконував кілька справ одночасно і знався на цілому ряді завдань та обладнання. Хоча цього може бути достатньо для здійснення штатної господарської діяльності і підтримання експертних знань у деяких сферах, з часом це може призвести до збіднення спеціалізованих знань про окремі системи (наприклад, системи стисненого повітря) або з певних спеціальностей, як-от енергетичний менеджмент, і скорочення кадрових ресурсів, які здатні виконувати нештатну роботу, як-от енергетичні аудити та дослідження у рамках подальшого контролю.

Було встановлено, що важливим чинником у реалізації програм з підвищення енергоефективності та закладенні енергоефективності в корпоративну культуру є навчальна робота, яка передбачає, зокрема, таке:

- більш високорівневі і професійні освітні програми;
- можливості для навчання конкретним навичкам та у різних професійних сферах, а також можливості для ситуативного навчання, що охоплює різні професійні, управлінські, адміністративні та технічні сфери;
- постійне вдосконалення у сфері енергетичного менеджменту: про енергоефективність повинен бути обізнаний весь керівний персонал, а не лише залучені енергоменеджери.

«Застійність» з точки зору управління також несприятливо впливає на ентузіазм, з яким поширюються ідеї про енергоефективність, тож через механізми людських ресурсів можна впроваджувати позитивні зміни. Це може бути ротація, відрядження, підвищення кваліфікації, тощо.

Для заощадження енергії операторам можуть знадобитися додаткові ресурси з точки зору як чисельності персоналу, так і навичок.

Цього можна досягти за допомогою одного чи кількох із ряду заходів, як-от:

- наймання та/або підготовка постійного персоналу;
- періодичне виведення персоналу з роботи для виконання строкових / спеціальних досліджень (на установці, де вони до цього працювали, або на інших установках – див. пункт «Приклади» нижче та розділ 2.5);
- спільне використання внутрішніх ресурсів підприємства різними об'єктами (див. пункт «Приклади» нижче та розділ 2.5);
- залучення консультантів з належною кваліфікацією для виконання строкових досліджень;
- аутсорсинг спеціалізованих систем та/або функцій (див. розділ 7.12).

Навчання може проводитися штатним персоналом, сторонніми фахівцями, у вигляді короткотермінових професійних курсів або самоосвіти чи саморозвитку (коли особа самостійно підтримує і розвиває свої професійні навички). Великий об'єм інформації доступний у країнах-членах ЄС на національному та місцевому рівнях, а також в Інтернеті (див., наприклад, посилання на вебсторінки і літературу у цьому документі та ресурси для електронного навчання нижче). Дані у різних секторах також надаються відповідними торговими організаціями, професійними організаціями або іншими організаціями країн-членів ЄС: наприклад, інформацію стосовно енергоефективності у галузі інтенсивного тваринництва можна отримати в міністерстві сільського господарства.

Електронне навчання з питань енергетичного менеджменту та енергоефективності у промисловому секторі все ще перебуває на етапі розвитку. У світі є кілька існуючих і діючих сайтів, на яких доступне детальне керівництво з таких питань, як енергетичний менеджмент, енергоефективність, передові практики, енергетичні аудити, енергетичний бенчмаркінг та листи контрольних питань. Ці сайти, як правило, можуть пропонувати навчання на одну або кілька з цих тем або можуть бути орієнтовані на непромислових користувачів (наприклад, комерція, малий та середній бізнес, домовласники). Часто зустрічаються дані на спеціалізовані теми (наприклад, пара, змінний струм низької напруги, інтенсивне свинарство), тому є сенс шукати їх, а не загальні настанови чи навчальні матеріали з заощадження енергії або енергоефективності.

Навчальний курс, за яким надається кваліфікація EUREM (європейський енергоменеджер, виробництво), – це проєкт, реалізований у рамках програми SAVE; після успішного пілотного проєкту цей проєкт було розширено.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Дає змогу забезпечити енергоефективність.

Міжсередовищні наслідки
Не виявлено.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Можна застосовувати на всіх об'єктах. Обсяг і тип навчання залежить від типу галузі та розміру і складності установки – зокрема, існують варіанти, які підійдуть для невеликих установок. Варто зазначити, що додаткові ресурси виявилися корисними навіть для тих об'єктів, на яких було досягнуто високих рівнів енергоефективності (див. розділ 2.5).

Економіка
Витрати на додатковий персонал або консультантів. У деяких країнах-членах ЄС діють ініціативи зі стимулювання заощадження енергії, у рамках яких надаються субсидії на незалежні консультації та/або дослідження на тему енергоефективності (див. Додаток 7.13), особливо для малого та середнього бізнесу. Див. проєкт EUREM у пункті «Приклади» нижче.

Рушій для впровадження
Нереалізовані можливості для зниження витрат, навіть в ефективних організаціях.

Приклади
Існує багато прикладів залучення сторонніх експертів у якості доповнення до внутрішніх ресурсів – див. приклади у пункті «Довідкова інформація», як-от лікарня Atrium, місто Херлен, Нідерланди, компанія Honeywell (див. Додаток 7.7.2).

У рамках пілотного проєкту з підготовки європейських енергоменеджерів (EUREM) було підготовлено 54 учасників у чотирьох країнах (Німеччина, Австрія, Велика Британія та Португалія). Курс складався з приблизно 140 годин уроків, а також близько 60 годин самоосвіти по Інтернету та шляхом виконання техніко-економічного обґрунтування. У Німеччині (Нюрнберг) курс складався з 6 місяців навчання (по п'ятницях та суботах кожні 2 або 3 тижні) та 3 – 4 місяців роботи над проєктом. Вартість залежить від країни та наявних ресурсів: близько 2100 євро у Німеччина та 2300 євро в Австрії. (Дані наведені станом на 2005 – 2006 роки). Досягнення у сфері енергоефективності завдяки цьому проєкту наведені у Таблиці 2.4.

Досягнення	Заплановано	Досягнуто
Заощадження енергії на одного учасника	400 МВт·год./рік	1280 МВт·год./рік
Заощадження коштів на одного учасника	16000 євро/рік	73286 євро/рік
Середній період окупності (необхідних інвестицій)	-	3,8 року
Середній дохід від інвестиції (тобто безпосередньої вартості курсу, з розрахунку на 230 робочих днів/рік)		у 33 рази перевищує витрати на навчання (7 робочих днів)

Таблиця 2.4. Пілотний проєкт EUREM: заощадження на одного учасника

Електронне навчання
Ось кілька прикладів безкоштовних ресурсів:

- Спільна програма Управління з охорони довкілля (EPA) та Міністерства енергетики (DOE) США:
  - http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus internet presentations
- Ресурси Великої Британії:
  - http://www.create.org.uk/

Інші ресурси платні і можуть частково фінансуватися національними органами, наприклад:

- http://www.greenmatters.org.uk/
- http://www.etctr.com/eetp/home.htm

Довідкова інформація
[161, SEI, 2006, 176, Боден, М., 2007, 179, Стейнс (Stijns), 2005, 180, Анкірхнер (Ankirchner), 2007, 188,
Вуглецевий фонд (Carbon_Trust) – Велика Британія, 2005, 227, ТРГ], [261, Вуглецевий фонд – Велика Британія, 2005], на сайті
http://www.thepigsite.com/articles/5/housing-and-environment/1408/energy-use-in-pig-farming

2.7 Комунікація

Опис
Комунікація – це важливий інструмент у мотивуванні, який сучасні компанії можуть використовувати, щоб посприяти реалізації багатьох різноманітних завдань. Важливо інформувати персонал про енергоефективність і систематично підтримувати, заохочувати і мотивувати їх робити внесок в енергоефективність шляхом збереження енергії, уникнення її зайвого споживання, ефективної роботи (див. розділи 2.5 та 2.6). Належні практики виконання робіт забезпечують ефективний двосторонній внутрішній обмін інформацією про зусилля, докладені з метою досягнення енергоефективності, і повинні давати персоналу змогу висловлювати рекомендації та спостереження, тощо, аби персонал міг таким чином посприяти досягненню енергоефективності.

Комунікація повинна надавати персоналу зворотний зв'язок про робочі показники компанії (та/або їх окремого підрозділу) і повинна використовуватися у позитивному ключі для відзначення заслуг тих, хто досягає хороших результатів. Добре налагоджена комунікація забезпечує потік інформації про цілі / цілеспрямовану політику, а також про досягнуті результати.

Засоби комунікації можуть бути різними – наприклад, інформаційні листи, газети, бюлетені, плакати, брифінги для команд, спеціальні наради на тему енергії, тощо. Вони також можуть передбачати використання існуючих комунікаційних каналів компанії для передавання даних про ефективність. Ці дані повинні містити значення питомої витрати енергії (добові, тижневі, місячні та/або річні) у вигляді їх зміни з часом або у зіставленні з важливими застосовними параметрами, як-от темп виробництва або погодні умови (див. розділи 1.4 та 1.51). У звітах, які періодично публікуються, їх можна поєднувати з історіями успіху. Чудовим способом представлення інформації є графічні матеріали, у тому числі різні графіки, які відображають досягнення у сфері енергоефективності з часом або шляхом порівняння різних підрозділів у межах компанії чи між об'єктами, тощо (див., наприклад, розділ 2.2.1).

Велике значення має комунікація не лише між керівництвом (яке прагне досягти цілей) та персоналом, який працює над їх досягненням, а й між різними рівноправними групами фахівців у межах компанії – наприклад, відповідальними за енергетичний менеджмент, за проєктування, експлуатацію, планування та фінанси (див. розділ 2.2.1). У розділі 2.7.1 наведено приклад корисної методики демонстрації потоків енергії.

Комунікація також використовується для заохочення до обміну інформацією з іншими компаніями, обміну ідеями щодо передових технологій та передавання історій успіху від однієї компанії до іншої, тощо.

Комунікація та мотивування можуть передбачати:

- залучення всього персоналу в окремій компанії;
- залучення кількох компаній з одного сектору (або різних підрозділів у межах однієї компанії) у робочу групу (налагодження зв'язків у сфері енергетики) для обміну досвідом, який виявився корисним. Енергетичний менеджмент у всіх компаніях повинен бути реалізований на однаковому рівні. Налагодження зв'язків особливо корисне у випадках, коли потрібно подолати типові труднощі, як-от впровадження визначення певного показника енергоефективності або налагодження системи енергетичного моніторингу. Налагодження зв'язків також може привносити у справу енергоефективності елемент змагання і створювати платформу для переговорів з потенційними постачальниками енергоефективного обладнання або послуг;
- чітке відзначення позитивних ефектів – наприклад, нагородження за передові практики, інновації та найкращі досягнення.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Сприяє енергоефективності.

Міжсередовищні наслідки
Немає наслідків, які б вважалися імовірними.

Експлуатаційні параметри
У багатьох організаціях присутній великий потік інформації з багатьох різних сфер – наприклад, щодо охорони здоров'я та техніки безпеки, ефективності виробництва, робочих практик, фінансових показників. Багато працівників скаржаться на «перевантаженість інформацією». Тому комунікація повинна бути дієвою та актуальною. У методики комунікації може бути потрібно періодично вносити зміни, а дані (як-от плакати) потрібно оновлювати.

Застосовність
Комунікацію можна застосовувати для всіх установок. Тип і складність різняться залежно від об'єкта – наприклад, для невеликої установки можуть підійти особисті брифінги з представленням даних, а великі організації часто випускають власні газети.

Економіка
Залежно від складності підходу та існуючих каналів. Може коштувати дешево, і заходи, які забезпечують участь персоналу в реалізації енергоефективності, можуть добре окупатися.

Рушій для впровадження
Допомагає доносити дані про енергоефективність і гарантувати заощадження коштів, тощо.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[249, ТРГ, 2007]

2.7.1 Діаграми Сенкі

Опис
Діаграми Сенкі – це спеціальний тип блок-схем, на яких ширина зображених стрілок пропорційна величині потоку. Вони слугують графічним відображенням потоків, таких як переноси енергії чи матеріалу, у технологічних системах або між технологічними процесами.

Вони наочно пояснюють дані про потоки енергії та маси (а також можуть використовуватися для відображення даних про фінансові потоки) і корисні, зокрема, у випадках, коли потрібно швидко донести дані – особливо при взаємодії персоналу з різною професійною підготовкою.

Діаграми Сенкі допомагають інформувати та мотивувати персонал (див. розділ 2.1) і підтримують рушійну силу ініціатив з підвищення енергоефективності (розділ 2.5).

Існує недороге програмне забезпечення, яке може полегшити побудову діаграм за даними з різних джерел, як-от електронні таблиці.

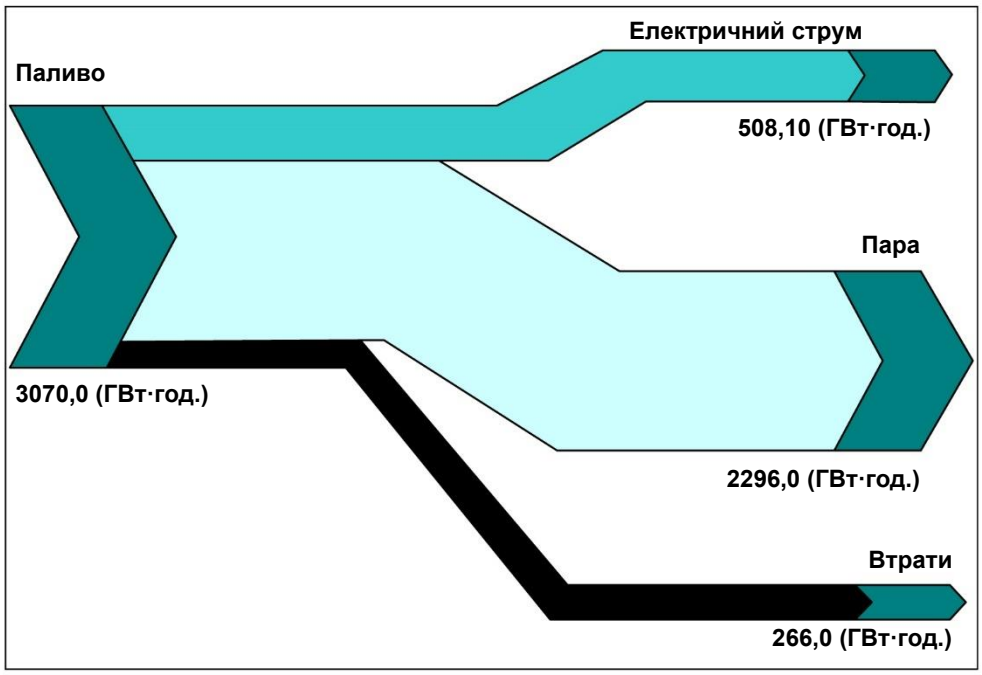


Рисунок 2.7. Діаграма Сенкі: паливо і втрати на типовому заводі
[186, Федеральне агентство Австрії з охорони навколишнього середовища (UBA AT)]

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Збільшує ефективність донесення інформації на теми, пов’язані з енергоефективністю.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис».

Застосовність
Усі установки, для яких потрібно демонструвати потоки енергії.

Економіка
Низька вартість.

Рушій для впровадження
Допомагає доносити дані про енергоефективність.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
Безкоштовний інструмент для створення діаграм Сенкі з таблиць MS Excel™ доступний на сайті: http://www.doka.ch/sankey.htm
[127, ТРГ, 153, Вікіпедія, 186, Федеральне агентство Австрії з охорони навколишнього середовища]

2.8 Ефективне керування технологічними процесами

2.8.1 Системи керування технологічними процесами

Опис
Необхідною передумовою ефективного енергетичного менеджменту є належна система керування технологічними процесами та засобами інженерного забезпечення. Система керування – це складова загального моніторингу (див. розділи 2.10 та 2.15).

Автоматизація виробничого об'єкта полягає у проєктуванні та побудові системи керування, яка повинна мати датчики, контрольно-вимірювальна прилади, комп'ютери та застосунок для обробки даних. Загальновизнано, що автоматизація виробничих процесів важлива не лише для покращення якості продукту та безпечності робочих місць, а й для підвищення ефективності самого технологічного процесу та з точки зору сприяння енергоефективності.

Ефективне керування технологічними процесами передбачає, зокрема:

- належне керування технологічними процесами у всіх режимах роботи, тобто під час підготовки, пуску, штатної експлуатації, зупинки та в аномальних умовах;
- визначення ключових робочих показників та методів вимірювання і контролю цих параметрів (наприклад, витрати, тиску, температури, складу та кількості);
- документування та аналіз аномальних умов експлуатації з метою виявлення корінних причин та їх наступного усунення для виключення повторного виникнення цих подій (цього можна досягти, впровадивши політику відмови від пошуку винних, у якій визначення причин є більш важливим, ніж пошук винної особи).

<u>Планування</u>
При проєктуванні системи керування враховуються кілька чинників. У ході початкового аналізу певної технологічної системи можуть бути виявлені існуючі обмеження, що накладаються на ефективність технологічного процесу, а також альтернативні підходи, за допомогою яких можна досягти аналогічних або кращих робочих результатів.

Крім того, необхідно визначити рівні робочих показників, що характеризують якість продукції, дотримання нормативних вимог та безпеку на робочому місці. Система керування повинна бути надійною і зручною для користувача, тобто простою в експлуатації та технічному обслуговуванні.

При проєктуванні системи керування також необхідно враховувати такі чинники, як управління даними та обробка даних.

У системі керування слід віднайти баланс між потребою у точності, стабільності та гнучкості, які необхідні для підвищення загальної ефективності виробничого процесу, та потребою контролювати собівартість виробництва.

Якщо параметри системи керування продумані, виробнича лінія буде працювати без проблем. Якщо параметри задані недостатньо детально або, навпаки, надто жорстко, це неминуче призведе до збільшення експлуатаційних витрат та/або затримок у виробництві.

Щоб оптимізувати роботу технологічної системи:

- параметри, що надаються для системи керування на кожному кроці технологічного процесу, повинні бути точними і повними; при цьому потрібно прослідкувати, щоб вхідні допуски були реалістичними;
- інженер, відповідальний за проєктування системи керування, повинен знати весь технологічний процес і бути здатним взаємодіяти з виробником обладнання;
- необхідно знайти компроміс, тобто дізнатися, потрібно реалізовувати складну технологію керування технологічним процесом чи буде достатньо простого рішення.

Сучасні системи керування технологічними процесами базуються на наборі технологій, які можна використовувати для покращення показників технологічного процесу, у тому числі енергоефективності. До цих технологій належать:

- звичайні засоби керування та засоби керування з розширеними можливостями;
- технології оптимізації, планування розкладів та управління робочими показниками.

У звичайні засоби керування інтегровано такі можливості:

- пропорційно-інтегрально-диференційне (ПІД) регулювання;
- компенсація часу запізнення; та
- каскадне регулювання.

У засоби керування з розширеними можливостями інтегровано:

- прогнозне керування на базі моделей (MBPC);
- адаптивне керування;
- нечітке керування.

У технології управління робочими показниками інтегровано (див. розділ 2.8):

- моніторинг та встановлення цільових показників;
- статистичне керування процесом;
- експертні системи.

Технології управління робочими показниками можна використовувати для демонстрації покращення робочих показників, досягнення цільових показників та дотримання екологічних норм, у тому числі вимог дозволів у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень.

Програмований логічний контролер (ПЛК) – це мозок системи керування. Це невеликий промисловий комп’ютер, який надійно працює у середовищі виробничого об’єкта. Складовими блоками системи керування є різноманітні датчики, інтелектуальні клапани, програмовані логічні контролери та централізовані системи диспетчерського керування і збору даних (SCADA).

Далі ці компоненти під’єднуються до системи виробничого процесу, даючи змогу з високою точністю виконувати кожну функцію цієї системи. Автоматизація – інтеграція системи керування у технологічну систему – ефективно зменшує обсяг трудових ресурсів, задіяних в експлуатації цього складного обладнання, і забезпечує надійну та стабільну роботу.

ПЛК перевіряє цифрові та аналогові датчики і вимикачі (вхідні сигнали), читає програму керування, виконує математичні розрахунки і зрештою керує різним апаратним забезпеченням (за допомогою вихідних сигналів), таким як клапани, фотоелектричні реле та сервоприводи – і все це в межах мілісекунд.

ПЛК здатний обмінюватися інформацією з операторськими інтерфейсами, як-от графічний інтерфейс (ГІ) та системи SCADA у заводському цеху. Обмін даними на рівні економічної діяльності об'єкта (інформаційні послуги, облік та планування розкладів) зазвичай потребує взаємодії з окремим пакетом SCADA.

Обробка даних

Експлуатаційні дані збирає і обробляє інфраструктура, яка зазвичай об'єднує в собі датчики і контрольно-вимірювальні прилади, встановлені на заводі, та виконавчі елементи, як-от клапани, а також містить програмовані логічні контролери, системи SCADA та розподілені системи керування. Разом усі ці системи здатні надавати іншим обчислювальним системам та операторам / інженерам актуальні і корисні дані.

Системи диспетчерського керування та збору даних дають інженеру-проєктувальнику змогу реалізувати можливості збору та архівування даних у конкретній системі керування. Крім того, система SCADA підтримує впровадження складніших форм керування – наприклад, статистичних процесів (див. розділ 2.8.2).

Система SCADA стала невід'ємною частиною проєктів систем керування, слугуючи «вікном у реальному часі», через яке користувач може спостерігати за технологічним процесом. Систему SCADA також можна спроєктувати таким чином, щоб користувач у віддаленому місці мав такий же доступ до певного процесу, як і оператор, який буквально «стоїть перед обладнанням».

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зниження витрат на енергію та впливу на навколишнє середовище.

Міжсередовищні наслідки

Для очищення використовуються невеликі кількості хімічних речовин; можлива втрата тиску у вимірювальних пристроях (див. розділ 2.10.4).

Експлуатаційні параметри

Див. пункт «Опис» вище.

Очищення вимірювальних пристроїв

Важливість засобів керування (та їх точності), які широко застосовуються в переробних галузях промисловості та інтегруються в технологічні системи, важко переоцінити. Існує велике розмаїття контрольно-вимірювальної апаратури, вимірювальних пристроїв та датчиків – наприклад, резистори, опір яких залежить від температури, детектори pH, вимірювачі електропровідності, витратоміри, таймери, датчики рівня та пристрої сигналізації – які контактують з текучими середовищами (рідинами та газами), які використовуються у технологічному процесі, і які потрібно регулярно очищати, щоб вони працювали ефективно і точно. Це може здійснюватися вручну, згідно з графіком технічного обслуговування, або за допомогою автоматичних систем очищення на місці (CIP).

Повністю автоматизована система керування повинна підтримувати змінну тривалість циклів промивання і зливання та рециркуляції різних очисних розчинів. Система також повинна забезпечувати можливість зміни температур, витрат, складу та концентрації очисних розчинів.

Головний блок керування зазвичай виконаний на базі ПЛК, часто у вигляді кількох панелей для робочих станцій оператора та для клапанів і кінцевих пристроїв увімкнення / вимкнення. Величезне значення для системи керування технологічними процесами має контроль або зведення до мінімуму гідравлічних ударів – поширеної проблеми в установках очищення на місці, яка може скоротити експлуатаційний ресурс установки.

Для очищення клапанів, манжетних ущільнень, ущільнювальних кілець та сідел клапанів потрібна правильна послідовність роботи або «пульсація».

Застосовність
Системи керування технологічними процесами можна застосовувати у всіх галузях, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень. Вони можуть варіюватися від таймерів, регуляторів температури, регуляторів подавання сировини (наприклад, на невеликих фермах, що займаються інтенсивним тваринництвом) до складних систем, наприклад, у харчовій, хімічній, гірничодобувній та паперовій промисловості.

Економіка
Ситуаційні дослідження показали, що вигод можна досягти з мінімальними витратами. Для цих систем характерні періоди окупності в один рік або менше – особливо на об’єктах, де вже присутня сучасна інфраструктура керування та моніторингу, тобто розподілена система керування (DCS) або система диспетчерського керування та збору даних (SCADA). У деяких випадках спостерігалися періоди окупності у кілька місяців або навіть тижнів.

Рушій для впровадження
Підвищення продуктивності виробництва, покращення безпеки, зменшення обсягу технічного обслуговування / подовження терміну служби установки, вища і більш стабільна якість та зменшення потреби у робочій силі.

Зниження виробничих витрат та швидке повернення інвестицій (як згадується вище), якого вдалося досягти на кількох установках, суттєво посприяло впровадженню цих процесів на інших установках.

Приклади заводів
Широко застосовується – наприклад, у перелічених нижче галузях:

- харчова, питна та молочна промисловість: British Sugar, Joshua Tetley, місто Іпсвіч, Велика Британія;
- хімічна промисловість: BP Chemicals, місто Галл, Велика Британія; ICI Chemicals and Polymers, місто Мідлсбро, Велика Британія;
- чорна металургія: Corus, місто Порт-Толбот, Велика Британія;
- виробництво цементу та вапна: Blue Circle, місто Вестбері (Westbury), Велика Британія;
- паперова промисловість: Stora Enso Langerbrugge N.V., місто Гент, Бельгія; SCA Hygiene Products GmbH, місто Маннгейм, Німеччина; SCA Hygiene Products GmbH, місто Перніц, Австрія;
- спалювання в киплячому шарі: Rovaniemi Energy, Rovaniemi and Alholmens Kraft, місто Пієтарсаарі, Фінляндія; E.ON, селище Кемслі (Kemsley), Велика Британія.

Довідкова інформація
[36, Енергетичне агентство Португалії (ADENE), 2005] [261, Вуглецевий фонд – Велика Британія, 2005]

2.8.2 Системи керування якістю (контролю, забезпечення якості)

Опис

Коли продукт списується у брухт або переробляється, енергія, використана у початковому процесі його виробництва, втрачається (як і сировина, трудові ресурси, виробнича потужність та інші ресурси). Під час переробки енергія (як і інші ресурси) може споживатися непропорційно більшою мірою, ніж у початковому процесі виробництва. Дієве керування технологічним процесом збільшує кількість продукту (продуктів), що відповідає технічним вимогам виробництва / замовників, і зменшує кількість марно втраченої енергії.

Для установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, характерні великі масштаби виробництва та/або великі об'єми випуску. Для подальшого використання продукти, як правило, повинні відповідати технічним вимогам. Для забезпечення такої відповідності було розроблено системи забезпечення якості (QA), які зазвичай базуються на підході «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів» – PDCS (див. розділ 2.1).

Початково ці системи базувалися на випробуванні продуктів і прийманні чи відбракуванні, переробці та списанні у брухт продуктів, які вже пройшли весь процес виробництва. Були розроблені (у 1940-х роках і пізніше) статистичні методи для підведення статистичної бази під вибірковий контроль та випробування з метою забезпечення певного рівня відповідності стандартам – наприклад, 95 %, 3,4 відмови на мільйон у методиці шести сигм.

Було виявлено, що виготовлений продукт має відхилення, і на це відхилення впливають різні параметри технологічного процесу. Було розроблено статистичне керування процесом (SPC): воно застосовується для керуванням кожним параметром, і кінцевим результатом є, як правило, краще контрольований продукт. Статистичне керування процесом може бути дуже економічно ефективним, оскільки для цього зазвичай потрібно зібрати та відобразити на графіку вже наявні дані, оцінити відхилення технологічного процесу і вжити заходів з усунення порушень для підтримання процесу в межах попередньо визначених параметрів керування (таких як температура, тиск, хімічна концентрація, колір, тощо).

Водночас були розроблені підходи до якості в масштабах компанії (системи керування якістю – QMS). Їх можна визначити як набір політик, процесів та процедур, необхідних для планування та виконання діяльності (виробництва / розробки / надання послуги) в основному напрямку господарської діяльності організації. Система керування якістю об'єднує різні внутрішні процеси в організації і покликана забезпечити процесо-орієнтований підхід до виконання проєктів. Система керування якістю дає організаціям змогу визначати, вимірювати, контролювати і вдосконалювати різні процеси основної господарської діяльності, що зрештою призводить до покращення ефективності господарської діяльності. Моделі для забезпечення якості на сьогодні встановлені міжнародними стандартами серії ISO 9000 та встановленими технічними умовами на системи контролю якості. На базі тих же системних підходів розроблено системи керування навколишнім середовищем та енергетичного менеджменту (див. розділ 2.1).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зменшення обсягу браку та/або переробок, які є марною втратою початково підведеної енергії і можуть потребувати підведення більшої кількості енергії для переробки (або давати менший вихід з партії).

Міжсередовищні наслідки

Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис» вище.

При впровадженні нових практик і методик контролю якості часто залучають консультантів та/або підрядників, оскільки в самій організації може не бути відповідного спектру навичок та досвіду. Крім того, у випадках, коли нові ініціативи та вдосконалення потрібні, щоб підкріпити існуючу систему контролю якості або, можливо, вдосконалити існуючі виробничі системи, можна, як варіант, виділити ресурси на тимчасових консультантів.

Висловлюються такі аргументи за і проти систем керування:

- вимірювати потрібно ті параметри, які мають значення для досягнення необхідної якості процесу чи продукту, а не лише ті, які легко виміряти;
- статистичні методи, як-от шість сигм, ефективні у тому, для чого вони призначені, проте вони вузькоспеціалізовані: вони покликані фіксувати існуючий процес і не допомагають розробляти нові продукти або революційні технології. Визначення шести сигм також базується на довільних стандартах (приблизно дорівнює 3,4 дефекту на мільйон одиниць): це може добре працювати для певних продуктів / процесів, але не підходити для інших;
- ці підходи набувають популярності в управлінських колах, а потім її втрачають, з життєвим циклом у формі нормального розподілу (див., наприклад, кола якості, які розглядаються у пункті «Приклади» нижче);
- термін «загальне управління якістю» (TQM) означав позитивний ефект незалежно від того, що під ними мали на увазі керівники. Проте він втратив це позитивне значення і в деяких випадках набув негативних асоціацій. Незважаючи на це, концепції управління, як-от загальне управління якістю та реінжиніринг залишають свої сліди без явного вживання їх назв, оскільки їх основні ідеї можуть бути цінними;
- втрата інтересу до таких систем / відчуття їх провальності може бути викликане тим, що системи, подібні до ISO 9000, стимулюють встановлення технічних вимог, контроль та процедури, а не розуміння та вдосконалення, і тому компанії можуть помилково думати, що сертифікація означає кращу якість. Це може знеохотити організацію встановлювати свої власні стандарти якості. У цілому сліпе слідування технічним вимогам ISO 9000 не гарантує, що система контролю якості буде успішною. Застосування стандарту з більшою ймовірністю призведе до невдачі, якщо компанія зацікавлена у сертифікації більше, ніж у якості. Через це виникає ризик, що система буде створена лише на папері і не змінюватиме організацію на краще;
- сертифікацію незалежним аудитором часто вважають проблемною сферою і критикують як знаряддя збільшення продаж консультаційних послуг. Сама Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) підказує, що стандарт ISO 9000 можна впровадити без сертифікації – просто для отримання вигод з точки зору якості.

Застосовність
Керування якістю можна застосовувати у всіх переробних галузях промисловості, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень. Тип системи та рівень складності застосованих систем керування якістю залежить від окремої операції і може бути вимогою клієнта.

Економіка
Формальні системи, як-от ISO 9000, нерідко критикують за кількість коштів, часу та канцелярської роботи, потрібну для реєстрації. Супротивники стверджують, що це може пригодитися лише для документації. Прихильники вважають, що, якщо компанія вже задокументувала свої системи контролю якості, більшість канцелярської роботи вже зроблена.

Рушій для впровадження
Загальновизнано, що належне керування якістю покращує господарську діяльність, часто сприятливо впливаючи на інвестиції, ринкову частку, ріст продажів, рентабельність продажів, конкурентну перевагу та уникнення судових суперечок.

Приклади
Див. Додаток 7.4.

Техніка автоматичного керування процесами (Prozessleittechnik, Bayer AG, Німеччина, 1980 рік) була розроблена як робоча назва, яка охоплювала групи з проєктування вимірювальних систем, техніки автоматичного регулювання та електротехнічного проєктування. Це статистично-інженерна дисципліна, пов'язана з архітектурами, механізмами та алгоритмами для керування результатом конкретного процесу.

Серед нещодавніх розробок:

- готовність з першого разу;
- шість сигм: методика, за якою ймовірність неочікуваної відмови не перевищує шість середньоквадратичних відхилень (де сигма – це середньоквадратичне відхилення, яке дорівнює 3,4 дефекту на мільйон);
- аналіз вимірювальних систем (MSA);
- аналіз характеру і наслідків відмов (FMEA);
- перспективне планування якості продукції (APQP);
- загальне керування якістю (TQM).

Серед інших інструментів, що використовуються у статистичному керуванні процесом (SPC) – діаграми причинно-наслідкових зв'язків, контрольні листи, контрольні карти, гістограми, діаграми Парето, діаграми пилкоподібної динаміки та стратифікація.

Ще одним підходом (який можна поєднувати зі згаданими вище) є кола якості. Це невеликі групи працівників з однієї робочої сфери, які добровільно зустрічаються з певною періодичністю для виявлення, аналізу та вирішення проблем, пов'язаних з роботою. Перевагою кіл якості є їх постійність: коло залишається незмінним від проєкту до проєкту. Кола якості набули вжитку у Японії та в інноваційних скандинавських компаніях, хоча повідомляється, що вони більше не використовуються.

Довідкова інформація
[163, Dow, 2005, 181, Вікіпедія, 182, Вікіпедія, 227, ТРГ, 249, ТРГ, 2007]

У «Вікіпедії» є багато посилань на джерела, де розглядаються позитивні та негативні аспекти систем забезпечення якості.
Додаткова інформація: наприклад, Американське товариство з якості: www.asq.org

2.9 Технічне обслуговування

Опис
Технічне обслуговування всіх установок та обладнання має вкрай важливе значення і входить до складу системи керування енергоефективністю (ENEMS) – див. розділ 2.1 (d) (vii).

Важливо вести графік технічного обслуговування і реєструвати всі огляди та роботи з технічного обслуговування. Роботи з технічного обслуговування описані в окремих розділах.

Сучасне профілактичне технічне обслуговування націлене на те, щоб підтримувати виробництво і пов'язані з ним технологічні процеси у придатному для використання стані протягом усього терміну служби. Програми профілактичного технічного обслуговування традиційно велися в папках або на планувальних стендах, проте тепер ними можна з легкістю керувати за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення. Програмне забезпечення для профілактичного технічного обслуговування здатне щодня привертати увагу до запланованих робіт з технічного обслуговування, поки вони не будуть виконані: це допоможе прослідкувати, щоб жодна операція технічного обслуговування не була забута.

Важливо, що базу даних програмного забезпечення та реєстраційні картки обладнання з технічними даними можна з легкістю під'єднати до інших програм для технічного обслуговування (та контролю). Для класифікації та звітування про роботу і створення звітів, що слугують підкріпленням, часто використовуються такі показники, як стандарти «Технічне обслуговування у переробній промисловості». Вимоги стандарту ISO 9000 до технічного обслуговування можуть допомогти визначити технічні вимоги до програмного забезпечення.

Програмне забезпечення дає змогу реєструвати проблеми і генерувати статистичні дані про відмови та частоту їх виникнення. Інструменти моделювання можуть допомогти прогнозувати відмови і проєктувати обладнання.

Оператори технологічних процесів повинні вживати заходів із підтримання чистоти та порядку на місцях і скеровувати діяльність із позапланового технічного обслуговування, як-от:

- очищення забруднених поверхонь та труб;
- слідкування за тим, щоб регульоване обладнання було оптимізоване (наприклад, на друкарських верстатах);
- вимкнення обладнання, коли воно не використовується або не потрібне;
- виявлення і звітування про витоки (наприклад, стисненого повітря, пари), зламане обладнання, розриви труб, тощо;
- ініціювання вчасної заміни зношених підшипників.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії. Зниження рівня шуму (наприклад, від зношених підшипників або пари, що витікає).

Міжсередовищні наслідки
Не передбачаються.

Експлуатаційні параметри
Програми профілактичного технічного обслуговування залежать від конкретної установки. Витоки, зламане обладнання, зношені підшипники, тощо, які обумовлюють або впливають на споживання енергії, слід виявляти і ремонтувати при першій же нагоді.

Застосовність
Увійшло в загальний вжиток.

Оперативне виконання ремонтів має бути збалансоване (за потреби) з підтриманням якості продукту та стабільності технологічного процесу, а також питаннями охорони здоров'я і техніки безпеки при виконанні ремонтів на працюючій установці (яка може містити рухоме обладнання, бути гарячою, тощо).

Економіка
Залежить від конкретної установки.

Заходи з підтримання чистоти та порядку – це дешева діяльність, яка зазвичай оплачується з річних бюджетів надходжень, які отримують керівники, і не потребує капіталовкладень.

Рушії для впровадження
Загальноприйнятий захід, який використовується для підвищення надійності установки, скорочення часу простоювання у разі виходу з ладу, збільшення продуктивності виробництва і допомагає підвищити якість.

Приклади
Широко застосовується у всіх секторах.

Довідкова інформація
Кілька документів BREF, [125, EIPPCB, 159, EIPPCB, 2006, 254, EIPPCB, 2005, 267, EIPPCB, 2006].

2.10 Моніторинг та вимірювання

Моніторинг та вимірювання – це необхідна передумова реєстрації системи керування енергоефективністю (див. розділ 2.1 (f) (i)), оскільки вони присутні у кожній системі керування, яка базується на підході «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів». У цьому розділі розглядаються деякі можливі методики вимірювання, розрахунку та моніторингу ключових характеристик роботи та видів діяльності, які можуть суттєво впливати на енергоефективність. У розділі 2.15.1 також розглядається збір даних, бази даних і автоматизація систем та апаратури керування, особливо у випадку кількох з'єднаних між собою систем, з метою оптимізації споживання ними енергії.

Вимірювання та моніторинг з великою ймовірністю будуть входити до складу керування технологічним процесом (див. розділ 2.8), а також аудиту (див. розділ 2.11). Вимірювання має велике значення, оскільки воно дає змогу отримувати надійну та відстежувану інформацію з питань, які впливають на енергоефективність, з точки зору як кількостей (МВт·год., кг пари, тощо), так і властивостей (температура, тиск, тощо) за різними енергоносіями (пара, гаряча вода, охолодження, тощо). Для деяких енергоносіїв може бути не менш важливо знати параметри енергоносія у зворотних контурах або скидах відходів (наприклад, у відхідних газах, скидах охолоджувальної води, тощо), щоб можна було виконувати енергетичні аналізи та баланси, тощо (див. пункт «Приклади» у розділі 2.12).

Один із ключових аспектів моніторингу та вимірювання полягає в тому, щоб забезпечити можливість обліку витрат за реальними рівнями споживання енергії, а не за довільно прийнятими чи розрахунковими значеннями (які можуть бути застарілими). Це стимулює впроваджувати зміни для підвищення енергоефективності. Проте на існуючих установках може бути складно впровадити нові пристрої моніторингу – наприклад, може бути складно вибрати довгі нитки трубопроводів, на яких знайдуться понижені ділянки без турбулентності, необхідні для вимірювання витрати. У таких випадках або у випадках, коли споживання енергії обладнанням або у ході певної діяльності пропорційно мале (порівняно з більшою системою чи установкою, в якій вони містяться), можна й далі використовувати оцінки або розрахунки.

У цьому розділі не розглядається документація або інші процедури, яких вимагає будь-яка система керування енергоефективністю.

Крім того, потоки матеріалів часто вимірюються з метою керування технологічним процесом, і ці дані можна використовувати для встановлення показників енергоефективності, тощо (див. розділ 1.4).

2.10.1 Методики опосередкованого вимірювання

Опис
Інфрачервоне сканування потужних машин надає фотографічні докази місцезнаходжень гарячих точок, через які витікає енергія, і які можуть створювати зайве напруження в рухомих деталях. Ці дані можна використовувати в аудиті.

Для відповідального обладнання, що впливає на споживання енергії, як-от підшипники, конденсатори (див. розділ 3.5.1) та інше обладнання, можна здійснювати безперервний або періодичний моніторинг робочої температури: коли підшипник чи конденсатор починає ламатися, температура його корпусу зростає.

Також можна виконувати інші вимірювання, які вказують на інші зміни у втратах енергії, – наприклад, підвищення рівня шуму, тощо.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис» вище.

Застосовність
Широко застосовується.

Економіка
Залежно від конкретного випадку.

Рушій для впровадження
Як складова профілактичного технічного обслуговування:

- запобігає несподіваним зупинкам установки;
- дає змогу виконувати планову заміну;
- подовжує термін служби обладнання, тощо.

Приклади
- Широко застосовується – наприклад, на заводі Aughinish Alumina (AAL), Ірландія.
- Див. розділи 3.2, 3.7, тощо.

Довідкова інформація
[161, SEI, 2006, 183, Бованковіч (Bovankovich), 2007] [55, Програма найкращих практик, 1998, 56, Програма найкращих практик, 1996, 98, Сітні (Sitny), 2006]

2.10.2 Оцінки та розрахунки

Опис
Для обладнання та систем можна виконувати оцінки та розрахунки споживання енергії – зазвичай на базі технічних специфікацій виробників або проєктувальників. Розрахунки часто базуються на параметрі, який легко виміряти, як-от покази лічильників відпрацьованого часу на двигунах та насосах. Проте у таких випадках потрібно знати (або розрахувати) інші параметри, як-от навантаження або напір та частота обертання, оскільки вони безпосередньо впливають на витрату енергії. Цю інформацію зазвичай надає виробник обладнання.

У Інтернеті доступне велике розмаїття калькуляторів (див. пункт «Довідкова інформація» нижче та інформацію у конкретних розділах цього документа). Вони зазвичай призначені для оцінки заощаджень енергії у різному обладнанні.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Допомагає виявити можливості заощадження енергії і досягти цих заощаджень.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис» вище.

Застосовність
Широко застосовується. Приймаючи рішення про застосування калькуляторів, потрібно зважати, чи не вдалося б заощадити більше коштів за рахунок використання більш точних вимірювань чи лічильників – навіть якщо це тимчасово.

З онлайн-калькуляторами слід бути уважним:

- вони можуть бути призначені для порівняння вартості засобів інженерного забезпечення від різних постачальників;
- важлива порада наведена у розділі 2.2.2: спочатку потрібно розглядати всю систему, у якій використовується обладнання, а не окрему одиницю обладнання;
- онлайн-калькулятори можуть бути надто спрощеними і не враховувати навантаження, напір, тощо (див. пункт «Опис» вище).

Однією з проблем оцінок та розрахунків є те, що вони можуть використовуватися багатократно, рік за роком, і їх початкова основа може бути втрачена, анульована або невідома. Це може призвести до помилок, які обійдуться дорого (див. пункт «Приклади» у Додатку 7.7.1). Основу для розрахунків слід регулярно переглядати.

Економіка
Не потребує інвестицій в обладнання; однак потрібно враховувати трудовитрати на виконання точних розрахунків, а також ризик витрат, зумовлених помилками.

Рушій для впровадження
Зменшення витрат.

Приклади
Широко застосовується. Приклади онлайн-калькуляторів наведені у пункті «Довідкова інформація» нижче.

Довідкова інформація
[270, Темпані (Tempany), 2008]

Наведені нижче калькулятори були знайдені в Інтернеті за запитом «industrial energy efficiency, calculators» («промислова енергоефективність, калькулятори») і не перевірялися (зверніть увагу: ці сайти можуть змінитися з часом або припинити існування):

- онлайн-центр калькуляторів. Великий перелік енергетичних калькуляторів:
  http://www.martindalecenter.com/Calculators1A_4_Util.html

- наведений нижче сайт розроблений як посібник з оцінки потенційних заощаджень енергії та грошових заощаджень від заходів з енергозбереження для керівників виробничих установок від малого до середнього розміру;
  http://www.ceere.org/iac/assessment%20tool/index.html

- енергетичні калькулятори та інструменти для бенчмаркінгу:
  http://energypathfinder.blogspot.com/2007/02/energy-calculators-and-benchmarking.html

- загальна господарська діяльність, освітлення, обладнання, офісна техніка:
  http://www 1.eere.energy .gov/femp/procurement/eep_eccalculators.html

- калькулятори частотно-регульованих приводів: вентилятори, насоси, гаряча / охолоджена вода, вентилятор градирні:
  http://www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p010794.hcsp

- освітлення:
  http://www 1.eere.energy.gov/femp/procurement/eep_hid_lumen.html

- котли, ОВіК, освітлення, частотно-регульовані приводи:
  http://www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p013446.hcsp

- калькулятор енергії у гігаджоулях та питомої енергоємності:
  http://oee.nrcan.gc.ca/commercial/technical-info/tools/gigajoule.cfm?attr=20

- ККД котла:
  http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/tools/boilers/index.cfm?attr=24

- втрати тепла, промислові будівлі:
  http://www.energyideas.org/default.cfm?o=h,g,ds&c=z,z,2633

2.10.3 Лічильники та системи розширеного обліку

Опис

Традиційні лічильники споживання просто вимірюють кількість енергоносія, спожиту в установці, системі або у ході певного виду діяльності. Їх використовують, щоб генерувати рахунки за енергію для промислових установок, і їх покази зазвичай зчитуються вручну. Проте завдяки сучасним технологічним досягненням з'явилися дешевші лічильники, які можна встановлювати, не перериваючи енергопостачання (якщо вони встановлюються разом із датчиками струму з рознімним осердям), і які займають значно менше місця, ніж старіші лічильники.

Інфраструктура розширеного обліку (AMI) чи розширене керування обліком (AMM) – це системи, які вимірюють, збирають і аналізують дані про споживання енергії, отримуючи їх від високотехнологічних пристроїв, таких як лічильники електроенергії, газові лічильники та/або водомірні лічильники, і надаючи цю інформацію через різні засоби комунікації на запит або за попередньо заданим розкладом. До складу цієї інфраструктури входить апаратне і програмне забезпечення для зв'язку, системи, пов'язані зі споживачем, та засоби керування даними лічильників.

Вузли обліку енергії – це агрегати на об'єкті, на яких споживання енергії можна пов'язати зі змінною, що характеризує виробництво, як-от продуктивність (див. розділ 1.4). Приклад структури системи розширеного обліку наведено на Рисунку 2.8.

Система розширеного обліку є невід'ємною складовою автоматизованих систем енергетичного менеджменту – див. розділи 2.15 та 2.15.2.

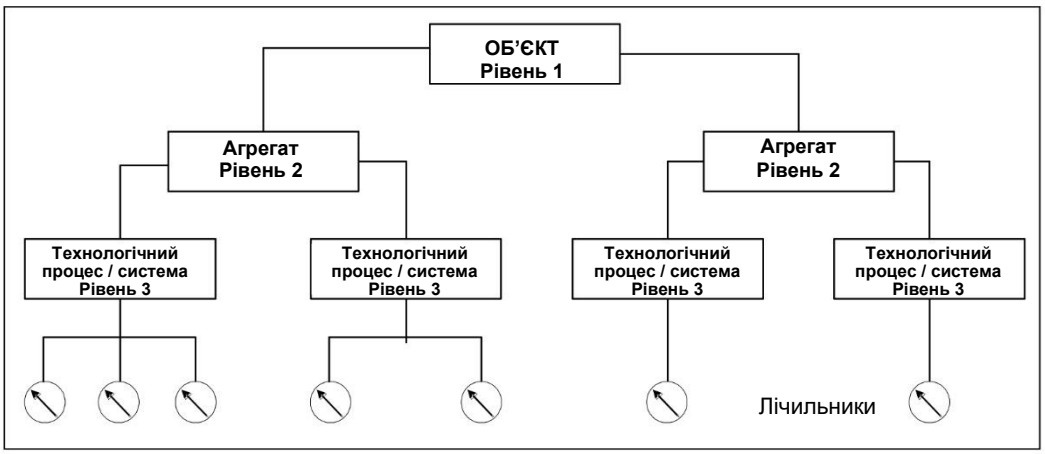


Рисунок 2.8. Структура системи розширеного обліку
[98, Сітні, 2006]

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Кращий контроль споживання енергії.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
Дає змогу точно вимірювати споживання енергії вузлами обліку енергії в межах установки за допомогою спеціальних пристроїв та систем.

Застосовність
Випадки, коли є більш ніж одна блокова система, що споживає енергію.

Кілька досліджень показали, що однією з основних причин, через які енергоефективні технології не впроваджуються, є те, що керівники окремих агрегатів не здатні визначити і контролювати власні витрати на енергію. Тому вони не отримують вигоди від заходів, які вони впроваджують.

Економіка
Виділення коштів з огляду на споживання.

Рушій для впровадження
Див. пункт «Економіка».

Приклади
Див. Додаток 7.7.1.

Довідкова інформація
[183, Бованковіч, 2007], виробник скла Schott: [127, ТРГ], лікарня Atrium, місто Херлен, Нідерланди [179, Стейнс, 2005]

2.10.4 Вимірювання витрати з низьким падінням тиску у трубопроводах

Опис
Витрата вимірюється у текучих середовищах, як-от рідкі та газоподібні види сировини та продукти, вода (необроблена вода, котлова та технічна вода, тощо), пара, тощо. Витрата зазвичай вимірюється шляхом штучного створення падіння тиску на вимірювальній діафрагмі, за допомогою трубки Вентурі чи Піто або за допомогою електромагнітного

витратоміра. Це довгий час призводило до постійного падіння тиску, особливо у випадку вимірювальних діафрагм та трубок Вентурі, тобто до втрати енергії в системі.

Нове покоління витратомірних пристроїв суттєво зменшує втрати тиску і при цьому має вищу точність.

Ультразвукові лічильники можна застосовувати до рідин, які проводять ультразвук, з достатньо добре структурованим (не турбулентним) потоком. Вони можуть бути стаціонарними або закріплятися на трубопроводі за допомогою затискача. Остання функція зручна для перевірки існуючих витратомірів, перевірки та калібрування насосних систем, тощо. Оскільки вони не проникають у трубопровід, вони не призводять до падіння тиску. Точність ультразвукових лічильників становить 1 – 3 % від виміряного значення у 0,5 %, а технологічне калібрування залежить від конкретного випадку застосування.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Витратоміри та трубки Піто нового покоління мають дуже високу точність і здатні знизити втрати тиску: втрати енергії в них становлять 1 +/- 2 % від втрат енергії на звичайній вимірювальній діафрагмі та приблизно 8 % від втрат енергії у звичайній трубці Піто.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри

Основні параметри	Електростанція з парою високого тиску	Установка для спалювання відходів із перегрітою парою
Q макс. (т/год.)	200	45
T (°C)	545	400
P (бар, абс.)	255	40
Внутрішній діаметр труби (макс.)	157	130,7
Перепади тиску у мбар (приблизно):		
Вимірювальні діафрагми	2580	1850
Трубки Піто, раніше	1770	595
Трубки Піто, нове покоління	1288	444
Постійне падіння тиску у мбар і на вимірювальну систему у мбар (приблизно):		
Вимірювальні діафрагми	993	914
Трубки Піто, раніше	237	99
Трубки Піто, нове покоління	19,3	7,3
Втрата кінематичної енергії на вимірювальну систему у кВт·год./год. (за тиску 100 мбар ≈ 67,8 кВт·год./год.) (приблизно):		
Вимірювальна діафрагма	673	620
Трубки Піто, раніше	161	67
Трубки Піто, нове покоління	13	5

Таблиця 2.5. Приклади падіння тиску, зумовленого різними вимірювальними системами

Застосовність
Нові установки або суттєві модернізації.

При застосуванні ультразвукових вимірювань потрібно уважно слідкувати, щоб турбулентність та інші ефекти у вимірюваній рідині (як-от завади від зважених твердих часток) були мінімальними.

Економіка

Вартість вимірювального пристрою нового покоління включно з монтажем – приблизно 10 000 євро. Ця цифра може різнитися залежно від того, скільки пристроїв встановлюється. Період окупності (ROI) зазвичай менший, ніж один рік.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів. Точність даних для керування технологічним процесом та потенціал для оптимізації (див. розділ 2.6).

Приклади
- Див. пункт «Експлуатаційні параметри» вище.
- Широко застосовуються у всіх секторах.
- Іншими прикладами є ультразвукові лічильники (експлуатаційні параметри не наведені) та датчики Пьоттера (Poetter).

Довідкова інформація
www.flowmeters.f2s.com/article.htm.

2.11 Енергетичні аудити та енергетична діагностика

Опис

Загалом аудит – це оцінка особи, організації, системи, процесу, проєкту або продукту. Аудити виконують, щоб пересвідчитися у достовірності та надійності інформації, а також для того, щоб дати оцінку внутрішньому керуванню системи. Аудити довгий час стосувалися головним чином оцінки фінансових систем та звітності. Однак у наш час аудити використовуються для отримання іншої інформації про систему – у тому числі й екологічні аудити [182, Вікіпедія]. Аудит базується на вибірковому контролі і не гарантує безпомилковості висновків. Проте його мета полягає в тому, щоб звести будь-які помилки до мінімуму, а відтак зробити інформацію достовірною і надійною.

Широко вживається термін «енергетичний аудит», під яким мають на увазі систематичний контроль, дослідження та аналіз потоків енергії у будівлі, технологічному процесі або системі з метою зрозуміти динаміку енергії у системі, що досліджується. Енергетичний аудит, як правило, проводиться, щоб віднайти можливості для зменшення надходжень енергії в систему без шкоди для результату (результатів).

Енергетична діагностика може виконуватися у вигляді скрупульозного первинного аудиту або може охоплювати ширше коло питань і погоджувати систему відліку для аудиту: встановлена методика, незалежність і прозорість аудиту, якість і професійність аудиту, тощо, – див. нижче [250, Французьке агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME), 2006].

На практиці існує широкий спектр типів та рівнів складності енергетичних аудитів. На різних етапах енергетичного менеджменту та/або в ситуаціях різної складності можуть використовуватися різні типи аудитів. Різні обсяги, ступені скрупульозності та цілі проілюстровані на Рисунку 2.9:

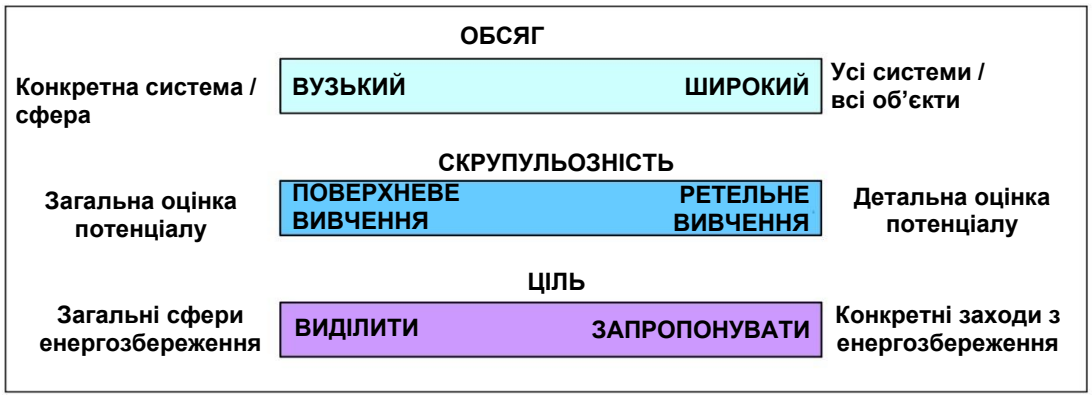


Рисунок 2.9. Властивості моделей енергетичного аудиту
[7, Літрас (Lytras), 2005]

У Додатку 7.8 перелічено деякі інструменти, які можна використовувати для полегшення або стандартизації енергетичного аудиту.

Різні моделі енергетичного аудиту можна поділити на два основні типи залежно від їх обсягу:

1. Оглядові моделі аудиту.
2. Аналітичні моделі.

У межах цих двох типів існують різні моделі, вимоги до яких можна встановити за їх обсягом та скрупульозністю. У реальності вимоги до аудиту можна встановити відповідно до потреб ситуації.

Існує ряд стандартів – зазвичай у межах аудиторських компаній або схем енергозбереження. Створено перший національний стандарт на енергетичні аудити. Цей стандарт слугує системою відліку для енергетичної діагностики, яка:

- пропонує метод виконання енергетичної діагностики;
- встановлює загальні принципи та цілі такого завдання, як-от об'єктивність, незалежність, прозорість;
- висловлює рекомендації, яких необхідно дотримуватися, щоб надати високоякісну послугу.

Для оператора переваги системи відліку полягають у тому, що вона описує узгоджений метод, створює базу, яка сприяє діалогу, слугує інструментом, що заощаджує час, надає приклади результатів (переліки обладнання, баланси, розгортання кампаній моніторингу, тощо).

Особливим типом аудиту є аудит інвестиційного рівня, тобто аудит, орієнтований на оцінку варіантів інвестицій в енергоефективність. Однією з ключових характеристик аудитів інвестиційного рівня є оцінка похибки у прогнозі заощадження енергії: якщо компанія пропонує інвестувати 1 мільйон євро в енергоефективність, вона повинна знати ризики, пов'язані з прогнозними заощадженнями, і як мінімізувати ці ризики (наприклад, невизначеність похибки у розрахунках та невизначеність інвестиції).

Подібно до фінансових аудитів, енергетичні аудити можуть виконуватися штатними або сторонніми кадрами – залежно від цілей аудиту, складності об'єкта та наявних ресурсів. Деякі малі та середні підприємства можуть не мати достатнього власного досвіду та кадрів і натомість залучати сторонніх консультантів (особливо якщо така можливість надана у рамках ініціативи – див. Додаток 7.12). Великі споживачі енергії можуть мати персонал, виділений для цієї роботи, проте також можуть залучати зовнішніх консультантів для проведення додаткових чи разових аудитів або створити тимчасову команду з участю персоналу інших підрозділів або об'єктів (див. розділи 2.5 та 2.6).

1. Оглядові моделі

Основна мета оглядових моделей енергетичних аудитів – виділити сфери, у яких існують (або можуть існувати) можливості для заощадження енергії, а також виділити найбільш очевидні заходи з заощадження. Оглядові аудити не заглиблюються у питання прибутковості виділених сфер або у подробиці запропонованих заходів. Перш ніж вживати будь-яких заходів, виділені сфери потрібно більш поглиблено проаналізувати.

Оглядова модель аудиту добре підійде для випадку, коли потрібно виконати великі об'єми аудиту за короткий час. Ці типи аудиту зазвичай дешеві і виконуються швидко. Оглядовий аудит може не надати оператору очікуваних результатів, оскільки він не обов'язково визначає фактичні заходи з заощадження, готові до впровадження, а натомість зазвичай надає рекомендації щодо подальшого аналізу ключових сфер. Існують два основні приклади оглядової моделі, описані нижче:

- наскрізні енергетичні аудити;
- попередні енергетичні аудити.

<u>Наскрізний енергетичний аудит</u>

Наскрізний енергетичний аудит підходить для малих та середніх промислових об'єктів, якщо виробничі об'єкти не дуже складні з точки зору потоків первинної та вторинної енергії, взаємопов'язаних технологічних процесів, можливостей для повторного використання низькопотенційного тепла, тощо.

Наскрізний енергетичний аудит дає загальне уявлення про використання енергії на об'єкті, виділяє найбільш очевидні заощадження, а також вказує на моменти, які потребують подальших кроків (додаткових аудитів «другого етапу»).

Попередній енергетичний аудит
Модель оглядового енергетичного аудиту для великих об'єктів часто називається попереднім енергетичним аудитом. Аудити цього типу зазвичай використовуються у переробній промисловості. Хоча основна ціль попереднього енергетичного аудиту збігається з наскрізним енергетичним аудитом, розмір та тип об'єкта потребує іншого підходу.

Більша частина роботи у рамках попереднього енергетичного аудиту полягає в тому, щоб отримати чітке уявлення про поточне повне споживання енергії, визначити сфери, у яких споживається значна кількість енергії, і – часто – ймовірні заходи з енергозбереження. У звітності також вказується, в яких сферах потрібні додаткові аудити «другого етапу», і як до них підходити.

Попередній енергетичний аудит, як правило, повинен виконуватися командою експертів.

Експерти повинні знатися як на самій процедурі аудиту, так і на виробничому процесі. Попередній енергетичний аудит завжди потребує зацікавленої участі технічного персоналу об'єкта.

2. Аналітичні моделі

Аналітичні моделі енергетичного аудиту дають змогу визначити детальні технічні вимоги до заходів з енергозбереження, надаючи клієнту, для якого проводиться аудит, достатньо інформації для прийняття рішень. Аудити цього типу дорожчі, потребують більшого обсягу роботи і довшого терміну, проте їх результатом є конкретні рекомендації стосовно того, як заощадити енергію. Оператор відразу бачить потенціал для заощаджень, і додаткові вишукування не потрібні.

Аналітичні моделі можна поділити на два основні типи:

- вибіркові аналітичні аудити, у яких аудитор може вибирати основні перспективні сфери;
- цільові енергетичні аудити, у яких основні перспективні сфери визначає оператор. Вони зазвичай проводяться у вигляді:
  - енергетичних аудитів для конкретної системи;
  - комплексних енергетичних аудитів.

Вибірковий енергетичний аудит
Вибірковий енергетичний аудит націлений головним чином на пошук значних заощаджень і не звертає уваги на незначні заходи з заощадження. Ця модель аудиту дуже економічно ефективна, коли її застосовують досвідчені аудитори, проте у найгіршому випадку може перетворитися у «зняття вершків». Завжди існує ризик, що після того, як було знайдено кілька значних заходів із заощадження, решта можливостей будуть проігноровані.

Цільовий енергетичний аудит
Зміст роботи у рамках цільового енергетичного аудиту визначається детальними вказівками оператора: це означає, що більшість систем, які повинен охопити цільовий енергетичний аудит, вже відомі заздалегідь. Вказівки, надані оператором, можуть умисно виключати деякі сфери. Певні сфери можуть бути виключені, оскільки відомо, що вони зазвичай не чинять суттєвого впливу на витрати (або з ними легше впоратися).

Результатом цільового енергетичного аудиту, як правило, є розбиття споживання на структурні складові з детальними розрахунками заощаджень енергії та інвестицій. Якщо вказівки були адекватними, за результатами аудиту складається стандартний звіт.

З точки зору оператора завжди існує ризик того, що, якщо контролем якості цільового енергетичного нехтувати, у аудиторів може виникнути спокуса помалу рухатися в бік вибіркового енергетичного аудиту, оскільки з цією моделлю завжди менше роботи.

Енергетичний аудит для конкретної системи
Найпростішим і найменш масштабним прикладом цільового енергетичного аудиту є енергетичний аудит для конкретної системи. Для цього типу аудиту встановлюється жорстко обмежена ціль (одна система, пристрій або технологічний процес), проте робота зазвичай виконується з дуже великою скрупульозністю. Перевагою цієї моделі аудиту є те, що вона дає змогу вказати необхідні експертні знання для роботи, рівень яких може бути вищим, ніж є у аудитора більш широкого профілю.

У результаті аудиту для конкретної системи складається детальний опис системи і визначаються всі заходи з заощадження разом з варіантами, які підходять для конкретної системи, а також можуть бути визначені економічні вигоди від знайдених варіантів.

Цей тип аудиту корисно поєднувати з іншими, менш комплексними, моделями аудитів – наприклад, виконати попередній енергетичний аудит, а потім аудит(и) для конкретних систем, у яких були виявлені значні можливості для заощадження енергії.

Енергетичні аудити для конкретних систем розкривають великий потенціал для заощаджень у порівнянні з існуючим споживанням енергії у системі. Проблема полягає в тому, що, розглядаючи лише одну частину об’єкта, можна прогледіти «картину в цілому», і існує ризик того, що оптимізація буде лише частковою. Наприклад, якщо досліджувати енергоефективність лише систем стисненого повітря чи охолодження, не вдасться оцінити можливості регенерації тепла, оскільки немає знань про те, де тепло можна використати у максимально ефективний спосіб. Енергетичні системи зазвичай взаємопов’язані і рідко бувають незалежними.

Комплексний енергетичний аудит
Комплексний енергетичний аудит – це цільовий енергетичний аудит на «найширшому» кінці шкали (див. Рисунок 2.10). Він охоплює всі випадки використання енергії на об’єкті, у тому числі механічні та електричні системи, системи постачання технологічного процесу, всі процеси, які споживають енергію, тощо. Деякі незначні системи можна виключити, якщо їх внесок малий у порівнянні з повним споживанням енергії (наприклад, двері, що приводяться в дію електричними двигунами).

Відмінність між комплексним енергетичним аудитом та цільовим енергетичним аудитом полягає в тому, що цільовий енергетичний аудит умисно ігнорує деякі відомі і заздалегідь вказані сфери, а комплексний енергетичний аудит охоплює практично всі суттєві випадки споживання енергії.

Початковою точкою комплексного енергетичного аудиту завжди є аналіз детального розбиття загального споживання енергії на структурні складові. У цьому типі аудиту надаються коментарі щодо всіх систем, які споживають енергію і були вказані на початку, незалежно від того, чи було для них виявлено заощадження. У результатах вказуються всі потенційні заходи з заощадження включно з детальними розрахунками заощаджень енергії та інвестиційних витрат.

Ця модель також закладає основу для самого стандартного і детального звітування, а це дає оператору деякі переваги, особливо у сфері контролю якості та моніторингу.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Оскільки у результаті енергетичного аудиту визначаються основні сфери, операції та типи енергії, що використовуються в агрегаті, технологічному процесі чи на об’єкті, надані у звіті результати можна використовувати для визначення економічно ефективних можливостей для заощадження енергії та їх розподілу за пріоритетністю.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри

Див. пункт «Опис» вище.

Застосовність
Див. пункт «Опис» вище.

Тип енергетичного аудиту і частота його проведення залежать від конкретного заводу. Наскрізний енергетичний аудит зазвичай підходить для невеликих установок.

Енергетичний аудит можна проводити для початкової оцінки стану установки чи системи з точки зору енергоефективності. Далі аудити можна проводити після суттєвих модифікацій установки, які могли б змінити виробництво та/або споживання енергії, значних змін в експлуатаційних параметрах, тощо. Цей підхід передбачає, що всі енергетичні аудити комплексні. Проте аудити варто час від часу проводити навіть у тому разі, якщо перед цим не було очевидних суттєвих змін, щоб переконатися у відсутності відходу від енергоефективної роботи.

Як варіант, можна провести попередній аудит, аби визначити сфери, що потребують поглиблених аудитів, які плануються з огляду на такі чинники, як простота застосування енергоефективних технологій, вимоги до капіталовкладень, тощо (див. розділ 2.2.1). Таким чином, повний аудит окремої системи можна проводити лише зрідка, проте в межах установки можуть регулярно проводитися аудити для інших систем.

Економіка
Див. пункт «Опис» вище.

Рушій для впровадження
- Заощадження коштів.
- Дотримання угод щодо енергозбереження, тощо.

Приклади
Широко застосовується. Комплексний аудит для конкретної організації можна проводити згідно з Рисунком 2.10.

Французький національний стандарт: система відліку для енергетичної діагностики в галузі. AFNOR BP X 30 – 120.

Довідкова інформація
[7, Літрас, 2005, 31, Деспрец (Despretz), 40, ADENE, 2005, 92, Motiva Oy, 2005, 165, BESS – Заява про вплив на навколишнє середовище, 227, ТРГ, 250, ADEME, 2006]

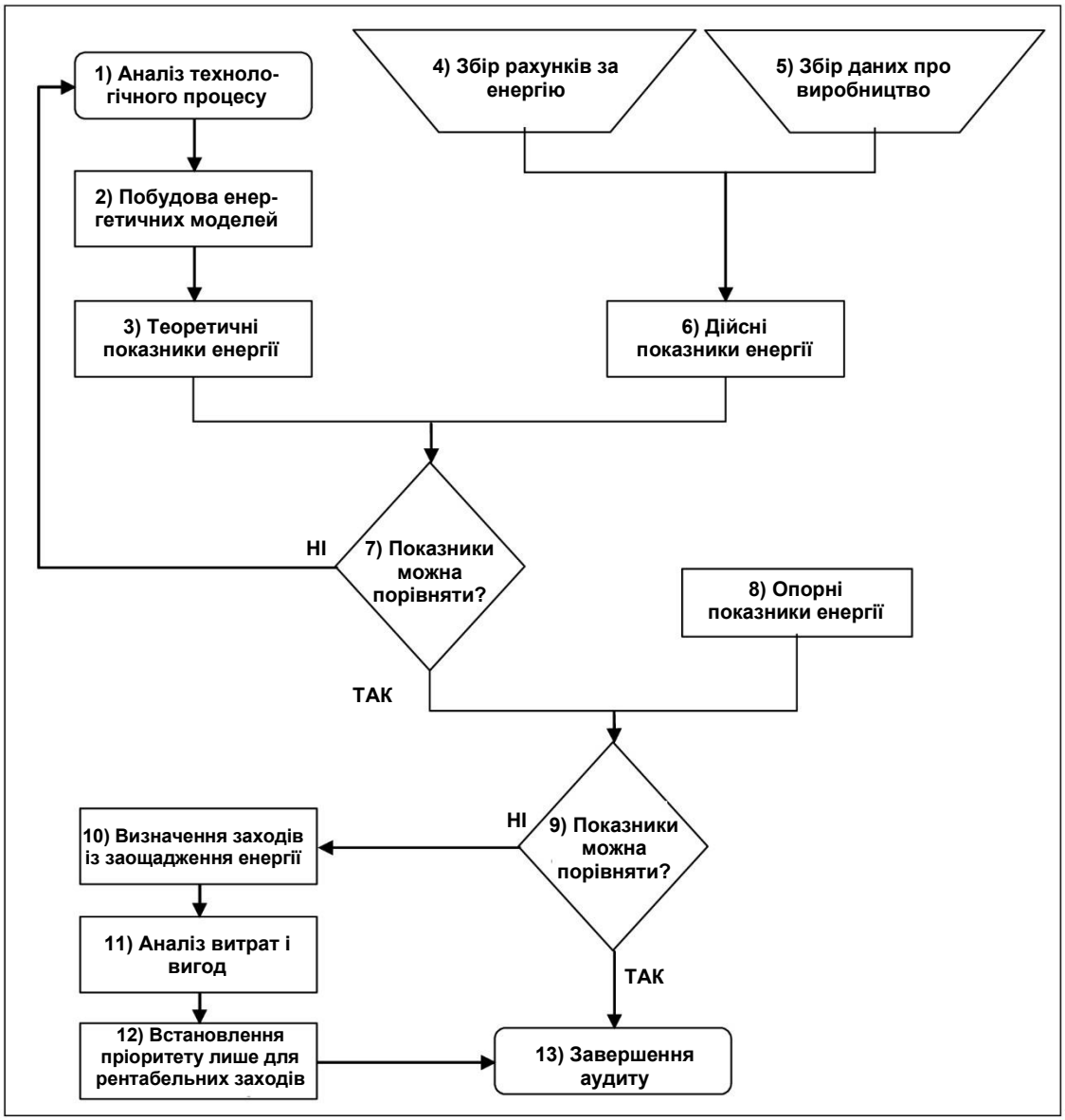


Рисунок 2.10. Схема комплексного енергетичного аудиту
[11, Франко (Franco), 2005]

2.12 Пінч-аналіз

Опис

Пінч-аналіз – це застосування пінч-технології. Це методика мінімізації споживання енергії у технологічних процесах шляхом розрахунку термодинамічно вигідних цільових енергетичних значень та їх досягнення шляхом оптимізації систем регенерації тепла, методів енергопостачання та робочих умов технологічного процесу. Хоча ці заходи також відомі як *технологічна інтеграція* або *енергетична інтеграція*, вони є наслідком застосування результатів пінч-аналізу (див., наприклад, розділ 2.4).

Усі технологічні процеси складаються з гарячих та холодних потоків. Гарячий потік – це, за визначенням, той, який потребує охолодження, а холодний потік – це той, який потребує нагрівання. Для будь-якого процесу на діаграмі «температура – ентальпія» можна провести єдину лінію, яка відображає всі гарячі потоки або всі холодні потоки технологічного процесу. Єдина лінія, яка відображає всі гарячі потоки або всі холодні потоки, називається гарячою результуючою кривою або холодною результуючою кривою відповідно.

Побудова результуючої кривої проілюстрована на Рисунку 2.11, де зображено два гарячі потоки на діаграмі «температура – ентальпія».

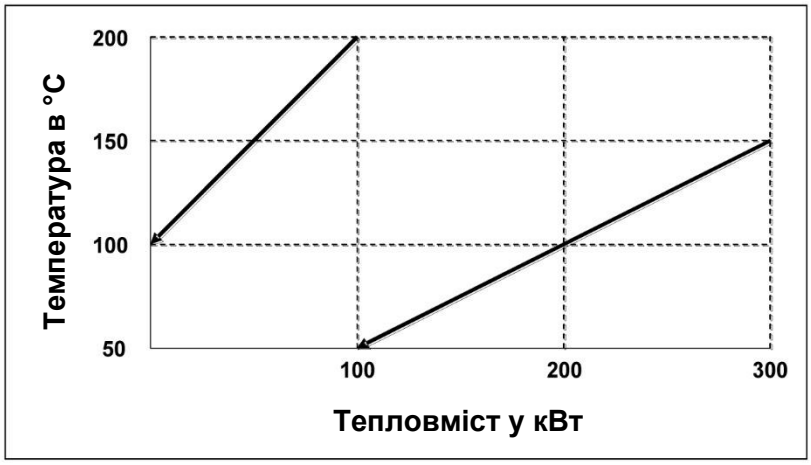


Рисунок 2.11. Два гарячі потоки

Потік 1 охолоджується від 200 до 100 °C. Його параметр CP (тобто масова витрата х питома теплоємність) дорівнює 1; таким чином, він втрачає 100 кВт теплоти. Потік 2 охолоджується від 150 до 50 °C. Його параметр CP дорівнює 2; таким чином, він втрачає 200 кВт теплоти.

Гаряча результуюча крива будується просто шляхом додавання тепловмістів у температурних діапазонах:

- у діапазоні від 200 до 150 °C існує лише один потік, у якого параметр CP дорівнює 1. Таким чином, втрата теплоти у цьому температурному діапазоні становить 50 кВт;
- у діапазоні від 150 до 100 °C існують два теплові потоки, сумарний CP яких дорівнює 3. Сумарна втрата теплоти у діапазоні від 150 до 100 °C становить 150 кВт. Оскільки сумарний CP у діапазоні від 150 до 100 °C більший, ніж CP у діапазоні від 200 до 150 °C, то ділянка гарячої результуючої кривої у другому температурному діапазоні – від 150 до 100 °C – буде більш плоскою;
- у діапазоні від 100 до 50 °C існує лише один потік з параметром CP, рівним 2. Таким чином, сумарна втрата теплоти становить 100 кВт.

Гаряча результуюча крива показана на Рисунку 2.12.

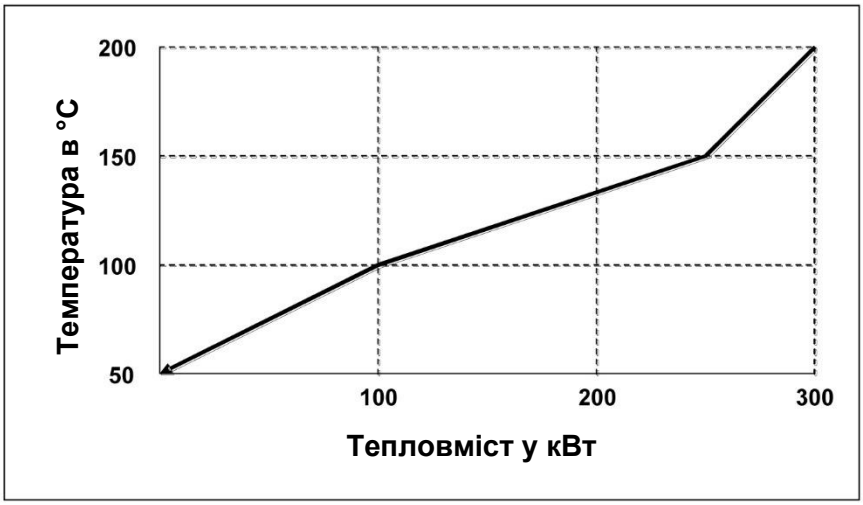


Рисунок 2.12. Гаряча результуюча крива

Холодна результуюча крива будується у такий же спосіб. На практиці потоків, як правило, набагато більше, проте вони будуються точно таким же чином.

На Рисунку 2.13 показані гаряча та холодна результуючі криві, побудовані на одній діаграмі «температура – ентальпія». Діаграма відображає сумарну потребу технологічного процесу в нагріванні та охолодженні.

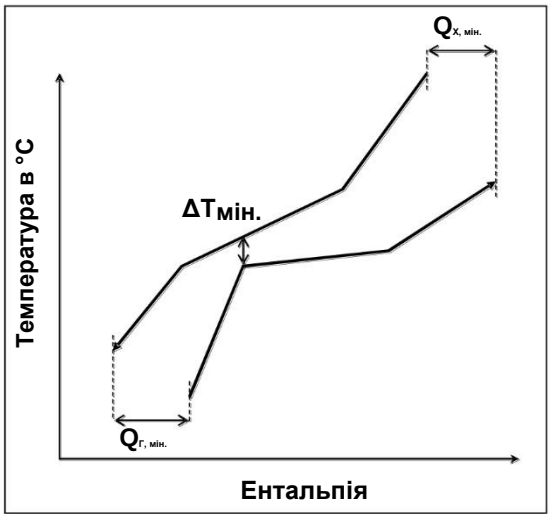


Рисунок 2.13. Результуючі криві, на яких показана точка найбільшого зближення (пінч) та цільові енергетичні значення

Уздовж осі ентальпії криві перекриваються. Гарячу результуючу криву можна використовувати для нагрівання холодної результуючої кривої за рахунок теплообміну між процесами. Однак один із кінців кожної кривої виступає таким чином, що у верхній точці холодної результуючої кривої потрібне зовнішнє джерело тепла ($Q_{Г,\ мін.}$), а у нижній точці гарячої результуючої кривої потрібен зовнішній стік тепла ($Q_{X,\ мін.}$). Вони відомі як цільові значення гарячих та холодних утиліт.

Точка, у якій криві підходять найближче одна до одної, відома під назвою «пінч». У точці пінча криву розділяє мінімальна температура зближення $\Delta T_{мін.}$ Цьому значенню $\Delta T_{мін.}$ у зоні перекриття відповідає максимальна можлива інтенсивність теплообміну між процесами. Крім того, $Q_{Г,\ мін.}$ та $Q_{X,\ мін.}$ – це мінімальні потреби в утилітах.

Після того, як пінч та цільові значення утиліт для процесу були визначені, можна застосовувати три «золоті правила» пінч-аналізу. Процес можна розглядати як дві окремі системи (див. Рисунок 2.14): система вище пінча та система нижче пінча. Система вище пінча потребує додатної кількості теплоти з зовнішнього джерела, тому це стік тепла, а система нижче пінча містить теплоту, яку потрібно віддати тепловому стоку, тому це джерело тепла.

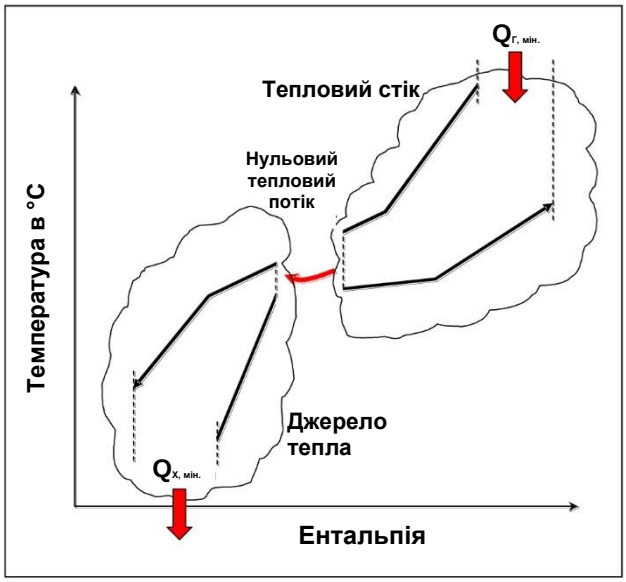


Рисунок 2.14. Схематичне зображення систем вище і нижче пінча

Ці три правила такі:

- теплота не повинна передаватися через точку пінча;
- вище пінча не повинно бути зовнішнього охолодження;
- нижче пінча не повинно бути зовнішнього нагрівання.

Якщо кількість теплоти, що переходить через пінч, дорівнює α, то необхідно підводити додаткову кількість гарячої утиліти (α), і також потрібна додаткова кількість холодної утиліти α (див. Рисунок 2.15). Будь-яке зовнішнє охолодження стоку тепла та будь-яке зовнішнє нагрівання джерела тепла збільшує потреби в енергії аналогічним чином.

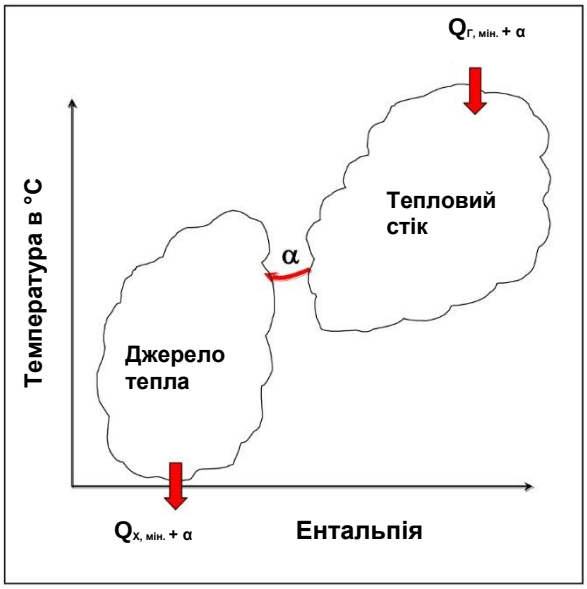


Рисунок 2.15. Теплопередача через пінч від стоку тепла до джерела тепла

Таким чином:

$$T = A - \alpha$$ **Рівняння 2.1**

де:

T = цільове споживання енергії
A = фактичне споживання енергії
α = тепловий потік через пінч.

Щоб досягти цільових енергетичних значень, потрібно усунути теплові потоки через пінч.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Оптимізація енергетичного балансу на виробничому об'єкті.

Міжсередовищні наслідки
Немає наслідків, які б вважалися імовірними.

Експлуатаційні параметри
У процесах, які не є безперервними, головне в застосуванні пінч-аналізу – це здобуття даних. Тут немає легких шляхів: щоб виявити можливості для заощадження коштів (= заощадження енергії), необхідно детально виміряти параметри і знати часові рамки всіх потоків процесу.

Застосовність
Пінч-аналіз можна застосовувати у великому розмаїтті галузей, де присутні технологічні потоки з різними рівнями температур. Ця методика застосовується у проєктуванні нових установок чи агрегатів, значних модернізацій або у детальних дослідженнях робочих показників установки, як-от:

- енергетичний аналіз технологічних агрегатів;
- аналіз засобів інженерного забезпечення з системами теплопостачання та електропостачання;
- проєктування та аналіз мережі теплообмінників;
- повний аналіз об'єкта з метою оптимізації технологічних процесів та інтеграції засобів інженерного забезпечення;
- аналіз водневих та водяних систем.

Спочатку пінч-аналіз застосовувався на нафтопереробних, нафтохімічних заводах та заводах з виробництва безтарної хімічної продукції, де завдяки йому вдалося досягти заощаджень енергії та капіталу. Проте нещодавно ця методика зарекомендувала себе у широкому спектрі технологічних процесів та галузей, серед яких – когенерація, фармацевтична, целюлозно-паперова та цементна промисловість, харчова питна та молочна промисловість (наприклад, пивоваріння, приготування кави, виробництво морозива та молочних продуктів); див. пункт «Приклади» нижче.

Пінч-аналіз також застосовується у різних видах технологічних процесів, у тому числі в періодичних, напівбезперервних та безперервних операціях з різними робочими параметрами – наприклад, з різними початковими матеріалами, сезонними коливаннями попиту, кількома засобами інженерного забезпечення, обмеженнями на якість та екологічними обмеженнями.

Економіка
Див. періоди окупності у Таблиці 2.6.

Пінч-аналіз часто вважають витратним і важким. Однак прості задачі можна розраховувати вручну або за допомогою програмних інструментів (деякі з них безкоштовні). Вартість проєктів починається приблизно з 5000 євро. Вимоги до даних, потрібних для виконання аналізу, дуже низькі, і пінч-аналіз є базовою складовою освіти у галузі виробничої інженерії.

Для складніших випадків знадобиться досвідчена команда, компетенція якої охоплює пінч-аналіз, моделювання процесів, оцінку витрат та експлуатацію установки.

Рушій для впровадження
Заощадження експлуатаційних і капітальних витрат.

Коли ця методика застосовується на існуючих підприємствах, часто спостерігаються технологічні вигоди, як-от покращення гнучкості установки, усунення вузьких місць, підвищення потужності та зменшення наслідків засмічення.

Приклади

Заощадження від деяких випадків застосування пінч-аналізу[1] (вартість: долари США[2], за даними «Енциклопедії Ульмана» (Ullman's), 2000)	
Опис технологічного процесу	**Заощадження**
Установка переробки сирої нафти	Заощадження у розмірі близько 1,75 x 10^6 доларів США з періодом окупності 1,6 року
Великий нафтохімічний комплекс, на якому виготовляється етилен, бутадієн, поліетилен високої щільності, поліетилен низької щільності та поліпропілен	Заощадження понад 7,00 x 10^6 доларів США з періодом окупності від 12 до 20 місяців
Виробництво хімічних речовин на спеціальне замовлення, періодичний процес з 30 реакторами і більш ніж 300 продуктів	Заощадження близько 0,45 x 10^6 доларів США з періодом окупності від 3 місяців до 3 років
Виробництво спеціалізованих хімічних речовин на базі сірки, періодичне та безперервне	Заощадження у розмірі 30 % від сумарного рахунку за енергію на об'єкті (на суму близько 0,18 x 10^6 доларів США з періодом окупності 9 – 16 місяців)
Завод з рафінації олії, періодична робота, широкий спектр початкових матеріалів	Заощадження у розмірі 70 % енергії технологічного процесу, еквівалентне приблизно 0,79 x 10^6 доларів США з періодом окупності від 12 до 18 місяців, та усунення вузьких місць, еквівалентне підвищенню потужності на 15 %
Періодична переробка молочних продуктів та сухих концентратів для приготування напоїв	Заощадження близько 30 % (еквівалентне 0,20 x 10^6 доларів США з періодом окупності менше 1 року)
Пивоварний завод	Заощадження від 12 до 25 % витрат на енергію з періодом окупності від 9 місяців до 2 років
Сучасний завод з виробництва віскі	Суттєве усунення вузьких місць і заощадження близько 0,35 x 10^6 доларів США з періодом окупності від 18 місяців до 2 років
Паперова фабрика	Заощадження у розмірі 8 – 20 % рахунку за енергію з періодом окупності від 1 до 3 років
Безперервна переробка ацетилцелюлози	Заощадження у розмірі близько 0,28 x 10^6 доларів США з періодом окупності 1 рік
Безперервне виробництво цементу сухим методом	Значні заощадження енергії
Примітки: [1] Зазначені заощадження пов'язані переважно з витратами на енергію. Більшість компаній також отримали вигоду у вигляді збільшення продуктивності, покращення гнучкості технологічного процесу та експлуатаційних властивостей; економічна цінність цих вигод у наведеній вище таблиці не враховується. [2] Курс валют не вказано, оскільки точні дати отримання даних та застосування методики невідомі.	

Таблиця 2.6. Пінч-аналіз: деякі приклади застосування та заощадження [266, Енциклопедія Ульмана (Ullmann's), 2000]

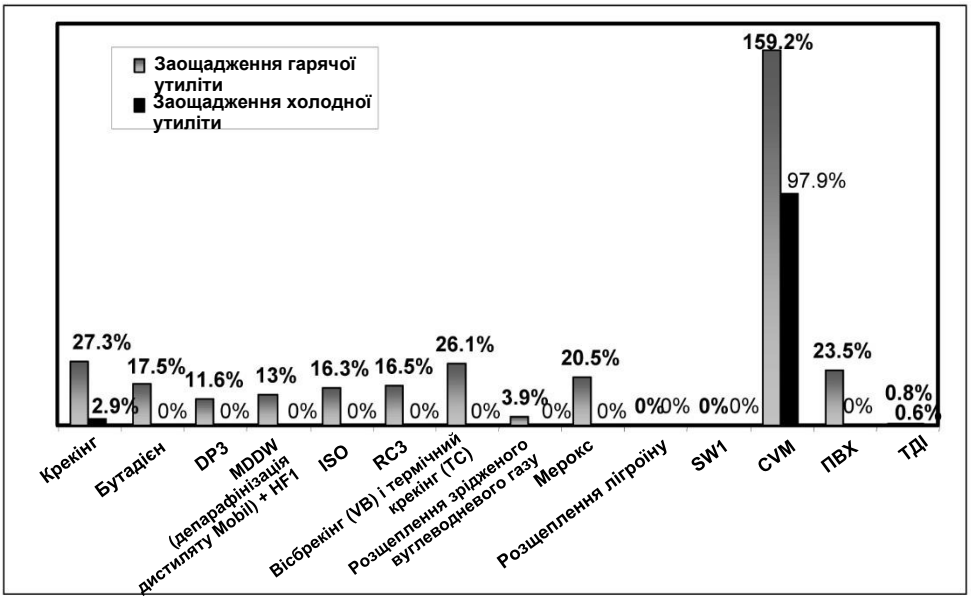


Рисунок 2.16. Заощадження енергії, виявлені за допомогою пінч-аналізу
Примітка: абревіатури означають стадії процесів виробництва полімерів та органічних хімічних речовин.
[51, Піні (Pini), 2005]

Довідкова інформація
[117, Linnhoff March], [118, KBC], [12, Піні, 2005, 51, Піні, 2005, 67, Марттіла (Marttila), 2005, 119, Neste Jacobs Oy]

Безкоштовне програмне забезпечення для пінч-аналізу: Pinch2.0 від Інституту системних та інноваційних досліджень імені Фраунгофера (Fraunhofer ISI) / Петер Радген (Peter Radgen).

Ця методика також розглядається в інших документах BREF: Довідкові документи з НДТМ для виробництва хімічної продукції тонкого органічного синтезу (OFC), для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі (SIC), для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S), Довідкові документи (REF), тощо.

2.13 Аналіз ентальпії та ексергії

Опис
Аналіз енергії (або ентальпії) та аналіз ексергії – це методики, що базуються на визначенні енергії або ексергії потоків у термічній системі, яка досліджується, та балансів енергії або ексергії компонентів, сполучених цими потоками.

Для виконання цих аналізів потрібно виконати такі кроки:

1. Потрібно чітко задати границю системи, що аналізується (всієї установки або її частини).
2. Усю систему потрібно розбити на кілька частин, що сполучаються потоками речовини та енергії. Детальність цього розбиття залежить від необхідної глибини аналізу та від наявної інформації.
3. Потрібно задати термодинамічні властивості, які описують потоки: масова витрата, тиск, температура, склад, потужність на валу, тепловий потік, тощо. Якщо аналізується реальна система, цю інформацію отримують за допомогою вимірювань. Проте у випадку, коли аналіз виконується для установки, яку планується побудувати, з цією метою використовується моделювання.

4. Після того, як усі задані потоки були повністю описані, можна визначити їх ентальпію та ексергію (див. розділ 1.2.2 та Додаток 7.1).
5. Ентальпії та ексергії можна використовувати для визначення інших параметрів, таких як втрати енергії у компонентах, незворотність, ККД, і можна зобразити, наприклад, за допомогою діаграм Сенкі (для енергії) або Грассмана (для ексергії).
6. Ці баланси та аналізи можна виконувати в реальному часі з різною періодичністю, і інформацію про «вартість ексергії», тобто кількість ресурсів ексергії, потрібну для створення певного потоку, можна використовувати для діагностики відхилень у робочих показниках установки від погодженого опорного стану.
7. Нарешті, можна з легкістю визначити залежність між термодинамікою та економікою, оскільки вартість будь-якої несправності чи неефективності у підсистемі установки складається з двох компонентів, перший з яких – це кількість матеріальних ресурсів, а другий – це кошти, витрачені на компенсацію цього недоліку. Теорія, яка пояснює основні принципи такої методики, називається термоекономікою (див. розділ 2.14).

Як бачимо, енергія та ексергія можуть аналізуватися паралельно і вимірюються в одних і тих же одиницях. Проте аналіз ексергії, хоча він менш вживаний і складніший, приносить більшу користь, оскільки він безпосередньо вказує на моменти, в яких можна заощадити енергію.

Енергія – це консервативна властивість: вона не створюється і не знищується, тому в аналізі енергії можна врахувати лише втрати енергії через межу системи (втрати тепла, гази, що виходять у димову трубу, тощо). Проте кожне перетворення енергії призводить до зниження якості енергії: енергія зберігається, проте її корисність завжди знижується. У цьому контексті ексергія – це міра, впроваджена для врахування якості енергії. Електрична чи механічна робота – це форми енергії з найвищою якістю, тож їх енергія точно дорівнює ексергії. З іншого боку, маса води, нагріта до температури, яка на 20 градусів перевищує температуру навколишнього середовища, має енергію, проте вміст ексергії у ній незначний. Вміст ексергії слугує мірою саме максимальної здатності (в одиницях енергії) конкретного потоку до перетворення в інші форми енергії. Таким чином, ексергія – це не консервативна властивість. У кожному стаціонарному процесі ексергія вхідних потоків завжди більша, ніж ексергія вихідних потоків. Ця різниця називається незворотністю, і її кількісне вираження шляхом аналізу ексергії дає змогу виявити, де втрачається якість енергії (іншими словами, де можна заощадити енергію). (Ці питання більш детально пояснюються у Додатку 7.1).

У якості прикладу розглянемо котел, який виробляє пару низького тиску для певного процесу. Якщо виконується аналіз енергії, цей котел матиме енергетичний ККД аж у 85 % і буде здаватися ефективним пристроєм. Проте якість енергії, що міститься у парі, низька, тож ексергетичний ККД котла може становити близько 25 %. Ця низька цифра вказує, що потенційно можна заощадити велику кількість енергії, замінивши котел, наприклад, теплоутилізаційним парогенератором, що входить до складу когенераційної системи, у якій гарячі вхідні гази приводять у рух турбіну, що уловлює енергію високої якості. Як не дивно, чим нижча якість енергії на виході, тим вищий енергетичний ККД котла, якого можна досягти у промислових умовах; проте ексергетичний ККД змінюється саме так, як підказує здоровий глузд.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Ці аналізи дають змогу визначити, де втрачається енергія та ексергія, і які точки мають найвищий потенціал до заощадження енергії. Оскільки ексергія залежить від усіх властивостей, які описують певний потік, за її допомогою також можна відстежити, де в установці утворюються забруднюючі речовини, а також визначити їх кількість.

Міжсередовищні наслідки

Немає наслідків, які б вважалися імовірними.

Експлуатаційні параметри
Головною передумовою для застосування цих методик є наявність інформації про потоки в енергетичні системі. Цю інформацію отримують за допомогою вимірювань на працюючих установках та шляхом моделювання на етапі проєктування. Від цього залежить можлива глибина аналізу.

Застосовність
Поняття ексергії використовують у багатьох ситуаціях, щоб визначити, де втрачаються природні ресурси (див. пункт «Довідкова інформація» нижче).

Ці методики можна застосовувати до будь-якої термічної системи. Їх основна перевага полягає в тому, що вони дають змогу безпосередньо порівнювати різні установки. Крім того, аналіз ексергії встановлює абсолютну точку відліку: ідеальну систему, тобто систему без незворотностей.

Цей аналіз можна використовувати для визначення стану працюючої установки за наявними виміряними значеннями та для їх порівняння з проєктними значеннями. Крім того, за його допомогою зручно аналізувати альтернативи та можливість внесення вдосконалень на етапі проєктування.

Проте використання ексергії у компаніях досі обмежене. Наприклад, у Нідерландах поняття ексергії використовується інженерними відділами великих компаній, таких як Shell, Dow Chemical, Unilever, DSM, AKZO NOBEL, тощо, та рядом великих інженерних фірм. Було виконано кілька досліджень, за результатами яких можна зробити висновок, що аналізи ексергії надають цінну інформацію, проте займають надто багато часу, і немає достатньої кількості даних, з якими можна було б порівняти їх результати. Наприклад, виконувати бенчмаркінг за ексергетичними ККД нелегко через відсутність даних для порівняння. З метою полегшення аналізів ексергії була розроблена комерційна програма для розрахунку ексергії. У цій програмі ексергію потоків можна розраховувати на комерційних технологічних схемах, які суттєво пришвидшують аналіз ексергії. Проте ці технологічні схеми коштують дорого, і лише невелика кількість компаній використовує їх достатньою мірою, щоб ці витрати були виправданими.

Більшість малих і середніх підприємств не використовують програмне забезпечення цього типу через його високу вартість, відсутність підготовленого персоналу та високий рівень точності вхідних даних, якого вимагають ці програми. Для таких компаній було задумано новий метод, який досі розробляється.

Економіка
Аналіз ексергії має репутацію складного і витратного методу. Проте, якщо є інформація про властивості потоку (а вона зазвичай є), аналіз ентальпії та ексергії можна виконати з невеликими витратами. Існує обмежена кількість інструментів для виконання аналізу за допомогою пакету технологічних схем. У такий спосіб аналіз можна виконати швидко та ефективно. Втрати ексергії точно вказують на місця, у яких можна досягти найбільших заощаджень (у матеріалах, енергії, а відтак і коштах). Вартість аналізу ексергії починається з 5000 євро.

Крім того, для невеликих проєктів аналіз можна виконувати вручну. У цьому випадку застосування аналізу ексергії дуже обмежене. Передбачається, що корисним інструментом стане новий метод під назвою «ексергетичне сканування», який наразі розробляється.

Рушій для впровадження
Це недорога методика, яка дає змогу отримати користь від вимірювань, виконаних на установці. Вона також чітко вказує на компоненти, у яких потенційно можна заощадити енергію. Інформація, отримана в результаті цього аналізу, може використовуватися іншими інструментами, як-от діаграми Сенкі (див. розділ 2.7.1).

Приклади

Аналіз енергії (або ентальпії) широко застосовується в аналізі термічних систем на етапі як проєктування, так і експлуатації. Ексергія використовується не так широко, хоча набуває все ширшого вжитку. Як згадувалося вище, вона використовується такими компаніями, як Shell, Dow Chemical, Unilever, DSM, AKZO NOBEL, та великими інженерними фірмами.

Довідкова інформація
[227, ТРГ]
Інформацію та приклади на тему аналізу ентальпії, а також аналізу ексергії, можна знайти у будь-якому підручнику з термодинаміки на рівні магістратури. Дізнатися більше про аналіз ексергії можна з таких джерел:

- Т.Й. КОТАС (T. J. KOTAS), видавництво Krieger, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis («Ексергетичний метод аналізу теплових електростанцій»), Флорида, 1996.
- Т.Й. Котас, The Exergy Method of thermal and chemical processes («Ексергетичний метод аналізу теплових та хімічних процесів»), видавництво Krieger Publishing Company, Мельбурн, США, 1999.
- Шаргут Я. (Szargut J.), Моррис Д.Р. (Morris D.R.), Стюард Ф.Р. (Steward F.R.), Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes («Аналіз ексергії теплових, хімічних та металургійних процесів»), видавництво Hemisphere, Нью-Йорк, 1988.
- Корнеліссен, Р.Л. (Cornelissen, R.L.), 1997, Thermodynamics and sustainable development, The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility (Термодинаміка та сталий розвиток: використання аналізу ексергії та зменшення незворотності), кандидатська дисертація, Університет Твенте (Twente), http://www.ub.utwente.nl/webdocs/wb/1/t0000003.pdf
- Корнеліссен, Р.Л., та Бурема К. (Boerema C.), 2001, Exergy Scan – the new method for cost effective fuel saving (Ексергетичне сканування – новий метод економічного ефективного заощадження палива), матеріали Міжнародної конференції з ефективності, витрат, оптимізації, моделювання та впливу енергетичних систем на навколишнє середовище (ECOS) 2001, с. 725-731, Стамбул.

Інструменти:

- калькулятор ексергії: http://www.exergoecology.com/excalc
- програмне забезпечення exerCom та ексергетичне сканування: детальніше про те й інше на сайті www.exergie.nl

2.14 Термоекономіка

Опис
Методики термоекономічного аналізу поєднують перший та другий закони термодинаміки з інформацією про витрати, зібраною на рівні системи. Ці методики допомагають зрозуміти процес формування витрат, мінімізувати повну собівартість продукту і розподілити витрати між кількома продуктами, що виробляються в одному й тому ж процесі.

Як зазначено у розділі 1.2, енергія у процесах не споживається – натомість корисна енергія деградує до менш корисних форм. Процеси з високою незворотністю, як-от згорання, теплопередача, дроселювання, тощо, можна аналізувати лише шляхом аналізу ексергії (див. розділ 2.13). Ексергія – це об’єктивна та універсальні міра зміни, і її можна вважати мостом між термодинамікою та методиками обліку витрат, оскільки вона пов’язана з інтенсивними властивостями, такими як тиск, температура, енергія, тощо, які можна виміряти. За допомогою економічного аналізу можна розрахувати вартість палива, інвестицій, експлуатації та технічного обслуговування для установки.

Таким чином, термоекономіка оцінює вартість спожитих ресурсів, коштів та незворотностей у системі з точки зору виробничого процесу у цілому. Термоекономіка допомагає визначити, яким чином ресурси можна було б використовувати більш ефективно, щоб заощадити їх. Грошові витрати слугують вираженням економічних наслідків неефективностей і використовуються для підвищення економічної енергоефективності виробничих процесів. Оцінка вартості потоків та технологічних процесів на установці допомагає зрозуміти процес формування витрат – від вхідних ресурсів до кінцевих продуктів.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Головним чином заощадження енергії, проте також скорочення споживання матеріалів та зменшення кількості матеріалів, які були змарновані або перетворилися у викиди.

Міжсередовищні наслідки
Від методики розрахунку наслідків не очікується.

Експлуатаційні параметри
За допомогою цих аналізів можна розв'язувати задачі, пов'язані зі складними енергетичними системами, які не можна розв'язати за допомогою звичайного енергетичного аналізу. Окрім інших застосувань, термоекономіка використовується:

- для раціональної оцінки цін на продукцію заводу за фізичними критеріями;
- для оптимізації конкретних змінних технологічних агрегатів з метою мінімізації собівартості кінцевого продукту, тобто для глобальної та локальної оптимізації;
- для виявлення неефективностей та розрахунку їх економічних наслідків на установках, що експлуатуються –
- тобто для термоекономічної діагностики роботи установки;
- для оцінки різних варіантів проєкту або рішень щодо експлуатації та максимізації прибутковості;
- в енергетичних аудитах.

Застосовність
Даних не надано.

Економіка
Залежно від конкретного випадку.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів та матеріалів.

Приклади
Різні електростанції (у тому числі парогазові з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля), нафтопереробні заводи, хімічні заводи, цукрові заводи, комбіновані електростанції з опріснювальними установками, системи центрального опалення, тощо.

Довідкова інформація
[258, Цацароніс (Tsatsaronis) та Валеро, 1989], [284, Валеро, 285, Валеро, 1989]

Докладніша інформація є на сайтах, як-от: [286, Франгопулос (Frangopoulos)]

2.15 Енергетичні моделі

2.15.1 Енергетичні моделі, бази даних та баланси

Опис
Енергетичні моделі, бази даних та баланси – це корисні інструменти для виконання повного та поглибленого енергетичного аналізу, які з великою ймовірністю будуть входити до складу аналітичного чи комплексного енергетичного аудиту (див. розділ 2.11). Модель – це план або опис, покликаний відображати, де і як в установці, агрегаті або системі використовується енергія (наприклад, база даних). Таким чином, модель орієнтована на те, щоб зареєструвати технічну інформацію про установку, агрегат або систему. У ній реєструється тип обладнання, споживання енергії та експлуатаційні дані, як-от час роботи. Вона повинна бути достатньо (але не занадто) повною для виконання завдання і легкодоступною для різних користувачів у відділах, які відповідають, наприклад, за операційну діяльність, енергетичний менеджмент, технічне обслуговування, закупівлі, бухгалтерію, тощо. Зручно, коли вона входить до складу системи технічного обслуговування або пов'язана з нею: це дає змогу реєструвати в ній оновлення, як-от перемотування двигуна, дати калібрування, тощо (див. розділ 2.9).

У випадках, коли використовується енергетична модель, база даних або баланс, вони можуть бути побудовані з урахуванням границь системи (див. розділ 1.5.1), наприклад:

- підрозділи (відділ, виробнича лінія, тощо);
  - система;
    - окреме обладнання (насоси, двигуни, тощо);
- системи інженерного забезпечення (наприклад, стиснене повітря, насосні системи, вакуумні системи, зовнішнє освітлення, тощо);
  - окреме обладнання (насоси, двигуни, тощо).

Аудитор (або збирач даних) повинен прослідкувати, щоб зареєстрована ефективність була реальною ефективністю системи (як описано у розділі 1.5.1).

Оскільки енергетична модель або база даних – це стратегічний інструмент для виконання енергетичного аудиту, за хороший підхід вважається перевірити її перед використанням шляхом складання балансу. Перший крок полягає у тому, щоб порівняти загальну кількість спожитої енергії, визначену шляхом розрахунків, з кількістю, спожитою згідно з показами лічильників енергоспоживання. Якщо установка складна, це можна робити на рівні агрегату або системи (див. пояснення щодо границь системи у розділі 1.5.1 та лічильників у розділі 2.10.3). Якщо розраховані значення споживання не збігаються з виміряними, дані у моделі слід ще раз перевірити – це стосується, зокрема, всіх наявних оцінок, як-от коефіцієнти завантаження та години роботи. За необхідності потрібно задати їх з більшою точністю. Ще одна причина помилок може полягати в тому, що виявлено не все обладнання, яке споживає енергію.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Дає змогу здійснювати планування на підставі знань про те, де споживається енергія.

Міжсередовищні наслідки
Немає наслідків, які б вважалися імовірними.

Експлуатаційні параметри
<u>Електроенергія</u>
У випадку електричної моделі, бази даних або балансу для кожного пристрою з електроприводом, як-от двигуни та приводи, насоси, компресори, електричні печі, тощо можна зібрати такі дані:

- номінальна потужність;
- номінальний ККД;
- коефіцієнт завантаження;
- кількість годин роботи на рік.

У той час як потужність та ККД легко визначити, оскільки вони, як правило, позначені на самому пристрої, коефіцієнт завантаження та кількість годин роботи на рік доводиться оцінювати.

Приклади даних, зібраних для простої електроенергетичної моделі, наведені у Додатку 7.7.3.

Якщо коефіцієнт завантаження за результатами оцінки перевищує 50 %, фактичний коефіцієнт завантаження приблизно дорівнює:

$$КЗ = \frac{P_{(еф.)} x \eta}{P_{(ном.)}}$$

де:

- КЗ – коефіцієнт завантаження;
- $P_{(еф.)}$ – розрахункова середня електрична потужність, яка ефективно поглинається пристроєм протягом його годин роботи (кВт);
- $P_{(ном.)}$ – номінальна потужність (кВт);
- η – номінальний ККД пристрою (за повного навантаження).

$P_{(еф.)}$ за необхідності можна вимірювати за допомогою електричних лічильників.

Необхідно зазначити, що ККД та коефіцієнт потужності пристрою залежать від коефіцієнта завантаження так, як показано на Рисунку 2.17 – у даному випадку для типового двигуна.

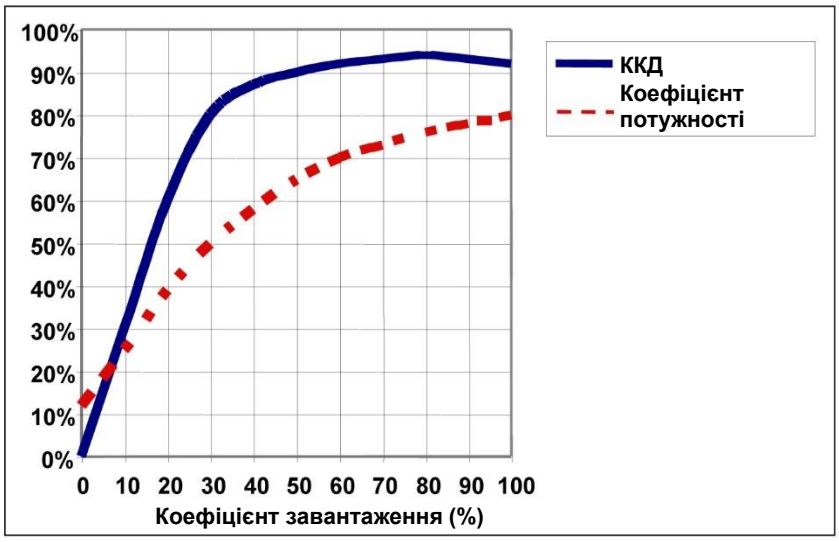


Рисунок 2.17. Залежність коефіцієнта потужності пристрою від коефіцієнта завантаження [11, Франко, 2005]

Теплова енергія

Модель, базу даних чи баланс теплової енергії складати складніше, ніж електричну модель. Для отримання повної картини споживання тепла складаються два види моделей (або баз даних чи балансів): першого рівня та другого рівня.

Щоб побудувати енергетичну модель першого рівня, потрібно здійснити перепис усіх споживачів кожного виду палива. Для кожного споживача палива (наприклад, котлів, печей) слід зареєструвати такі дані:

- кількість палива відповідного типу, що постачається за певний період часу – як правило, за рік;
- вид теплоносія, що надходить у котел (наприклад, вода під тиском): витрата, температура, тиск;
- конденсат: відсоток регенерації, температура, тиск;
- корпус котла: виробник, модель, рік встановлення, теплова потужність, номінальний ККД, площа поверхні теплообміну, кількість годин роботи на рік, температура корпуса, середній коефіцієнт завантаження;
- пальник: виробник, модель, рік встановлення, теплова потужність;
- вихлоп: витрата, температура, середній вміст вуглекислого газу;
- вид теплоносія, що виходить із котла (наприклад, пара): температура, тиск.

Хоча всі такі дані повинні бути зібрані, у тепловій моделі першого рівня («з боку генераторів») потрібно враховувати лише основних споживачів енергії (див. Таблицю 7.9). Зазвичай корисно перетворювати всі енергії у первинну енергію або типи питомої енергії, які використовуються в галузі, щоб пізніше їх порівнювати (див. розділ 1.3.6.1).

Моделі другого рівня («з боку користувачів») також будуються шляхом перепису всіх машин, яким потрібна теплова енергія в будь-якій формі (гаряча вода, пара, гаряче повітря, тощо), крім палива (воно враховується в моделі першого рівня). Для кожної одиниці обладнання, яка споживає теплову енергію, слід зібрати такі дані:

- тип теплоносія, що використовується;
- кількість годин/рік, коли є потреба в теплі;
- коефіцієнт завантаження, з яким використовується теплова енергія;
- номінальна теплова потужність.

Приклад організації даних наведено у Додатку 7.7.3, в Таблиці 7.9.

За допомогою моделі другого рівня («з боку користувачів») зручно перевіряти, чи відповідає кількість тепла, яку постачають засоби інженерного забезпечення (котли, теплогенератори, тощо), кількості тепла, якої потребують споживачі.

Якщо різниця між ними прийнятна, дві моделі можна вважати перевіреними. Якщо ні – потрібно перерахувати дані або виконати додаткове дослідження.

Якщо різниця між цими двома значеннями велика, це, імовірно, зумовлено великим рівнем втрат у процесі виробництва-розподілу-споживання різних теплоносіїв (наприклад, пари, гарячої води, тощо). У цьому випадку слід вжити заходів для підвищення рівнів енергоефективності.

Застосовність

Тип моделі та детальність інформації, яка збирається, залежить від установки.

Часто неможливо або не потрібно аналізувати кожну одиницю обладнання, яке споживає енергію. Електроенергетичні моделі підходять для невеликих установок. Для великих установок краще підходить аналіз технологічного процесу з детальним урахуванням споживання електричної та теплової потужності.

Щоб максимізувати відношення витрат і вигод від збору даних, можна задати пріоритети – наприклад, в першу чергу збирати дані про обладнання, споживання потужності яким перевищує певне значення, – або встановити вказівки, як-от вказівка спочатку зібрати дані про 20 % обладнання, яке споживає 80 % потужності (наприклад, пари, електроенергії, тощо). Слід зазначити, що в міру використання моделі та підвищення енергоефективності можна додавати решту обладнання – знову ж таки, у запланований спосіб.

Економіка
Залежно від об'єкта.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
Приклади специфікацій енергії та розрахунків балансу наведені у Додатку 7.7.3.

Довідкова інформація
[127, ТРГ], [11, Франко, 2005]

2.15.2 Оптимізація та керування засобами інженерного забезпечення за допомогою моделей

Опис
Ця методика поєднує в собі різні методики, як-от описані у розділах 2.10.3 – 2.15, і доповнює їх програмним моделюванням та/або системами керування.

У випадку простих установок завдяки наявності дешевшого і простішого моніторингу, електронного збору даних та керування операторам буде легше збирати дані, оцінювати потреби технологічних процесів у енергії та керувати технологічними процесами. Почати можна з простого регулювання за часом, увімкнення / вимкнення, застосування регуляторів температури і тиску, реєстраторів даних, тощо, а програмні моделі полегшують це завдання, даючи змогу реалізувати складніше керування.

На складніших рівнях велика установка оснащується системою керування інформацією (виробничі та виконавчі системи), яка реєструє в журналах і контролює всі умови технологічного процесу.

Один зі спеціальних випадків застосування полягає у керуванні способом отримання і постачання енергії (керування енергією з боку постачання, керування розподілом або керування засобами інженерного забезпечення) – див. пункт «Застосовність» нижче. З цією метою використовується програмна модель, прив'язана до систем керування для оптимізації та управління засобами енергопостачання (електроенергією, паром, охолодженням, тощо).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Зниження споживання енергії та пов'язаних з ним викидів. Див. пункт «Приклади» нижче.

Міжсередовищні наслідки
Значення ККД зазвичай кумулятивні, проте в деяких випадках, якщо бік постачання / розподілу засобу інженерного забезпечення не враховувати, зниження потреби не принесе користі – наприклад, якщо парову систему не врівноважити заново, заощадження пари в одному технологічному агрегаті просто призведуть до того, що надлишок пари буде скидатися в інше місце.

Експлуатаційні параметри

Зі збільшенням складності оптимальної та енергоефективної роботи можна досягти, використовуючи належні інструменти – від простих інструментів моделювання на базі електронних таблиць або програмування розподілених систем керування (DCS) до більш потужних систем керування та оптимізації засобів інженерного забезпечення на базі моделей (оптимізатора засобів інженерного забезпечення), які можна об'єднати з іншими виробничими та виконавчими системами на об'єкті.

Системою оптимізації засобів інженерного забезпечення буде користуватися персонал з різною кваліфікацією та цілями (наприклад, інженери, оператори, керівники заводу, покупці, бухгалтери). Нижче викладено важливі загальні вимоги до системи:

- простота у користуванні: різним користувачам потрібен доступ до системи, і система повинна мати різні користувацькі інтерфейси у вигляді інтеграції даних з іншими інформаційними системами, щоб дані не доводилося вводити повторно, – наприклад, планування ресурсів підприємства (ERP), планування виробництва, хронологія даних;
- надійність: система повинна надавати узгоджені та надійні рекомендації, якими користувачі будуть керуватися;
- наближеність до реальності: система повинна відображати реальну ситуацію на заводі (витрати, обладнання, час пуску) без внесення такої кількості деталей, якою буде неможливо керувати;
- гнучкість: система повинна бути гнучкою, щоб середовище заводу, яке змінюється, можна було без особливих зусиль коригувати (наприклад, встановлювати тимчасові обмеження, оновлювати показники вартості).

Оптимізатор засобів інженерного забезпечення повинен бути здатний надійно розраховувати вигоди від можливостей (в оперативному або автономному режимі – наприклад, гіпотетичні сценарії) і допомагати мотивувати на необхідну зміну (зміни) (див. розділ 2.5).

До оптимізатора засобів інженерного забезпечення на базі моделі висуваються такі основні вимоги:

- модель процесів виробництва палива, пари та електроенергії і системи розподілу. Модель, як мінімум, повинна точно відображати:
  - властивості всіх видів палива, у тому числі нижчу теплоту згорання та склад;
  - термодинамічні властивості всіх потоків води та пари на об'єкті;
  - робочі показники всього обладнання інженерного забезпечення у їх нормальному робочому діапазоні;
- модель усіх контрактів на купівлю-продаж, які стосуються системи інженерного забезпечення;
- підтримка частково-цілочислової оптимізації, яка дає змогу приймати рішення про увімкнення / вимкнення обладнання інженерного забезпечення, а також розривів у моделі контрактів та/або моделі технологічних процесів інженерного забезпечення;
- оперативна валідація даних та виявлення грубих помилок;
- система без зворотного зв'язку;
- оперативна оптимізація;
- можливість дослідження гіпотетичних сценаріїв для досліджень, які виконуються в автономному режимі (дослідження впливу проєктів, дослідження впливу різних типів контрактів, наприклад, на електроенергію та паливо).

Застосовність

Прості системи керування можна застосовувати навіть на невеликих установках. Складність системи зростає пропорційно складності технологічного процесу та об'єкта.

Оптимізацію та керування засобами інженерного забезпечення можна застосовувати на об'єктах, де є кілька типів споживання енергії (пара, охолодження, тощо) і різні варіанти постачання енергії, які передбачають вибір між цими енергоносіями та/або додаткове виробництво електроенергії на самому об'єкті (у тому числі когенерація і тригенерація, див. розділ 3.4).

Основною вимогою до оптимізатора засобів інженерного забезпечення є наявність моделі процесів виробництва палива, пари та електроенергії і системи розподілу. Модель повинна, як мінімум, точно відображати властивості всіх видів палива, у тому числі нижчу теплоту згорання та склад. Це може бути важко реалізувати, якщо використовується різноманітне паливо зі складним складом – на зразок комунально-побутових відходів, – що скорочує можливості оптимізації експорту енергії.

Економіка
Див. пункт «Приклади».

Рушій для впровадження
Основним рушієм є вартість. Заощадження коштів за рахунок зменшення споживання енергії ускладнені (див. розділ 7.11) складністю тарифів на ринках засобів інженерного забезпечення, які все більше розрегульовуються, у торгівлі електроенергією і паливом та у сфері моніторингу, керування та торгівлі квотами на викиди. У Таблиці 2.7 викладені основні рушії бізнес-процесів.

Бізнес-процес	Основний рушій (той, який позначений символом «+»)	
	Енерго-ефективність	Витрати/контракти на енергію
Прогнозування потреби: знання поточних та прогнозних майбутніх потреб у засобах інженерного забезпечення на заданий період часу (дні, тижні, місяці, роки – залежно від змін параметрів процесу та ситуації на ринку). Допомагає мінімізувати: • використання гарячого резерву (наприклад, котлів); • скидання надлишку пари; • втрати постачання через недостатність резерву або керування.	+	
Планування виробництва засобів інженерного забезпечення: використовуючи у якості вхідних даних профілі потреби, система розробляє оптимізований план виробництва з огляду на наявність засобів інженерного забезпечення. Планування може бути тактичним (на 24 години) або стратегічним (коли запустити обладнання чи зупинити його для технічного обслуговування).	+	+
Оптимальна експлуатація установки (оперативна оптимізація): хоча план можна розробити заздалегідь (наприклад, на кожні 24 години), умови експлуатації можуть змінитися, і план стане недійсним. Оптимізатор засобів інженерного забезпечення може надавати експлуатаційному персоналу рекомендації в реальному часі щодо того, як експлуатувати систему з мінімальними витратами залежно від поточних потреб та цін.	+	+
Моніторинг робочих показників (обладнання інженерного забезпечення): оптимізатор засобів інженерного забезпечення здатний відстежувати робочі показники окремих елементів та систем. Ці дані можна використовувати для оптимізації розкладів технічного обслуговування та очищення, а крім того, вони слугують попередженням про проблеми в експлуатації.	+	
Планування інвестицій: оптимізатор засобів інженерного забезпечення можна використовувати з метою оцінки варіантів проєктування нового обладнання та змін в існуючому обладнанні як у технологічних системах, так і у системах інженерного забезпечення – наприклад, таких:	+	+

• нагрівання живильної води у деараторі за рахунок технологічного тепла; • вибір привода (двигун або парова турбіна) чи, можливо, приводів на базі двох процесів для більшої гнучкості балансування парової системи; • вдосконалення повернення конденсату; • зміна енергопостачання (наприклад, використання пари низького тиску для скорочення споживання пари середнього тиску); • використання пари для підігрівання повітря, що подається в печі для згорання палива; • об'єднання з існуючою паровою мережею у випадку будівництва нового агрегату на об'єкті або модифікація існуючої мережі, якщо агрегати виконані замкненими.		
Моніторинг, керування та торгівля квотами на викиди: деякі газоподібні викиди (SO_X та CO_2) можуть бути безпосередньо пов'язані з видами палива, що спалюються (у випадках, коли склад палива та його коливання точно відомі). Для NO_X потрібні прогнозні моделі, оскільки утворення цих оксидів залежить від палива, температури полум'я, обладнання, тощо. У оптимізаторі засобів інженерного забезпечення можуть бути передбачені функції прогнозування та звітування про викиди, якщо цього вимагають дозволи (наприклад, для дотримання граничних значень викидів – ГВЗ). Оптимізатор також може підтримувати прийняття рішень у рамках керування викидами та торгівлі квотами на викиди шляхом прогнозування потреб та відповідних викидів.	+	+
Керування контрактами (див. розділ 7.11): оптимізатор надає оператору дані для мінімізації та зсування пікових потреб.	**(+)**	+
Оцінка тарифів: розрегулювання ринку засобів інженерного забезпечення призвело до появи великого розмаїття тарифів, яке збиває з пантелику. Розрахунок і вибір тарифів вручну недостатньо точний і швидкий, тому для великих споживачів це завдання автоматизується.		+
Торгівля електроенергією та паливом: підприємства переробної промисловості все більше інвестують у ко- та тригенерацію, які дають їм змогу експортувати енергію. Це ускладнює оцінку тарифів, тож оптимізатор допоможе ефективно торгувати енергією.		+
Облік витрат: оптимізатор засобів інженерного забезпечення забезпечує точний розподіл витрат у реальному часі, а також надає значення справжніх граничних витрат. Це може допомогти приймати рішення у випадках, коли джерела енергії мінливі.		+

Таблиця 2.7. Рушії для використання оптимізатора засобів інженерного забезпечення у різних бізнес-процесах

Приклади

1. Schott AG, Німеччина. Див. Додаток 7.7.1.

Витрати:

- програмне забезпечення: близько 50 000 євро;
- апаратне забезпечення: близько 500 євро / точку вимірювання.

Заощадження за рік:

- зниження пікового навантаження у постачанні електроенергії: приблизно 3 – 5 %;
- період окупності: приблизно 0,9 – 2 роки (залежно від проєкту).

2. Лікарня Atrium, місто Херлен, Нідерланди. Див. Додаток 7.7.2.
Була встановлена система керування засобами інженерного забезпечення у реальному часі, з внутрішньою рентабельністю інвестицій (ROI) у 49 % (приблизно 75 000 – 95 000 євро/рік) за змінних витрат на енергію приблизно у 1,2 мільйона євро.

Valero Energy Corporation, нафтопереробний завод, Х'юстон, Техас, США
У 2002 році був встановлений оптимізатор засобів інженерного забезпечення для нафтової системи. Вигоди за перший рік було визначено як 3,06 мільйона євро, включно зі зменшенням обсягів імпорту природного газу та електроенергії.

DSM, хімічний завод, Желен (Geleen), Нідерланди
Вигоди було визначено як еквівалентні рентабельності інвестицій (ROI) >25 % з заощадженнями у розмірі 3 – 4 % від сумарних витрат об'єкта на енергію, яких вдалося досягти за рахунок як заощадження енергії, так і укладання більш вигідних контрактів з постачальниками.

Довідкова інформація
- загальна інформація, приклади компаній Valero та DSM: [171, де Смедт П., Петела Е., 2006];
- виробник скла Schott: [127, ТРГ];
- лікарня Atrium [179, Стейнс, 2005].

2.16 Бенчмаркінг

Опис
У найпростішому розумінні бенчмаркінг (еталонне порівняння) – це опорна точка. У бізнесі бенчмаркінг – це процес, що застосовується організаціями для оцінки різних аспектів їх процесів у порівнянні з прикладами найкращої практики, зазвичай у тому ж секторі. Цей процес описано так:

- «бенчмаркінг полягає у тому, щоб виконувати порівняння з іншими компаніями, а потім засвоювати уроки, які розкриває кожна з цих компаній» (Європейський кодекс етики бенчмаркінгу);
- «бенчмаркінг – це мистецтво бути достатньо скромним, аби визнати, що хтось кращий у чомусь, ніж ти, і бути достатньо мудрим, щоб навчитися бути таким же хорошим, як вони, і навіть кращим» (Американський центр підвищення продуктивності та якості продукції – APQC).

Бенчмаркінг – це потужний інструмент, який допомагає подолати «концептуальну сліпоту» (яку можна виразити так: «спосіб, яким ми це робимо, – найкращий, тому що ми завжди так робили»). Тому бенчмаркінг можна використовувати як засіб, який допоможе забезпечити постійне вдосконалення і підтримувати рушійну силу заходів (див. розділи 2.2.1 та 2.5).

Для виконання енергетичного бенчмаркінгу беруться зібрані і проаналізовані дані (див. пояснення про вимірювання та моніторинг і про енергетичний аудит у розділах 2.10 та 2.11). Після цього встановлюються показники енергоефективності, які дадуть оператору змогу оцінити зміну робочих показників установки з часом або порівняти їх з іншими установками у тому ж секторі. Питання, пов'язані зі встановленням та використанням показників, розглядаються у розділах 1.3, 1.4 та 1.5.

Важливо зазначити, що при зборі даних критеріями є відстежуваність даних та їх підтримання в актуальному стані.

У деяких випадках велике значення може мати конфіденційність даних (наприклад, якщо на енергію припадає значна частка собівартості виробництва). Тому необхідно враховувати точки зору компаній, які беруть участь у бенчмаркінгу, та галузевих об'єднань, щоб захистити конфіденційність даних компаній і забезпечити зручність інструментів для користувача. Конфіденційність можна захистити:

- • за допомогою угод;
- шляхом представлення даних у такий спосіб, який захищає конфіденційні дані (наприклад, представлення даних та цільових показників в узагальненому вигляді для кількох установок або продуктів);
- доручити зіставлення даних третій стороні з надійною репутацією (наприклад, торговій організації або державному органу).

Бенчмаркінг також можна застосовувати до технологічних процесів та методів роботи (також див. пункт «Високі стандарти господарської діяльності», розділ 2.5, та «Приклади» нижче).

Дані про енергію слід збирати обережно. Дані повинні бути придатними до порівняння. У деяких випадках дані можуть потребувати застосування поправних коефіцієнтів (нормалізація). Наприклад, це може бути потрібно, щоб врахувати початкові матеріали, вік обладнання, тощо (див. бенчмаркінг для скляної промисловості нижче), і має бути погоджено на належному рівні (наприклад, національному або міжнародному). Основним прикладом є ситуація, коли потрібно переконатися, що показники енергії, які порівнюються, приведені до належної бази – наприклад, до первинної енергії, нижчої теплоти згорання, тощо (див. розділи 1.3, 1.4 та 1.5).

Оцінку можна виконувати за часовими рядами. Цей підхід:

- демонструє вигоди від заходу (або групи заходів) з точки зору сукупного споживання енергії (у межах компанії або у секторі, регіоні, тощо);
- є простим методом, який можна використовувати в межах компанії, якщо є необхідні еталонні дані, і коли зовнішні орієнтири встановити важко.

Основним недоліком порівняння за часовими рядами є те, що умови, на яких воно базується, повинні залишатися однаковими, інакше енергоефективність не можна буде оцінити.

Оцінку також можна виконувати за теоретичною потребою в енергії чи ентальпії (див. бенчмаркінг для скляної промисловості у пункті «Приклади» нижче). Ці дані розраховуються за тепловими енергіями, енергіями плавлення, кінетичними чи потенційними енергіями для технологічного процесу. Такі порівняння:

- є хорошим підходом для початкової оцінки;
- повинні бути порівняно простими у використанні за наявності відповідного досвіду;
- повинні демонструвати, наскільки фактичне споживання енергії віддалене від теоретичної потреби (це можна пов'язати з порівнянням за часовими рядами, щоб полегшити визначення співвідношення витрат і вигод від подальших заходів).

Основний недолік полягає у тому, що в розрахунку ніколи не можна врахувати всі конкретні характеристики операції.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Потужний інструмент, який допомагає впроваджувати заходи з підвищення енергоефективності на постійній основі.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис».

Застосовність
Бенчмаркінг може з легкістю використовувати будь-яка установка, група компаній або установок чи торгово-промислова асоціація. Бенчмаркінг також може бути корисним або необхідним для окремих агрегатів, технологічних процесів чи засобів інженерного забезпечення – наприклад, тих, які розглядаються у частині 3 (також див. розділи 1.3, 1.4 та 1.5).

Перевіреними даними можуть вважатися дані, що містяться у галузевих документах BREF для окремих секторів, або дані, затверджені третьою стороною.

Період між еталонними перевірками залежить від конкретного сектора і зазвичай досить тривалий (тобто становить кілька років), оскільки еталонні дані рідко коли змінюються швидко або суттєво за короткий проміжок часу.

Також потребують уваги питання конкуренції, тому може бути потрібно враховувати конфіденційність даних. Наприклад, якщо певний продукт виготовляється лише одним заводом чи невеликою кількістю заводів у ЄС або у світі, результати бенчмаркінгу можуть залишатися конфіденційними, або бенчмаркінг взагалі буде неможливо виконати.

Економіка
Основні витрати можуть бути пов'язані зі збором даних. Проте додаткових витрат також потребує визначення даних у ширших масштабах і збір даних про нормалізацію з метою моделювання.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
Детальні відомості про ці заходи з бенчмаркінгу наведені у Додатку 7.9.

Австрійське енергетичне агентство
У звіті Австрійського енергетичного агентства (AEA) «Енергетичний бенчмаркінг на рівні компанії: звітний щоденник компанії» наведені коефіцієнти бенчмаркінгу, відмінні від питомої витрати енергії.

Схема для малого та середнього бізнесу у Норвегії
У Норвегії існує онлайн-схема бенчмаркінгу для малого та середнього бізнесу.

Ковенанти про бенчмаркінг
У Нідерландах діють довготермінові угоди (ковенанти), присвячені бенчмаркінгу, що укладаються між урядом та великими компаніями (тобто тими, які споживають понад 0,5 ПДж енергії/рік). Подібна схема діє у провінції Фландрія, що у Бельгії.

Бенчмаркінг у скляній промисловості
У скляній промисловості було досліджено кілька методів визначення найбільш енергоефективних скловарних виробництв, і деякі з отриманих результатів були опубліковані:

- методи передової практики та застосування енергетичних балансів;
- визначення теоретичної потреби в енергії або ентальпії та найнижчого практично можливого рівня споживання енергії;
- бенчмаркінг питомих рівнів споживання енергії промисловими скловарними печами;
- розробка нових технологій варіння скла та освітлення.

Розподіл енергії / викидів CO2 між різними продуктами у складному технологічному процесі, що складається з послідовних етапів, Франція

Французька крохмальна промисловість за підтримки консультантів розробила методику оцінки / розподілу енергії у процесі виробництва крохмалю та похідних продуктів. Ця методика використовувалася:

- для розподілу споживання енергії між різними етапами переробки та різними видами продукції;
- для розподілу викидів CO_2 між різними етапами переробки та різними видами продукції;
- для вимірювання покращень у споживанні енергії.

Тому її можна використовувати у якості інструмента для бенчмаркінгу.

Довідкова інформація

[10, Леєр (Layer), 1999, 13, Дейкстра (Dijkstra), 108, Раціональна енергетика – Європа, 2005, 127, ТРГ, 156, Беркенс, 2004, 157, Беркенс Р.Г.К., 2006, 163, Dow, 2005, 227, ТРГ]

2.17 Інші інструменти

Деякі інші інструменти, які можна використовувати на рівні об’єкта для аудиту та енергетичного менеджменту, перелічені у Додатку 7.8.

3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ СЛІД РОЗГЛЯДАТИ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СИСТЕМАХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ АБО ВИДАХ ДІЯЛЬНОСТІ, ЯКІ СПОЖИВАЮТЬ ЕНЕРГІЮ

До частин 2 та 3 застосовано ієрархічний підхід:

- у частині 2 описані технології, які слід розглядати на рівні всієї установки, і за допомогою яких потенційно можна досягти оптимальної енергоефективності;
- у частині 3 описані технології, які слід розглядати на нижчому рівні, ніж установка: в першу чергу на рівні енергоспоживчих систем (наприклад, стиснене повітря, пара, тощо) або видів діяльності (наприклад, спалювання), і на ще нижчому рівні для деяких енергоспоживчих складових частин або обладнання (наприклад, двигунів).

Системи управління, технології, інтегровані у технологічний процес, та спеціальні технічні заходи містяться в обох частинах, проте у контексті пошуку оптимальних результатів ці три види заходів повністю повторюють одне одного. Багато прикладів комплексного підходу демонструють усі три типи заходів. Внаслідок цього розмежування технологій з метою їх опису дещо ускладнюється і виконується у дещо довільний спосіб.

Ні ця частина, ні частина 2 не містять вичерпного списку технологій та інструментів – можливо, існують або будуть розроблені інші технології, які можуть бути рівною мірою дієвими у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень та НДТМ. Технології можуть використовуватися окремо або у поєднанні (як з іншими технологіями, описаними в цій частині, так і з методиками, описаними в частині 2) і підкріпляються інформацією, наведеною в частині 1, з метою досягнення цілей комплексного запобігання та контролю забруднень.

Для окреслення кожної технології у цій частині та частині 2 використовується, коли це можливо, стандартна структура, показана у Таблиці 3.1. Зверніть увагу, що ця ж структура використовується для опису систем, які розглядаються, як-от (на рівні установки) енергетичний менеджмент та (на нижчому рівні) стиснене повітря, спалювання, тощо.

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
Опис	Стислі описи енергоефективних технологій з цифрами, рисунками, технологічними схемами, тощо, які ілюструють ці технології
Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти	Основні вигоди для навколишнього середовища, підкріплені належними виміряними даними про викиди та споживання ресурсів. У цьому документі вони стосуються конкретно підвищення енергоефективності, проте також містять (за наявності) інформацію про зниження рівнів інших забруднюючих речовин та споживання ресурсів
Міжсередовищні наслідки	Будь-які побічні наслідки для навколишнього середовища та недоліки, спричинені реалізацією цієї технології. Детальні відомості щодо екологічних проблем, які створює технологія, у порівнянні з іншими технологіями
Експлуатаційні параметри	Робочі показники, що характеризують споживання енергії та інших ресурсів (сировини та води) і викиди / відходи. Будь-яка інша корисна інформація щодо способів експлуатації, технічного обслуговування та керування цією технологією, включно з питаннями безпеки, експлуатаційними обмеженнями технології, якістю продукції, що випускається, тощо
Застосовність	Врахування факторів, пов'язаних з застосуванням цієї технології та модернізації з її використанням (наприклад, наявність вільної виробничої площі, особливості для конкретного технологічного процесу, інші обмеження або недоліки технології)
Економіка	Інформація щодо витрат (інвестиційних та експлуатаційних), пов’язаних з ними заощаджень енергії (теплової та/або електричної) у євро / кВт·год. та інших можливих заощаджень (наприклад, зменшення споживання сировини, викидів відходів), у тому числі залежно від потужності технології

Рушій для впровадження	Причини (крім Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень – IPPC) для впровадження технології (наприклад, законодавство, добровільні зобов'язання, економічні причини)
Приклади	Посилання принаймні на одну ситуацію, у якій повідомляється про використання технології
Довідкова інформація	Джерела інформації, які використовувалися при написанні цього розділу та/або містять детальніші відомості

Таблиця 3.1. Розбиття інформації для систем і технологій, описаних у частинах 2 та 3

3.1 Спалювання

Вступ

Спалювання або згоряння – це складна послідовність екзотермічних хімічних реакцій між паливом та окисником, яка супроводжується виділенням тепла або тепла та світла у вигляді розжарення або полум'я.

У реакції повного згоряння сполука реагує з окисним компонентом, а продуктами реакції є сполуки, що утворилися внаслідок реакції кожного компонента палива з окисним компонентом. У реальності процеси згоряння ніколи не бувають ідеальними або повними. У димових газах, що утворюються при згоранні вуглецю (згоранні вугілля) або вуглецевих сполук (вуглеводні, деревина, тощо), буде присутній як неспалений вуглець (у вигляді сажі), так і сполуки вуглецю (CO та інші сполуки). Крім того, якщо окисником є повітря, частина азоту буде окиснюватися, перетворюючись у різні оксиди азоту (NO_X), які впливають на навколишнє середовище [122, Вікіпедія – Горіння, 2007].

Спалювальні установки

Спалювальні установки, що розглядаються у цьому розділі – це нагрівальні пристрої або установки, у яких згорання палива (у тому числі відходів) використовується для виробництва тепла і його передавання певному технологічному процесу. Серед них є такі приклади застосування:

- котли для виробництва пари або гарячої води (також див. розділ 3.2);
- технологічні нагрівники – наприклад, для нагрівання сирої нафти на дистиляційних установках, для здійснення парового крекінгу на нафтохімічних заводах або для парового риформінгу у виробництві водню;
- печі або агрегати, у яких матеріали нагріваються за високих температур, які викликають їх хімічне перетворення, – наприклад, цементні печі та печі для виробництва металів.

У всіх цих випадках застосування енергією можна керувати, регулюючи параметри технологічного процесу і здійснюючи регулювання з боку згорання. Стратегії енергетичного менеджменту, пов'язані з технологічним процесом, залежать від самого технологічного процесу і розглядаються у документах BREF для відповідних секторів.

Втрати у процесі згорання

Теплова енергія, яка виділяється при згоранні палива, передається робочому тілу. Втрати тепла можна класифікувати у такий спосіб [125, EIPPCB]:

- втрати з відпрацьованими газами. Вони залежать від температури димових газів, паливо-повітряної суміші, складу палива та засміченості котла;
- втрати з неспаленим паливом, хімічну енергію якого не вдалося перетворити. Внаслідок неповного згорання у димових газах з'являються CO та вуглеводні;
- втрати за рахунок теплопровідності та випромінювання. У виробництві пари ці втрати залежать головним чином від ізоляції парогенератора та паропроводів;

- втрати з неспаленим матеріалом у складі решток, у тому числі втрати, зумовлені виходом неспаленого вуглецю у складі подової золи і золи-уносу для котла з твердим шлаковидаленням (DBB) та у складі шлаку і золи-уносу для котла з рідким шлаковидаленням (WBB);
- втрати з продувкою котлів у виробництві пари.

Окрім втрат тепла, також потрібно враховувати споживання енергії, необхідне для роботи допоміжного обладнання (обладнання для транспортування палива, вугільних млинів, насосів та вентиляторів, систем видалення золи, очищення поверхонь нагрівання, тощо).

Вибір технологій спалювання
Поширені технології виробництва енергії на великих спалювальних установках (з тепловою потужністю >50 МВт) та з використанням різних видів палива (наприклад, біомаса та торф, рідкі або газоподібні види палива) детально розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP). У Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) зазначено, що наведена інформація також дійсна для менших установок (оскільки установка з тепловою потужністю >50 МВт може складатися з кількох менших агрегатів).

Для зручності користувача у Таблиці 3.2 наведено підсумок технологій, які розглядаються як у цьому документі, так і в Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) і роблять внесок в енергоефективність згорання. Технології спалювання, вже розглянуті у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), не розглядаються у цьому документі, щоб не дублювати інформацію. Таким чином, щоб отримати детальнішу інформацію про ці технології, користувачу варто звернути увагу на Довідковий документ з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP). Втім, у деяких випадках цей документ містить додаткову інформацію про технології, вже розглянуті у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP). Зверніть увагу, що у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) технології спалювання, які слід розглянути для визначення НДТМ, класифікуються за типом палива, яке в них використовується. Застосовність технологій може різнитися залежно від конкретного об’єкта.

Якщо важливою складовою технологічного процесу, для якого актуальне комплексне запобігання та контроль забруднень, є згорання (наприклад, у випадку скловарних печей), технології, які використовуються у такому процесі, розглядаються у відповідних галузевих документах BREF.

	Технології для секторів та пов’язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива та розділом				**Технології, описані у цьому документі, за розділом**
	Кам’яне та буре вугілля	**Біомаса та торф**	**Рідке паливо**	**Газоподібне паливо**	
Попереднє сушіння бурого вугілля	4.4.2				
Газифікація вугілля	4.1.9.1, 4.4.2 та 7.1.2				
Сушіння палива		5.1.2, 5.4.2 5.4.4			
Газифікація біомаси		5.4.2 7.1.2			

	Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива та розділом				Технології, описані у цьому документі, за розділом
	Кам'яне та буре вугілля	Біомаса та торф	Рідке паливо	Газоподібне паливо	
Когенерація	4.5.5, 6.1.8	5.3.3 5.5.4	4.5.5, 6.1.8	7.1.6, 7.5.2	3.4 Когенерація
Розширене автоматизоване керування умовами згорання для зниження викидів та підвищення ефективності роботи котла	4,2.1, 4.2.1.9, 4,4.3 4,5.4	5.5.3	6,2.1, 6.2.1.1 6.4.2 6.5.3.1	7.4.2 7.5.2	
Використання теплоти, що міститься в димових газах, для централізованого опалення	4.4.3				
Мала кількість надлишкового повітря	4.4.3 4.4.6	5.4.7	6.4.2 6.4.5	7.4.3	3.1.3 Зменшення масової витрати димових газів шляхом зменшення кількості надлишкового повітря
Зниження температур вихлопних газів	4.4.3		6.4.2		3.1.1.: Зниження температури димових газів такими способами: • вибір розмірів, які забезпечать максимальну ефективність роботи, з застосуванням розрахункового коефіцієнта запасу для врахування додаткових навантажень; • посилення теплопередачі до технологічного процесу шляхом збільшення коефіцієнта теплопередачі або збільшення чи вдосконалення поверхонь теплопередачі; • регенерація тепла шляхом об'єднання з додатковим процесом (наприклад, виробництвом пари за допомогою економайзерів) для регенерації відхідного тепла, що міститься у димових газах;

					• встановлення повітряного чи водяного підігрівача (див. розділ 3.1.1.1) або підігрівання палива за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо); • очищення поверхонь теплопередачі, які поступово вкриваються золою або вуглевмісними твердими частками, для підтримання високої ефективності теплопередачі. Чистоту конвективних зон можна підтримувати за допомогою сажообдувальних апаратів. Очищення поверхонь теплопередачі у зоні згорання, як правило, здійснюється під час зупинки на огляд і технічне обслуговування, проте у деяких випадках (наприклад, у нагрівниках нафтопереробних заводів) може застосовуватися оперативне очищення.
Низька концентрація CO у димових газах	4.4.3		6.4.2		
Акумулювання тепла			6.4.2	7.4.2	
Скиди з градирні	4.4.3		6.4.2		
Різні технології для системи охолодження (див. Довідковий документ з НДТМ для промислових систем охолодження – ICS BREF)	4.4.3		6.4.2		

	Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива та розділом				Технології, описані у цьому документі, за розділом
	Кам'яне та буре вугілля	Біомаса та торф	Рідке паливо	Газоподібне паливо	
Підігрівання газоподібного палива за допомогою відхідного тепла				7.4.2	3.1.1 Зниження температури димових газів, • підігрівання палива за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо).
Підігрівання повітря, що надходить для згорання				7.4.2	3.1.1 Зниження температури димових газів • встановлення підігрівача повітря, який працює за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо).
Рекуперативні та регенеративні пальники					3.1.2
Регулювання та контроль пальників					3.1.4
Вибір палива					3.1.5
Киснево-паливне горіння (кисневе паливо)					3.1.6
Зменшення втрат тепла через ізоляцію					3.1.7
Зменшення втрат через дверцята топки					3.1.8
Спалювання в киплячому шарі	4.1.4.2	5.2.3			

Таблиця 3.2. Огляд технологій спалювання, які роблять внесок у підвищення енергоефективності, описаних у Довідкових документах з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) та енергоефективності (ENE)
[236, Фернандес-Рамос (Fernandez-Ramos), 2007]

Питання з боку пари повністю розглядаються у розділі 3.2, хоча частина інформації неминуче буде повторюватися в цьому розділі.

Загальний енергетичний баланс
Викладена нижче інформація стосується як полуменевого спалювання (за допомогою пальника), так і спалювання в киплячому шарі. При цьому розглядається керування енергією лише з боку згорання – від входів палива та повітря до вихлопу димових газів у димову трубу.

Загальний енергетичний баланс спалювальної установки за низьких температур технологічного процесу зображений на Рисунку 1.1.

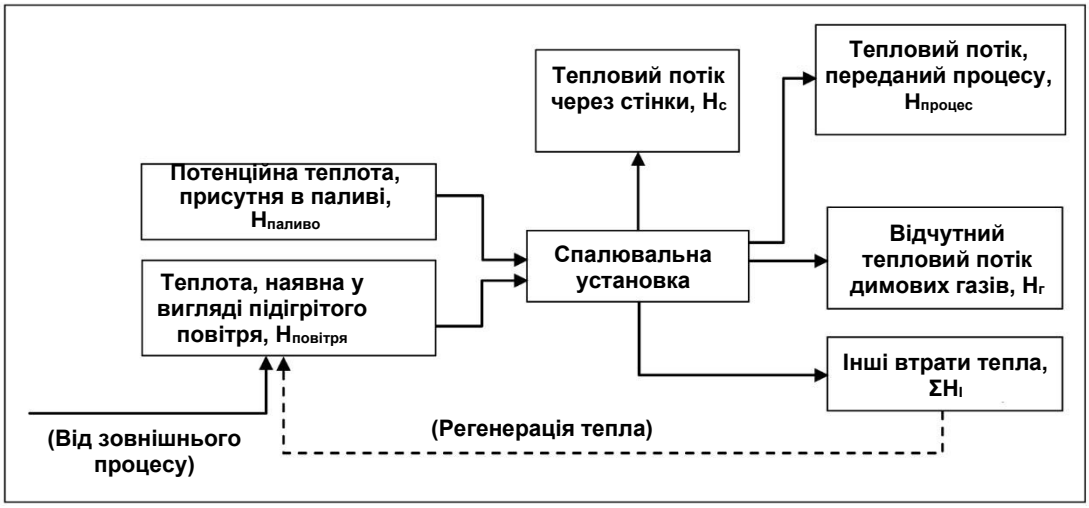


Рисунок 3.1. Енергетичний баланс спалювальної установки
[91, CEFIC, 2005]

Пояснення різних потоків енергії
Потенційна теплота, присутня у паливі, $H_{паливо}$, залежить від його масової витрати і теплоти згорання (кількості енергії, яка вивільняється при згоранні питомої маси палива). Теплота згорання виражається у МДж/кг. Вища теплотворна здатність або вища теплота згоряння (ВТЗ, або теплотворна здатність брутто – ТЗБ) палива – це загальна теплота, отримана після охолодження продуктів згорання до початкової температури палива: Нижча теплота згорання (НТЗ) – це загальна теплота, яка виділяється при згоранні, за вирахуванням енергії, що міститься в неохолоджених продуктах згорання включно з несконденсованою водяною парою. Нижча теплотворна здатність (НТЗ) палива зазвичай на 5 – 10 % менша, ніж ВТЗ. (Детальніші пояснення та деякі типові значення наведені у розділі 1.3.6.2).

Теплота, що передається процесу, $H_{паливо}$, – це енергія, яка виділяється у процесі згорання, що протікає у спалювальній системі. Вона складається з відчутної теплоти (підвищення температури), прихованої теплоти випаровування (якщо нагріта рідина частково або повністю випаровується) та хімічної теплоти (якщо відбувається ендотермічна хімічна реакція).

Відхідний тепловий потік димових газів, $H_г$, віддається повітрю і втрачається. Він залежить від витрати димових газів, їх теплоємності, прихованої теплоти води, яка утворюється при згоранні і присутня в димових газах, та температури димових газів. Витрату димових газів можна розділити на дві складові:

- «стехіометричний потік» CO_2 та H_2O, який виникає у результаті реакцій згорання, та пов'язаного з ними азоту (величина цього стехіометричного потоку пропорційна значенню $H_{паливо}$), та
- потік надлишкового повітря – тобто кількості повітря, внесеної понад стехіометричну кількість, для забезпечення повного згоряння. Надлишок повітря напряму пов'язаний з концентрацією кисню в димових газах.

Тепловий потік через стінки, H_c, – це енергія, яка втрачається внаслідок теплопередачі з зовнішньої поверхні печі / котла до навколишнього повітря. Інші втрати тепла разом позначаються ΣH_1 і охоплюють:

- неокиснені або частково окиснені рештки, як-от вуглець, CO, тощо;
- тепловміст твердих решток (золи).

По суті, з урахуванням збереження енергії ми отримаємо таке рівняння:

$$H_{паливо} + H_{повітря} = H_{процес} + H_г + H_c + \Sigma H_1 \qquad \textbf{Рівняння 3.1}$$

Це загальний баланс, який можна пристосовувати до конкретних випадків, змінюючи члени $H_{повітря}$ та ΣH_1:

- залежно від конфігурації, у баланс можуть бути додані інші потоки енергії. Це стосується, наприклад, випадку, коли в піч додаються або з печі втрачаються інші матеріали, наприклад:
  - гаряча зола при згоранні вугілля;
  - вода, що вприскується в камеру згорання з метою контролю викидів;
  - вміст енергії у повітрі, що подається для згорання;
- цей баланс базується на припущенні, що згорання повне: це припущення правомірне за умови, що неспалені компоненти, як-от чадний газ або вуглевмісні тверді частки містяться в димових газах у невеликих кількостях, що характерно для випадку, коли установка відповідає граничним значенням викидів[19].

<u>Енергетичний ККД спалювальної установки</u>

Енергетичний ККД спалювальної установки – це, по суті, відношення енергії, що виділяється у процесі згорання, до енергії, що підводиться з паливом:

$$\eta = \frac{H_{процес}}{H_{паливо}} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.2}$$

Або, з урахуванням Рівняння 3.1:

$$\eta = 1 - \frac{H_г + H_c}{H_{паливо}} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.3}$$

Використовувати можна обидві формули, проте на практиці зазвичай зручніше застосовувати Рівняння 3.3, оскільки воно показує кількість втрачених складових енергії, на яких можна заощадити. Стратегії, спрямовані на підвищення енергоефективності, базуються на зниженні теплових потоків, що втрачаються через стінки або з димовими газами.

Якщо підвищення енергетичного ККД спалювальної установки призводить до скорочення споживання палива, воно приносить додаткову вигоду у вигляді зниження викидів CO_2. У цьому випадку викиди CO_2 зменшуються пропорційно вмісту вуглецю в паливі, яке вдалося заощадити. Проте за рахунок підвищення ККД також можна збільшити кількість енергії, що виділяється у процесі згорання, залишивши витрату палива незмінною (тобто збільшити $H_{процес}$ за такого ж значення $H_{паливо}$ у Рівнянні 3.2). Таким чином можна збільшити продуктивність виробничого агрегату, і водночас підвищити енергетичний ККД. У цьому випадку зменшуються питомі викиди CO_2 (приведені до об'єму виробництва), проте викиди CO_2 в абсолютних величинах не знижуються (див. розділ 1.4.1).

[19] На електростанції, що працює на пилоподібному вугіллі, вміст неспаленого вуглецю в золі за нормальних умов роботи менший, ніж 5 %.

Значення енергетичних ККД та розрахунки різних процесів згорання наведені в документах BREF для конкретних секторів та в інших джерелах – наприклад, у стандарті EN 12952-15, який присвячений розрахунку енергетичного ККД водотрубних парових котлів та допоміжних установок, або у стандарті EN 12953-11 на жаротрубні котли.

3.1.1 Зниження температури димових газів

Опис
Один із варіантів зменшення потенційних втрат енергії у процесі згорання полягає у зниженні температури димових газів, що виходять із комина. Цього можна досягти за допомогою таких заходів:

- вибір розмірів, які забезпечать максимальну ефективність роботи, з застосуванням розрахункового коефіцієнта запасу для врахування додаткових навантажень;
- посилення теплопередачі до технологічного процесу за рахунок збільшення коефіцієнта теплопередачі (шляхом встановлення турбулізаторів або інших пристроїв, що збільшують турбулентність текучих середовищ, які обмінюються теплотою) або збільшення чи вдосконалення поверхонь теплопередачі;
- регенерація тепла шляхом об'єднання з додатковим процесом (наприклад, виробництвом пари за допомогою економайзерів – див. розділ 3.2.5) для регенерації відхідного тепла, що міститься у димових газах;
- встановлення повітряного (чи водяного підігрівача) або підігрівання палива за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1.1). Зверніть увагу, що виробничий процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо). Підігріту воду можна використовувати у якості живильної води для котла або у системах гарячої води (наприклад, у централізованих схемах);
- очищення поверхонь теплопередачі, які поступово вкриваються золою або вуглевмісними твердими частками, для підтримання високої ефективності теплопередачі. Чистоту конвективних зон можна підтримувати за допомогою сажообдувальних апаратів. Очищення поверхонь теплопередачі у зоні згорання, як правило, здійснюється під час зупинки на огляд і технічне обслуговування, проте у деяких випадках (наприклад, у нагрівниках нафтопереробних заводів) може застосовуватися оперативне очищення.
- слідкування за тим, щоб вихід енергії від згорання відповідав потребам у теплоті (і не перевищував їх). Це можна контролювати, знижуючи теплову потужність пальника за рахунок зменшення витрати палива – наприклад, шляхом встановлення менш потужної форсунки для рідкого палива або шляхом зниження тиску подавання палива у випадку газоподібного палива.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Зниження температури димових газів у деяких випадках може погіршувати якість повітря, наприклад:

- підігрівання повітря, що подається для згорання, призводить до підвищення температури полум'я і, як наслідок, більш інтенсивного утворення NO_X, внаслідок чого їх рівні можуть перевищити граничне значення викидів. Модернізацію існуючої спалювальної установки для підігрівання повітря може бути важко виправдати, оскільки вона потребує місця, встановлення додаткових вентиляторів та додаткового процесу видалення NO_X, якщо викиди NO_X перевищують граничні значення викидів. Слід зазначити, що процес видалення NO_X, який базується на

вприскуванні аміаку або сечовини, створює потенціал для проскоку аміаку у димових газах, який можна контролювати лише за допомогою дорогого датчика аміаку та контура керування, а у випадку великих коливань навантаження потрібна ще й складна система вприскування (наприклад, дві вприскувальні рампи на різних рівнях), щоб вприскувати реагент для відновлення NO_X у правильну температурну зону;

- системи очищення газів, як-от системи видалення NO_X або SO_X, працюють лише у певному діапазоні температур. Якщо ці системи потрібно встановити, щоб забезпечити дотримання граничних значень викидів, компонування систем очищення газів та регенерації тепла може ускладнитися, і їх може бути важко виправдати з економічної точки зору;
- у деяких випадках місцеві органи влади вимагають, щоб температура у димовій трубі не була нижчою, ніж певне мінімальне значення: це потрібно, щоб димові гази належним чином розсіювалися, і над трубою не утворювався шлейф. До цього часто вдаються для підтримання хорошого іміджу в очах громадськості. Шлейф, який виходить із димової труби заводу, може наштовхувати населення на думку, що завод забруднює довкілля. Відсутність шлейфа створює враження, що завод працює чисто, і за певних погодних умов деякі заводи (наприклад, печі для спалювання сміття) повторно підігрівають димові гази природним газом, перш ніж випускати їх із димової труби, – а це марна втрата енергії.

Експлуатаційні параметри
Чим нижча температура димових газів, тим вища енергоефективність. Проте, якщо температури димових газів впадуть нижче певних рівнів, можуть виникнути певні недоліки. Зокрема, якщо установка працюватиме нижче кислотної точки роси (температура, нижче якої вода та сірчана кислота конденсуються – зазвичай від 110 до 170 °C, залежно головним чином від вмісту сірки в паливі), металеві поверхні можуть пошкодитися. Щоб цього не сталося, можна використовувати матеріали, стійкі до корозії: вони є для установок, що працюють на мазуті, відходах та газі. Втім, кислотний конденсат все рівно може бути потрібно збирати і обробляти.

Застосовність
Описані вище стратегії – крім періодичного очищення – потребують додаткових інвестицій, і їх найкраще застосовувати на етапі проєктування та будівництва установки. Проте можна модернізувати й існуючу установку (якщо на ній є місце).

У деяких випадках їх застосування може обмежуватися різницею між температурою на вході технологічного процесу та температурою вихлопу димових газів. Кількісне значення цієї різниці визначається шляхом знаходження компромісу між регенерацією енергії та вартістю обладнання.

Регенерація тепла завжди залежить від наявності належного вжитку (див. розділ 3.3).

Див. пояснення про потенційну можливість утворення забруднюючих речовин у пункті «Міжсередовищні наслідки» вище.

Економіка
Період окупності може варіюватися від менш ніж п’яти років і аж до п'ятдесяти років залежно від багатьох параметрів, як-от розмір установки та температури димових газів.

Рушій для впровадження
Підвищення ефективності технологічного процесу, у якому присутнє безпосереднє нагрівання (наприклад, виробництво скла, цементу).

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[17, Асбланд (Asbland), 2005, 26, Нейсекке (Neisecke), 2003, 122, Вікіпедія – Горіння, 2007, 125, EIPPCB]

3.1.1.1 Встановлення повітряного або водяного підігрівача

Опис
Окрім економайзера (розділ 3.2.5), також можна встановити повітряний підігрівач (повітряно-повітряний теплообмінник). Цей повітряний підігрівач, або ППГ, нагріває повітря, яке надходить на пальник. Це означає, що димові гази можна ще сильніше охолодити, оскільки повітря зазвичай має температуру навколишнього середовища. Вища температура повітря покращує згорання, і повний ККД котла збільшиться. Загалом за кожні 20 °C, на які знижується температура димових газів, можна досягти підвищення ККД на 1 %. Схема спалювальної системи з повітряним підігрівачем зображена на Рисунку 3.2.

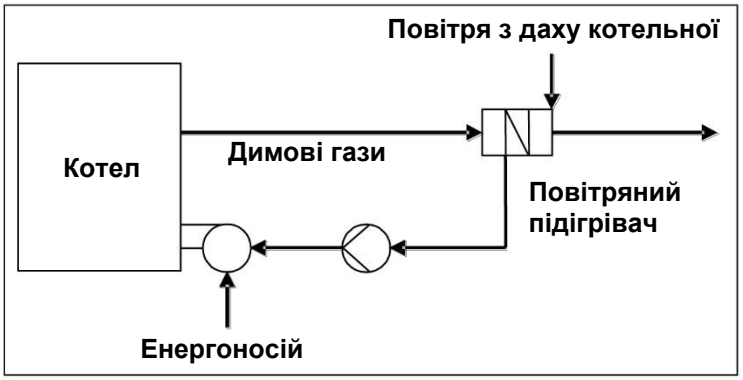


Рисунок 3.2. Схема спалювальної системи з повітряним підігрівачем [28, Бергер (Berger), 2005]

Менш ефективним, але простішим способом підігрівання може бути влаштування забору повітря для пальника на стелі котельної. Як правило, повітря тут на 10 – 20 °C тепліше у порівнянні з температурою надворі. Це може частково компенсувати втрати ККД.

Ще одне рішення – забирати повітря для пальника через вихлопну трубу з подвійними стінками. Димові гази виходять із котельної по внутрішній трубі, а повітря для пальника забирається через другий шар труби. Таким чином можна підігрівати повітря теплом, що втрачається з димових газів.

Як варіант, можна встановити повітряно-повітряний теплообмінник.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
На практиці повітряний підігрівач здатний підвищити ККД на 3 – 5 %.

Інші переваги повітряного підігрівача можуть полягати у тому, що:

- гаряче повітря можна використовувати для сушіння палива. Це особливо стосується вугілля або органічних видів палива;
- передбачивши повітряний підігрівач на етапі проєктування, можна використовувати невеликий котел;
- його можна використовувати для підігрівання сировини.

Міжсередовищні наслідки
Втім, у повітряного підігрівача є деякі практичні недоліки, які часто перешкоджають його встановленню:

- повітряний підігрівач – це газо-газовий теплообмінник, тому він займає багато місця. Теплообмін у ньому також не такий ефективний, як між газом та водою;
- більше падіння тиску димових газів означає, що вентилятор пальника повинен створювати вищий тиск;
- пальник повинен забезпечувати живлення системи підігрітим повітрям. Нагріте повітря займає більше об'єму. Крім того, через це загострюється проблема зі стійкістю факела полум'я;
- вищі температури полум'я можуть призвести до збільшення викидів NO_x.

Експлуатаційні параметри

Живлення пальника підігрітим повітрям впливає на кількість втрат з димовими газами у котлі.

Відсоток втрат з димовими газами у загальному випадку визначається за формулою Зігерта:

$$W_L = \frac{H_г}{H_{паливо}} = c \times \frac{T_{газ} - T_{повітря}}{\%CO_2} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.4}$$

де:

- W_L = втрати з димовими газами у % теплоти згорання (%)
- c = коефіцієнт Зігерта
- $T_{газ}$ = виміряна температура димових газів (°C)
- $T_{повітря}$ = температура повітря, яке підводиться (°C)
- % CO_2 = виміряна концентрація CO_2 у димових газах, виражена у відсотках.

Коефіцієнт Зігерта залежить від температури димових газів, концентрації CO_2 та типу палива. Різні значення наведені у Таблиці 3.3 нижче:

Вид палива	**Коефіцієнт Зігерта**
Антрацит	0,6459 + 0,0000220 x $t_{газ}$ + 0,00473 x CO_2
Важкий мазут	0,5374 + 0,0000181 x $t_{газ}$ + 0,00717 x CO_2
Бензин	0,5076 + 0,0000171 x $t_{газ}$ + 0,00774 x CO_2
Природний газ (НТЗ)	0,385+ 0,00870 x CO_2
Природний газ (ВТЗ)	0,390+ 0,00860 x CO_2

Таблиця 3.3. Розрахунок коефіцієнта Зігерта для різних типів палива [29, Maec, 2005]

Приклад: у паровому котлі, який працює на високоякісному природному газі, димові гази мають такі параметри: $t_{газ}$ = 240 °C та CO_2 = 9,8 %. Система постачання повітря модифікована таким чином, що у котел забирається тепліше повітря з-під стелі котельної. Раніше повітря забиралося з надвірною температурою.

Середня температура повітря надворі – 10 °C, а середньорічна температура біля стелі котельної – 30 °C.

Коефіцієнт Зігерта у цьому випадку буде таким: 0,390 + 0,00860 x 9,8 = 0,4743.

Перш ніж було вжито цих заходів, втрати з димовими газами складали:

$$W_R = 0.4743 \times \frac{240 - 10}{9.8} = 11.1\%$$

Після вжиття заходів втрати стали такими:

$$W_R = 0.4743 \times \frac{240 - 30}{9.8} = 10.2\%$$

Це відповідає підвищенню ККД на 0,9 %, і при цьому його легко досягти – наприклад, шляхом перенесення точки забору повітря в інше місце.

Застосовність
Встановлення повітряного підігрівача економічно ефективне для нового котла. Внесення змін у постачання повітря або встановлення повітряного підігрівача часто обмежене технічними міркуваннями або вимогами пожежної безпеки. Оснастити повітряним підігрівачем існуючий котел часто буває надто складно, і ефективність такого заходу обмежена.

Повітряні підігрівачі – це газо-газові теплообмінники, конструкції яких залежать від діапазону температур. Для пальників з природною тягою повітря підігрівати неможливо.

Підігріту воду можна використовувати у якості живильної води для котла або у системах гарячої води (наприклад, у централізованих схемах).

Економіка
На практиці заощадження, яких можна досягти за рахунок підігрівання повітря, що подається для згорання, становлять кілька відсотків від об'єму пари, що виробляється, як видно з Таблиці 3.4. Таким чином, заощадження енергії навіть у невеликих котлах можуть бути порядку кількох ГВт·год. на рік. Наприклад, для котла потужністю 15 МВт можна досягти заощаджень близько 2 ГВт·год./рік, десь 30 000 євро/рік і приблизно 400 т CO_2/рік.

	Одиниця вимірювання	**Значення**
Заощадження енергії	МВт·год./рік	Кілька тисяч
Зниження викидів CO2	т/рік	Кілька сотень
Заощадження в євро	євро/рік	Десятки тисяч
Кількість годин роботи на рік	год./рік	8700

Таблиця 3.4. Можливі заощадження за рахунок підігрівання повітря, що подається для згорання
[28, Бергер, 2005]

Рушій для впровадження
Підвищення енергетичного ККД процесів.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[29, Маес, 2005], [16, Міжурядова рада країн-експортерів міді (CIPEC), 2002]

3.1.2 Рекуперативні та регенеративні пальники

Втрати енергії є однією з основних проблем для процесів нагрівання у промислових печах. У випадку використання традиційної технології близько 70 % підведеного тепла буде втрачатися з димовими газами, температура яких становить приблизно 1300 °C. Тому велику роль відіграють заходи з заощадження енергії – особливо у випадку високотемпературних процесів (з температурами від 400 до 1600 °C).

Опис

З огляду на згадані проблеми було розроблено рекуперативні та регенеративні пальники для безпосередньої регенерації відхідного тепла шляхом підігрівання повітря, що подається для згорання. Рекуператор – це теплообмінник, який відбирає тепло від відхідних пічних газів і використовує його для підігрівання вхідного повітря, що надходить для згорання. У порівнянні з системами, в яких для згорання подається холодне повітря, від рекуператорів можна очікувати заощаджень енергії у розмірі близько 30 %. Проте вони, як правило, нагрівають повітря лише до 550 – 600 °C. Рекуперативні пальники можна використовувати у високотемпературних процесах (700 – 1100 °C).

Регенеративні пальники працюють парами, і їх принцип дії полягає у короткотерміновому зберіганні тепла за допомогою керамічних регенераторів тепла – див. Рисунок 3.3. Вони регенерують 85 – 90 % теплоти з відхідних пічних газів; таким чином, вхідне повітря, яке надходить для згорання, можна нагріти до дуже високих температур – усього на 100 – 150 °C нижчих, ніж робоча температура печі. Температури, за яких застосовується ця технологія, варіюються від 800 до 1500 °C. Споживання палива можна таким чином знизити на 60 %.

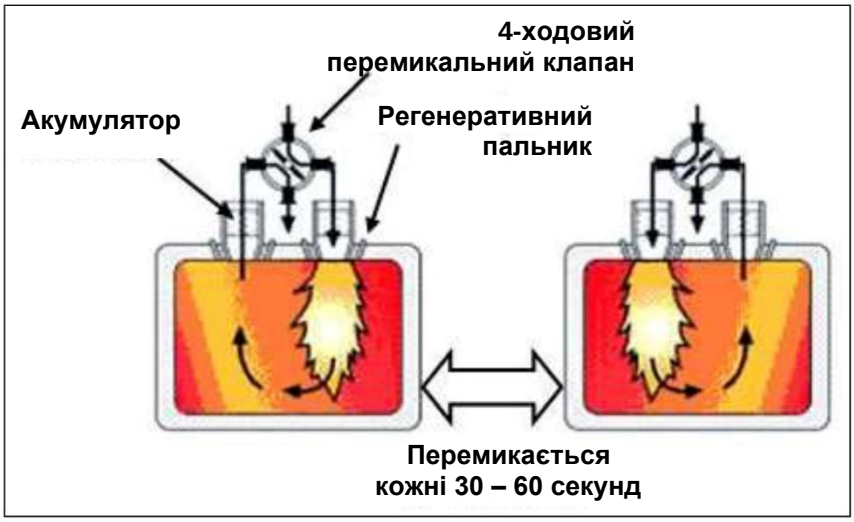


Рисунок 3.3. Принцип роботи регенеративних пальників
[17, Асбланд, 2005]

Рекуперативні та регенеративні пальники (на базі технології сильно підігрітого повітря – HiTAC) використовуються у новаторському режимі згорання з однорідною температурою полум'я (безполуменеве горіння – див. розділ 5.1) та суттєво розширеною зоною згорання, у якому немає піків температур, властивих для звичайного полум'я. На Рисунку 3.4 показані різні області горіння за різних концентрацій кисню та температур повітря.

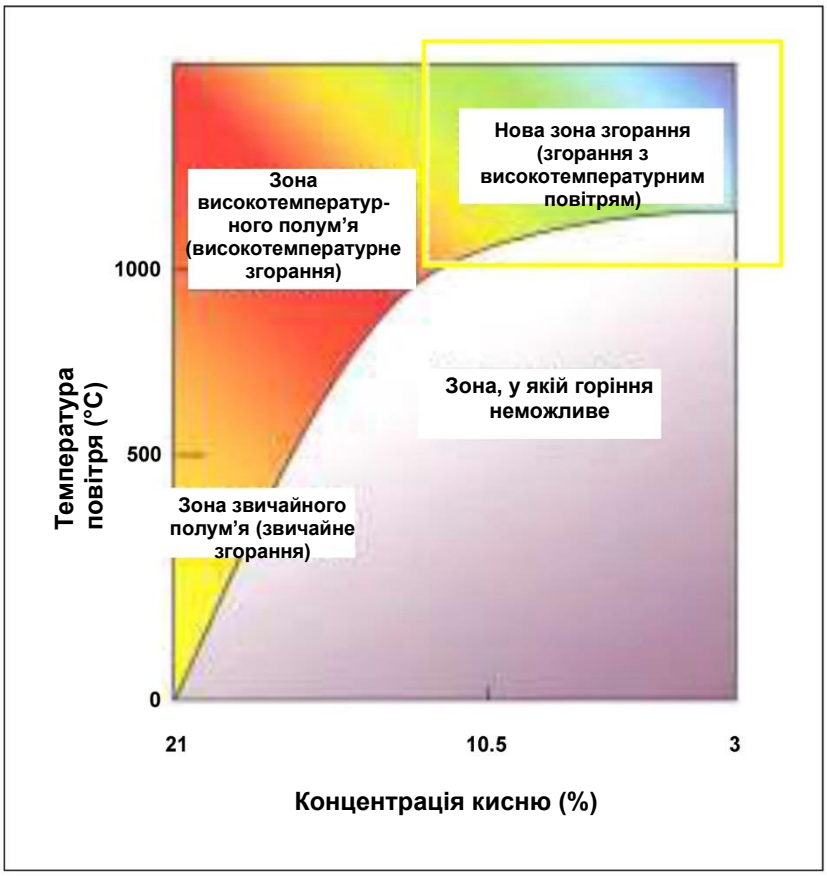


Рисунок 3.4. Різні області горіння
[17, Асбланд, 2005]

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Важливим обмеженням, яке накладається на технологію сучасних рекуперативних / регенеративних пальників, є конфлікт між технологіями, призначеними для зниження викидів, і технологіями, орієнтованими на ефективність. Для видів палива, які не містять азоту, утворення NO_x описується, по суті, функцією від температури, концентрації кисню та часу перебування в печі. Через високі температури підігрітого повітря і тривалий час перебування палива в печі полум'я, якщо воно горить у звичайному режимі, матиме високу пікову температуру, що призводить до суттєвого підвищення викидів NO_x.

Експлуатаційні параметри
У промисловій печі повітря, що подається для згорання, можна нагрівати до температур від 800 до 1350 °C за допомогою високоефективного теплообмінника. Наприклад, сучасний регенеративний теплообмінник, переведений на високотемпературний цикл, здатний регенерувати аж 90 % відхідного тепла. Завдяки цьому заощаджується велика кількість енергії.

Застосовність
Широко застосовується.

Економіка
Недоліком цих пальників є інвестиційні витрати. Саме лише зниження витрат на енергію рідко коли може компенсувати підвищені інвестиційні витрати. Тому важливими чинниками, які потрібно враховувати в аналізі витрат та вигод, є підвищення продуктивності печі та зниження викидів оксидів азоту.

Рушій для впровадження
Важливими чинниками є підвищення продуктивності печі та зниження викидів оксидів азоту.

Приклади заводів
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[220, Блясяк В. (Blasiak W.), 2004, 221, Ян В., 25 травня 2005 року, 222, Ян В., 2005, 223, Рафіді Н. (Rafidi N.), 2005, 224, Мортберг М. (Mortberg M.), 2005, 225, Рафіді Н., червень 2005 року, 226, Центр аналізу та поширення експериментальних енергетичних технологій (CADDET), 2003, березень]

3.1.3 Зменшення масової витрати димових газів шляхом зменшення кількості надлишкового повітря

Опис
Кількість надлишкового повітря можна мінімізувати шляхом регулювання витрати повітря пропорційно витраті палива. У цьому значно допомагає автоматизоване вимірювання вмісту кисню в димових газах. Залежно від того, як швидко коливається потреба технологічного процесу у теплі, кількість надлишкового повітря може задаватися вручну або регулюватися автоматично. Якщо кількість повітря буде надто малою, полум'я згасне, а потім знову спалахне, і зворотний удар полум'я пошкодить установки. Тому з міркувань безпеки завжди повинен бути присутній певний запас надлишкового повітря (зазвичай 1 – 2 % для газоподібного палива та 10 % для рідкого палива).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
У міру того, як зменшується кількість надлишкового повітря, утворюється все більше неспалених компонентів, як-от вуглевмісні тверді частки, чадний газ та вуглеводні, і граничні значення викидів можуть зрештою бути перевищені. Це обмежує можливість підвищення ефективності за рахунок зменшення кількості надлишкового повітря. На практиці кількість надлишкового повітря коригується до таких значень, за яких викиди будуть меншими, ніж граничне значення.

Експлуатаційні параметри
Зменшення кількості надлишкового повітря також обмежується з тих міркувань, що воно призводить до підвищення температури неочищених газів, а дуже високі температури можуть пошкодити всю систему.

Застосовність
Мінімальна кількість надлишкового повітря, якої можна досягти без виходу викидів за межі граничних значень, залежить від пальника та технологічного процесу.

Слід пам'ятати, що при спалюванні твердих відходів кількість надлишкового повітря збільшиться. Проте печі для спалювання відходів розраховані на спалюванні відходів і оптимізовані для використання відходів у якості палива.

Економіка
Паливо часто вибирають з міркувань вартості, а крім того, на вибір може впливати законодавство та норми.

Рушій для впровадження
Дає змогу досягти вищих температур технологічного процесу, особливо у процесах з безпосереднім вогневим нагріванням.

Приклади
Деякі установки з виробництва цементу і вапна та енергетичні установки, що працюють на відходах.

Довідкова інформація
[91, CEFIC, 2005, 125, EIPPCB], [126, EIPPCB]

3.1.4 Регулювання та контроль пальників

Опис
Автоматичне регулювання та контроль пальників можна використовувати для керування згоранням шляхом моніторингу та регулювання витрати палива, витрати повітря, рівнів кисню у димових газах та потреби в теплі. Також див. розділи 2.10, 2.15.2 та 3.1.3.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Ця технологія дає змогу заощадити енергію шляхом зменшення витрати надлишкового повітря та оптимізації споживання палива з метою оптимізації вигорання і постачання лише тієї кількості тепла, яка потрібна для технологічного процесу.

Її можна використовувати для мінімізації утворення NO_X у процесі згорання.

Міжсередовищні наслідки
Не передбачається жодних.

Експлуатаційні параметри
Присутній етап початкового налагодження з періодичним повторним калібруванням автоматичних засобів керування.

Застосовність
Широко застосовується.

Економіка
Технологія економічно ефективна, а період окупності залежить від конкретного об’єкта.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів на споживанні палива.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[227, ТРГ]

3.1.5 Вибір палива

Опис
Тип палива, обраний для процесу згорання, впливає на кількість теплової енергії, що постачається на одиницю спожитого палива (див. «Вступ» до розділу 3.1 та розділ 1.3.6.2). Необхідна частка надлишкового повітря (див. розділ 3.1.3) залежить від того, яке паливо використовується, і у випадку твердих видів палива ця залежність посилюється. Таким

чином, вибір палива є одним із способів зменшення кількості надлишкового повітря та підвищення енергоефективності процесу згорання. Як правило, чим більша теплотворна здатність палива, тим ефективніший процес згорання.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Ця технологія дає змогу заощадити енергію за рахунок зменшення витрати надлишкового повітря та оптимізації споживання палива. При згоранні деяких видів палива утворюється менше забруднюючих речовин, залежно від їх джерела (наприклад, природний газ містить дуже мало сірки, яка могла б окислитися до SO_X, і не містить металів). Інформація про ці викиди та вигоди наведена у галузевих документах BREF для різних секторів, у яких вибір палива вважається чинником, що суттєво впливає на викиди.

Вибір палива з меншою теплотворною здатністю може бути обумовлений іншими екологічними чинниками, як-от (див. розділ 1.1.3):

- паливо з екологічного джерела;
- регенерація теплової енергії з відхідних газів, рідких або твердих відходів, що використовуються у якості палива;
- мінімізація впливу інших чинників впливу на навколишнє середовище – наприклад, транспортування.

Міжсередовищні наслідки
Різні викиди характерні для певних видів палива – наприклад, тверді частки, SO_X та метали характерні для вугілля. Інформація про ці впливи наведена у галузевих документах BREF для різних секторів, у яких вибір палива вважається чинником, що суттєво впливає на викиди.

Експлуатаційні параметри
Не вказано.

Застосовність
Широко застосовується під час вибору проєкту нової установки або установки, яка модернізується.
У випадку існуючих установок вибір палива обмежений конструкцією спалювальної установки (тобто установку, яка працює на вугіллі, не можна в одну мить перевести на спалювання природного газу). Він також може бути обмежений з огляду на основну господарську діяльність установки – наприклад, у випадку печі для спалювання відходів.

На вибір палива також може впливати законодавство та норми, у тому числі місцеві та транскордонні екологічні вимоги.

Економіка
Паливо вибирають переважно з міркувань вартості.

Рушій для впровадження
- Ефективність процесу згорання.
- Зниження викидів інших забруднюючих речовин.

Приклади
- Відходи, які спалюються у якості послуги на енергетичних установках, що працюють на відходах (печі для спалювання відходів з регенерацією тепла).
- Відходи, що спалюються у цементних печах.
- Спалювання відхідних газів – наприклад, вуглеводневих газів на нафтопереробному заводі або CO на підприємствах з обробки кольорових металів.
- Опалювальні установки та/або електростанції, що працюють на біомасі.

Довідкова інформація
[227, ТРГ]

3.1.6 Киснево-паливне горіння (кисневе паливо)

Опис
Кисень використовується замість навколишнього повітря і видобувається з повітря на об'єкті або – частіше – купується великими партіями.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Використання цієї технології має ряд переваг:

- підвищений вміст кисню призводить до зростання температури згорання, внаслідок чого енергія більш інтенсивно передається до технологічного процесу: це допомагає зменшити кількість неспаленого палива, а отже, підвищити енергоефективність і водночас знизити викиди NO_X;
- оскільки повітря на 80 % складається з азоту, масова витрата газів відповідною мірою зменшується, а отже, зменшується масова витрата димових газів;
- це також призводить до зниження викидів NO_X, оскільки суттєво зменшується вміст азоту у пальниках;
- крім того, за менших масових витрат димових газів також може бути достатньо менших систем очищення димових газів (наприклад, для видалення NO_X, якщо це все ще потрібно, твердих часток, тощо), а отже, зменшиться їх потреба в енергії;
- якщо кисень виробляється на об'єкті, відділений азот можна використати, наприклад, для перемішування та/або для створення інертної атмосфери в печах, у яких реакції можуть протікати в окисних умовах (наприклад, пірофорні реакції у кольоровій металургії);
- у перспективі може бути вигідною зменшена кількість газів (і висока концентрація CO_2): завдяки цьому уловлювання і видалення CO_2 полегшиться і, можливо, стане менш енергоємним.

Міжсередовищні наслідки
Для отримання концентрованого кисню з повітря потрібна значна кількість енергії, яку потрібно враховувати у всіх енергетичних розрахунках (див. розділ 1.3.6.1).

У скляній промисловості існує велике розмаїття продуктивностей виробництва скляного розплаву, типів скла і типів скловарних печей, які застосовуються для його виготовлення. У кількох випадках перехід на киснево-паливне горіння (наприклад, у порівнянні з рекуперативними печами, для порівняно невеликих печей та для спеціального скла дуже часто підвищував загальну енергоефективність (з урахуванням еквівалентної кількості первинної енергії, потрібної для виробництва кисню). Проте в інших випадках на виробництво кисню витрачається стільки ж або навіть більше енергії, ніж заощаджується. Це особливо характерно для випадку, коли порівнюється загальна енергоефективність киснево-паливних скловарних печей та регенеративних скловарних печей з підковоподібним полум'ям у великомасштабному виробництві тарного скла. Проте очікується, що подальші розробки у технології киснево-паливних скловарних печей поліпшать їх енергоефективність у близькому майбутньому. Крім того, заощадження енергії не завжди покривають витрати на кисень, який потрібно купувати.

Експлуатаційні параметри
У випадку роботи з киснем потрібно враховувати спеціальні вимоги до техніки безпеки, оскільки потоки чистого кисню більш вибухонебезпечні, ніж повітряні потоки.

Крім того, під час роботи з киснем може бути потрібно вживати додаткових запобіжних заходів, оскільки кисневі трубопроводи можуть працювати за дуже низьких температур.

Застосовність
Технологія не набула широкого вжитку у всіх секторах. У скляній промисловості виробники намагаються контролювати температури в зоні згорання скловарної печі у таких межах, які будуть прийнятними для вогнетривких матеріалів, що використовуються в конструкції печі, і при цьому дадуть змогу варити скло потрібної якості. Перехід на киснево-паливне горіння загалом не передбачає підвищення температур у печі (температур вогнетривких матеріалів або скла), проте може поліпшити теплопередачу. У випадку киснево-паливного горіння температури в печі може бути потрібно більш жорстко контролювати, проте вони не вищі, ніж ті, що зустрічаються у повітряно-паливних печах (вищими можуть бути лише температури у ядрі полум'я).

Економіка
Ціна на покупний кисень висока, а у разі самостійного виробництва кисню цей процес потребує великої кількості електроенергії. Повітророздільна установка потребує значних інвестицій, від яких буде суттєво залежати рентабельність киснево-паливного горіння.

Рушій для впровадження
Завдяки меншим витратам відхідних газів системи очищення відхідних газів – наприклад, установки денітрифікації ($deNO_x$) – можна проєктувати меншими. Проте це стосується лише нових будівництв або об'єктів, на яких установки очищення відхідних газів будуть щойно встановлюватися або замінятися.

Приклади
Використовується у скляній промисловості та у галузі рафінування металу (у Польщі – разом з використанням відділеного азоту).

Довідкова інформація
[157, Беркенс Р.Г.К., 2006]

3.1.7 Зменшення втрат тепла через ізоляцію

Опис
Теплові втрати крізь стінки спалювальної системи залежать від діаметра труби та товщини ізоляції. У кожному конкретному випадку потрібно визначити оптимальну товщину ізоляції, яка пов'язана як зі споживанням енергії, так і з економічними міркуваннями.

Ефективна теплоізоляція, яка зводить до мінімуму втрати тепла крізь стінки, зазвичай влаштовується на етапі вводу установки в експлуатацію. Проте ізоляційний матеріал може поступово зношуватися, і у результаті огляду, що проводиться згідно з програмами технічного обслуговування, може виявитися, що його необхідно замінити. Існують деякі технології на базі інфрачервоного бачення, за допомогою яких зручно виявляти ділянки пошкодженої ізоляції, перебуваючи ззовні, у той час як спалювальна установка працює: це дає змогу запланувати ремонт на наступну зупинку.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Використання ізоляційного матеріалу.

Експлуатаційні параметри
Регулярне технічне обслуговування та періодичний контроль мають велике значення для перевірки системи на наявність прихованих витоків (під ізоляцією). У системах з від'ємним тиском витоки можуть призвести до збільшення кількості газу в системі, а відтак до збільшення потреби вентиляторів в електроенергії.

Крім того, об неізольовані частини системи можуть травмуватися оператори, якщо:

- існує ризик дотику до таких ділянок;
- їх температура перевищує 50 °C.

Застосовність
У всіх випадках.

Економіка
Низька вартість, особливо якщо виконувати під час зупинки. Ремонт ізоляції можна виконувати під час кампаній.

Рушій для впровадження
Підтримання температури технологічного процесу.

Приклади
У сталеливарній та скляній промисловості ремонт ізоляції виконується під час кампаній.

Довідкова інформація
[91, CEFIC, 2005]

3.1.8 Зменшення втрат через отвори печі

Опис
Коли отвори в печі відкриваються для завантаження / вивантаження матеріалу, піч може втрачати тепло за рахунок випромінювання. Це особливо суттєво для печей, які працюють за температур понад 500 °C. До таких отворів належать димоходи та димові труби печей, оглядові отвори для візуального контролю технологічного процесу, дверцята, які були залишені частково відкритими, щоб у піч помістився негабаритний матеріал, дверцята, що відкриваються для завантаження і вивантаження матеріалів та/або палива, тощо.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Втрати дуже помітні при скануванні за допомогою інфрачервоних камер. Удосконаливши конструкцію, можна мінімізувати втрати через дверцята та оглядові отвори.

Застосовність
Даних не надано.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація

[127, ТРГ, 271, Міністерство енергетики США, 2004]

3.2 Парові системи

3.2.1 Загальні характеристики пари

Опис

Пара – це один із можливих енергоносіїв у нагрівальних системах на базі текучого середовища. Іншими поширеними енергоносіями є вода та термічна олива. Воду можна використовувати у тих випадках, коли потрібна температура (температури) не перевищує 100 °C. Якщо вода перебуває під тиском (щоб уникнути кипіння), її можна використовувати за температур понад 100 °C – а іноді навіть понад 180 °C. У термічних олив вища точка кипіння (і вони розраховані на довший термін служби), проте у них зазвичай нижча теплоємність і менші коефіцієнти теплопередачі, ніж у пари. Пара має різні переваги, які описані нижче, – зокрема, вона використовується у багатьох випадках, які передбачають безпосередній контакт.

Серед цих переваг – низька токсичність, безпечність у використанні разом із легкозаймистими або вибухонебезпечними матеріалами, простота використання, висока ефективність, висока теплоємність і низька вартість у порівнянні з термічними оливами. Пара здатна утримувати значну кількість енергії на одиницю маси (2300 – 2900 кДж/кг), яку можна видобути у вигляді механічної роботи на турбіні або у вигляді тепла для використання у технологічному процесі. Оскільки більша частина тепловмісту пари зберігається у вигляді прихованого тепла, великі кількості тепла можна ефективно передавати за сталої температури, а це корисна характеристика для багатьох технологічних процесів, які передбачають нагрівання (див. розділ 1.2.2.4). Пара також детально розглядається у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP).

Для перетворення води в пару потрібна велика кількість енергії, яка зберігається у прихованій формі. Завдяки цьому за допомогою пари можна передавати чималу кількість енергії через невелику площу поверхні у порівнянні з іншими теплоносіями:

- вода 4000 Вт/м^2·°C
- олива 1500 Вт/м^2·°C
- пара >10000 Вт/м^2·°C.

На границі між двома фазами водяної газорідинної системи, яка відображається прямою лінією на фазовій діаграмі (див. Рисунок 1.5), тиск пари напряму пов’язаний з температурою. Температуру можна легко регулювати, змінюючи тиск. Робота за високого або низького тиску по-різному впливає на установку (див. пункт «Експлуатаційні параметри» нижче). Тому тиск пари в установці потрібно ретельно враховувати, щоб забезпечити оптимальне співвідношення між надійністю та енергоефективністю.

Про численні переваги пари свідчить значна кількість енергії, яка використовується у промисловості для її виробництва. Наприклад, за 1994 рік у промисловості країн ЄС-15 було використано близько 5988 ПДж парової енергії – близько 34 % від загальної кількості енергії, використаної у промисловості для виробництва продукції. Деякі приклади енергії, що використовується для виробництва пари у різних галузях, наведені у Таблиці 3.5.

Галузь	Енергія, що використовується для виробництва пари	Відсоток від загальної кількості енергії, використаної у цій галузі
Целюлозно-паперова промисловість	2318	83 %
Хімічна промисловість	1957	57 %
Нафтопереробка	1449	42 %

Таблиця 3.5. Енергія, що використовується для виробництва пари у кількох галузях

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Пара сама по собі не токсична.

Міжсередовищні наслідки
- Виробництво пари супроводжується звичайними викидами, характерними для згорання.
- Якщо виконується підготовка котлової води, будуть присутні викиди хімічних речовин з очисних або іонообмінних установок.
- Скидання відпрацьованої пари або гарячого конденсату у каналізацію або водойми може призвести до підвищення температури в них.

Експлуатаційні параметри
Парова система складається з чотирьох окремих компонентів: парогенераційна установка (котел), розподільна система (парова мережа, тобто паропроводи та лінії повернення конденсату), споживач або кінцевий користувач (тобто установка / технологічний процес, що використовує пару / тепло) та система регенерації конденсату. Ефективне виробництво тепла, його розподіл, експлуатація та технічне обслуговування суттєво сприяють скороченню втрат тепла, як описано нижче:

- виробництво пари (див. «Спалювання», розділ 3.1): пара генерується у котлі або у парогенераторі системи регенерації тепла за рахунок передавання теплоти від газоподібних продуктів згоряння до води. Коли вода поглинає достатньо теплоти, її фаза змінюється з рідини на пару. У деяких котлах є пароперегрівач, який додатково збільшує вміст енергії в парі. Після цього пара під тиском надходить із котла або парогенератора у розподільну систему;
- розподіл: система розподілу транспортує пару з котла або парогенератора у точки її кінцевого використання. У багатьох системах розподілу є кілька ліній відбору, які працюють під різними тисками. Ці розподільні лінії розділені різними типами відсічних клапанів, клапанів регулювання тиску та іноді – турбінами з протитиском. Для ефективної роботи розподільної системи потрібен належний баланс тисків пари, хороше відведення конденсату, ефективна ізоляція та дієве регулювання тиску.

Високий тиск пари має такі переваги:

- насичена пара має вищу температуру;
- її об’єм менший, а отже, потрібні розподільні трубопроводи меншого діаметру;
- пару можна розподіляти під високим тиском і знижувати її тиск перед використанням. Пара таким чином стане сухішою, і надійність роботи буде вищою;
- вищий тиск забезпечує більш стабільний процес кипіння у котлі.

Системи низького тиску мають такі перевагу:

- менша втрата енергії на рівні котла та у розподільній системі;

- у конденсаті залишається порівняно невелика кількість енергії (див. розділи 3.2.14 та 3.2.15);
- менші втрати з витоками у трубопровідній системі;
- знижується інтенсивність утворення накипу.

З огляду на високі значення робочого тиску в парових системах, у парових технологічних процесах надзвичайно велике значення має безпека. Крім того, у парових системах часто виникають гідравлічні удари або різні типи корозії. Як наслідок, надійність і термін служби різних компонентів також суттєво залежить від конструкції, налагодження та технічного обслуговування установки;

- кінцеве використання: у пари є багато різних варіантів кінцевого використання, наприклад:
  - механічний привід: турбіни, насоси, компресори, тощо. Як правило, на такому приводі працює великогабаритне обладнання, як-от енергоблоки, великі компресори, тощо;
  - нагрівання: технологічне нагрівання, сушіння всіх типів паперової продукції;
  - використання у хімічних реакціях: сповільнення хімічних реакцій, розділення вуглеводневих компонентів на фракції та використання у якості джерела водню для парового риформінгу метану.

До поширеного обладнання парових систем, у якому відбувається кінцеве використання, належать теплообмінники, турбіни, ректифікаційні колони, відпарні колони та посудини для протікання хімічних реакцій.

Виробництво електроенергії розглядається у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), а ко- та тригенерація розглядаються у розділах 3.4 та 3.4.2 цього документа відповідно.

Під час технологічного нагрівання пара віддає свою приховану теплоту робочій рідині у теплообміннику. У теплообміннику пара утримується в конденсатовідвіднику до тих пір, поки не сконденсується: після цього конденсатовідвідник випускає конденсат у систему відведення конденсату. У турбіні енергія пари перетворюється в механічну роботу, що полягає у приведенні в рух обертових або поршневих машин, таких як насоси, компресори або електрогенератори. У ректифікаційних колонах за допомогою пари розділяються різні компоненти робочої рідини. У відпарних установках пара використовується для відгону забруднюючих речовин із робочої рідини. Пара також використовується у якості джерела води для певних хімічних реакцій:

- регенерація конденсату: коли пара віддає свою приховану теплоту технологічному процесу, вода конденсується в паровій системі і повертається в котел через систему повернення конденсату. Спочатку конденсат повертається у збірний резервуар, звідки він подається насосом у деаератор, який відганяє з конденсату кисень та неконденсовані гази. Підживлювальна вода та хімічні речовини можуть додаватися у збірний резервуар або в деаератор. Живильні насоси котла збільшують тиск живильної води понад тиск котла і вприскують її у котел, завершуючи цикл;
- розрахунок ефективних парових котлів: загальноєвропейська домовленість щодо розрахунку ККД деяких котлів викладена у стандартах CEN EN 12952-15:2003 (водотрубні котли та допоміжні установки: приймальні випробування) і CEN EN 12953-11:2003 (жаротрубні котли: приймальні випробування).

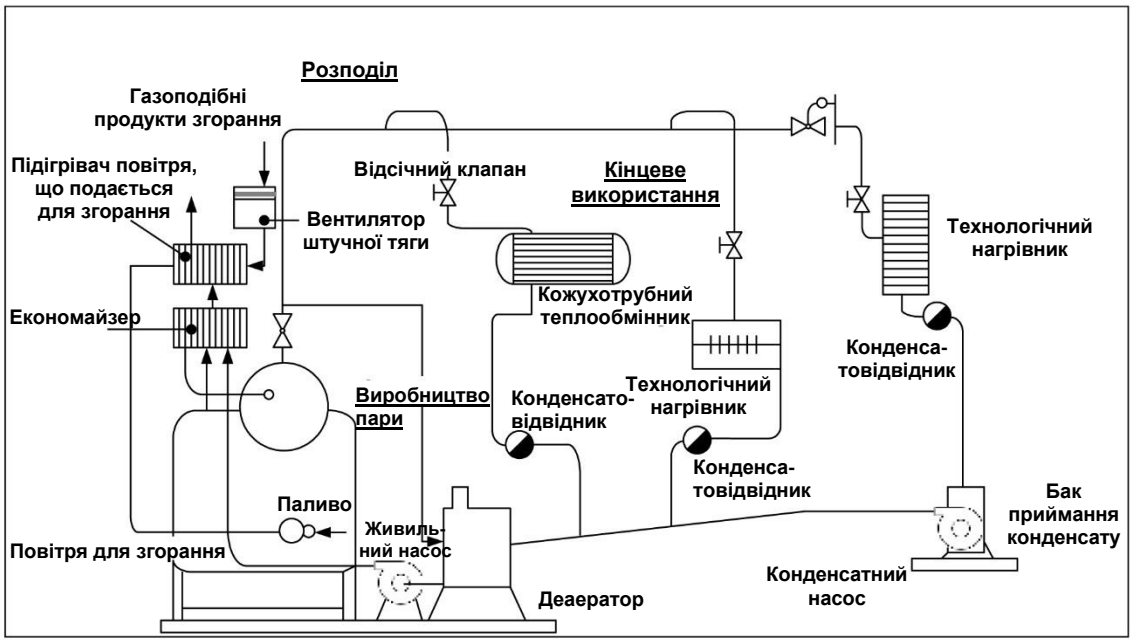


Рисунок 3.5. Типова схема виробництва та розподілу пари [123, Міністерство енергетики США]

Застосовність

Широко застосовується.

Економіка

Вартість виробництва пари напряму залежить від ціни палива, що для цього використовується; цінова перевага певного палива може суттєво переважувати порівняно невеликий програш у термічному ККД, зумовлений використанням цього палива. Тим не менш, з будь-яким паливом можна досягти суттєвих заощаджень шляхом підвищення термічного ККД (див. «Спалювання», розділ 3.1).

Усунення зайвих втрат енергії, пов'язаних з виробництвом та розподілом пари (у тому числі поверненням конденсату), може суттєво знизити вартість пари у місці її використання.

Потенційні заощадження енергії для окремих об'єктів можуть варіюватися від менш ніж 1 % до 35 % і у середньому становлять 7 %.

Рушій для впровадження

- Зниження витрат на енергію та викидів і швидке повернення інвестицій.
- Використання пари: простота і гнучкість у використанні, низька токсичність, здатність до постачання великої кількості тепла у порівнянні з розміром системи.

Приклади

Широко застосовується у багатьох секторах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, як-от виробництво електроенергії, всі сектори хімічної промисловості, целюлозно-паперова промисловість, харчова, питна та молочна промисловість.

Довідкова інформація

[32, ADENE, 2005, 33, ADENE, 2005, 123, Міністерство енергетики США, 125, EIPPCB, 236, Фернандес-Рамос, 2007]

3.2.2 Огляд заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи парової системи

Парові системи детально описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP). Для зручності користувача наведено посилання як на технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), так і на технології, описані у цьому документі. Поширені можливості для підвищення ефективності системи за рахунок виробництва, розподілу та регенерації пари перелічені у Таблиці 3.6.

Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких парові системи не розглянуті у галузевому документі BREF		
Технології за розділами у документі BREF для енергоефективності		
	Переваги	**Розділ**
ПРОЄКТУВАННЯ		
Енергоефективне проєктування та монтаж паророзподільного трубопроводу	Оптимізує заощадження енергії	2.3
Дросельні пристрої та використання турбін з протитиском (використання турбін з протитиском замість клапанів скидання тиску)	Більш ефективний спосіб зниження тиску пари у процесах із низьким тиском	3.2.3
ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ		
Удосконалення процедур експлуатації та засобів керування котлом	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
Використання засобів послідовного керування котлами (стосується лише об'єктів з кількома котлами)	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
Встановлення відсічних шиберів на димоходах (стосується лише об'єктів з кількома котлами)	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
ВИРОБНИЦТВО ПАРИ		
Підігрівання живильної води: • за рахунок відхідного тепла – наприклад, від технологічного процесу • в економайзерах за допомогою повітря, що подається для згорання • з використанням деаерованої живильної води для нагрівання конденсату • шляхом конденсації пари, що використовується для нагрівання та відгону газів із живильної води, яка надходить у деаератор, через теплообмінник	Дає змогу регенерувати тепло, наявне у вихлопних газах, і повернути його у систему шляхом підігрівання живильної води	3.2.5 3.1.1
Запобігання утворенню та видалення накипу з поверхонь теплопередачі (очищення поверхонь теплопередачі у котлі)	Сприяє ефективній теплопередачі від газоподібних продуктів згоранні до пари	3.2.6
Мінімізація продувок котла шляхом покращення водопідготовки. Встановлення автоматичного засобу контролю загальної мінералізації води	Зменшує загальну мінералізацію котлової води: це дає змогу зменшити обсяг продувки, а відтак зменшити втрати енергії	3.2.7
Додаткове встановлення / ремонт вогнетривкої футеровки котла	Зменшує втрати тепла з котла і відновлює ККД котла	2.10.1 2.9
Оптимізація величини скидів випару з деаератора	Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути	3.2.8
Мінімізація втрат котла внаслідок роботи короткими циклами	Оптимізує заощадження енергії	3.2.9
Виконання технічного обслуговування котла		2.9
РОЗПОДІЛ		
Оптимізація системи розподілу пари (з особливою увагою до питань, описаних нижче)		2.9, 3.2.10

Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких парові системи не розглянуті у галузевому документі BREF		
Технології за розділами у документі BREF для енергоефективності		
	Переваги	**Розділ**
Відсікання пари від ліній, які не використовуються	Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути, і зменшує втрати енергії з поверхонь трубопроводів та обладнання	3.2.10
Ізоляція паропроводів та трубопроводів повернення конденсату (прослідкувати, щоб трубопроводи, клапани, фітинги та резервуари парової системи були добре ізольовані)	Зменшує втрати енергії з поверхонь трубопроводів та обладнання	3.2.11
Впровадження програми контролю та ремонту конденсатовідвідників	Зменшує пропускання гострої пари у систему конденсату і сприяє ефективній роботі теплообмінного обладнання, у якому відбувається кінцеве використання пари Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути	3.2.12
РЕГЕНЕРАЦІЯ		
Збір і повернення конденсату в котел для повторного використання (оптимізація регенерації конденсату)	Регенерує теплову енергію, присутню в конденсаті, і зменшує кількість підживлювальної води, яку потрібно додавати в систему: завдяки цьому заощаджується енергія та хімічні речовини, що використовуються для водопідготовки	3.2.13
Повторне використання м'ятої пари (використання конденсату під високим тиском для виробництва пари низького тиску)	Дає змогу використати енергію, наявну у зворотному конденсаті	3.2.14
Регенерація енергії з продувок котла	Передає енергію, наявну у потоці продувки, назад у систему, і таким чином зменшує втрати енергії	3.2.15

Технології за типом палива та за розділом у документі BREF для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року				
	Кам'яне та буре вугілля	***Біомаса та торф***	***Рідке паливо***	***Газоподібне паливо***
Розширювальна турбіна для регенерації енергії, що міститься в газах під тиском				7.4.1, 7.5.1
Заміна лопаток турбіни	4.4.3	5.4.4	6.4.2	
Використання сучасних матеріалів для отримання високих параметрів пари	4.4.3		6.4.2	7.4.2
Надкритичні параметри пари	4.4.3, 4.5.5		6.4.2	7.1.4
Подвійне проміжне перегрівання пари	4.4.3, 4.5.5		6.4.2, 6.5.3.1	7.1.4, 7.4.2, 7.5.2
Регенеративна живильна вода	4.2.3, 4.4.3	5.4.4	6.4.2	7.4.2
Використання теплоти, що міститься в димових газах, для централізованого опалення	4.4.3			
Акумулювання тепла			6.4.2	7.4.2
Розширене автоматизоване керування газовою турбіною та встановленими за нею котлами-утилізаторами				7.4.2

Таблиця 3.6. Поширені технології підвищення енергоефективності для промислових парових систем
Адаптовано і об'єднано з інформацією, взятою з джерела [123, Міністерство енергетики США]

У більшості випадків пара на промислових установках виробляється за допомогою реакції згорання, тому деяка інформація про комплексні заходи з підвищення енергоефективності, які стосуються як теми згорання, так і теми пари, неминуче буде дублюватися в обох розділах: ці випадки вказані у Таблиці 3.6. У цьому розділі розглядаються технології, специфічні для пари.

Для вжиття будь-якого з цих заходів потрібно мати релевантну, кількісно виражену інформацію та знання про використання палива, виробництво пари та парову мережу. Облік та моніторинг пари допомагає зрозуміти роботу технологічного процесу та дізнатися, наскільки можна змінювати робочі параметри, а відтак є невід'ємною складовою успішної інтеграції, наприклад, регенерації тепла у технологічний процес (див. розділ 2.10).

3.2.3 Дросельні пристрої та використання турбін з протитиском

Опис
Дросельні пристрої дуже поширені у промисловості і використовуються для регулювання та зниження тиску – головним чином за допомогою клапанів. Оскільки процес дроселювання ізоентальпійний (тобто це процес, у якому висхідні та низхідні потоки ентальпії однакові), енергія в ньому не втрачається, і, згідно з першим законом термодинаміки, його ефективність оптимальна. Проте йому притаманна типова механічна незворотність, яка призводить до зниження тиску і збільшення ентропії текучого середовища, не даючи жодних додаткових вигод. Як наслідок, ексергія втрачається, і текуче середовище (після падіння тиску) стає менш здатним виробляти енергію, наприклад, у подальшому процесі розширення в турбіні.

Тому у випадках, коли потрібно знизити тиск текучого середовища, бажано використовувати ізоентальпійне розширення і додатково виконувати корисну роботу у турбінах. Якщо це неможливо, робочий тиск завжди повинен бути якомога нижчим: це дасть змогу уникнути великих перепадів тиску та пов'язаних з ними втрат ексергії на клапанах, вимірювальних пристроях (див. розділ 2.10.4) або внаслідок використання компресорів чи насосів для підведення додаткової енергії.

Стандартною практикою на промислових установках є підтримання проєктного тиску на вході турбіни. Це зазвичай передбачає використання впускних клапанів (і зловживання ними) для керування турбіною.

Згідно з другим законом термодинаміки, краще мати змінні характеристики тиску (ковзний тиск), і при цьому тримати впускні клапани повністю відкритими.

Загалом рекомендується підбирати клапани якомога більшого розміру. Прийнятний процес дроселювання можна отримати, якщо падіння тиску за максимальної витрати буде становити 5 – 10 %, а не 25 – 50 %, як було прийнято раніше, коли використовувалися клапани надто малого розміру. Розмір насоса, який рухає текуче середовище, також потрібно підібрати з урахуванням змінних умов.

Проте краще використовувати турбіну з протитиском, яка підтримує практично ізоентропійні умови, і процес у якій повністю зворотний (з термодинамічної точки зору). Турбіна використовується для виробництва електроенергії.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Зменшує втрати ексергії.

Міжсередовищні наслідки
Збільшує споживання палива.

Експлуатаційні параметри
Див. приклади у Додатку 7.2.

Застосовність
Можна застосовувати в нових системах та системах, які суттєво модернізуються, з урахуванням економічних міркувань і таких чинників:

- турбіна використовується для виробництва електроенергії або подавання механічної потужності на двигун, компресор чи вентилятор. Хоча турбіни з протитиском найбільш привабливі з точки зору енергоефективності, кількість пари, яка проходить крізь турбіни з протитиском, повинна вписуватися у загальний паровий баланс усього об'єкта. Використання надто великої кількості турбін з протитиском призведе до того, що на ступенях низького тиску буде вироблятися більше пари, ніж може спожити установка / об'єкт. Цей надлишок пари доведеться скидати, а це не енергоефективно. Витрата пари від турбіни з протитиском також повинна бути наявна протягом більшої частини часу, і при цьому повинна бути передбачуваною. Непередбачуване джерело або джерело, яке працює з перервами, не можна надійно використовувати (крім рідкісних випадків, коли за його рахунок можна покрити піки у постачанні та потребі);
- турбіни з протитиском невигідні у випадках, коли два ступені тиску розташовані близько один до одного, оскільки ці турбіни потребують великого перепаду витрат і тисків. У сталеливарній промисловості турбіни з перепадом тиску використовуються у технологічному процесі доменних печей з огляду на величезну кількість газів, які проходять крізь доменну піч.

Економіка
Турбіни на кілька порядків дорожчі, ніж регулювальні клапани. Тому перед заміною обладнання потрібно визначити мінімальний розмір турбіни, за якого вона буде ефективною, враховуючи при цьому баланс пари. Якщо масові витрати малі, турбіни недоцільні з економічної точки зору. Щоб регенерована енергія була економічно вигідною, вона повинна постачатися достатньо надійно, бути доступною протягом великої частини виробничого часу і відповідати потребі.

Рушій для впровадження
У випадках, коли ці турбіни можна використовувати – заощадження коштів на постачанні пари.

Приклади
Див. Додаток 7.2.

Довідкова інформація
[6, Cefic, 2005, 123, Міністерство енергетики США]

3.2.4 Технології експлуатації та керування

Опис
Удосконалення процедур експлуатації та засобів керування котлом
Сучасна система керування, яка оптимізує використання котла, зображена на Рисунку 3.6 нижче. Цей тип керування докладніше розглядається у розділі 2.15.2.

Використання засобів послідовного керування котлами
Якщо на об'єкті є більше одного котла, потрібно аналізувати потребу в парі і використовувати котли так, щоб оптимізувати використання енергії, – зменшуючи тривалість роботи короткими циклами, тощо.

Встановлення відсічних шиберів на димоходах (стосується лише об'єктів, на яких є два і більше котлів зі спільним димарем).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Можливість встановлення кількох котлів можна розглянути, якщо протягом робочого циклу потрібно задовольняти мінливі потреби. Котли можуть бути різних типів – залежно від кривої потреби, тривалості циклу, тощо.

На використання котлів з послідовним увімкненням можуть накладатися обмеження, якщо потрібно гарантувати високий рівень доступності пари.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[123, Міністерство енергетики США, 134, Амальфі (Amalfi), 2006, 179, Стейнс, 2005]

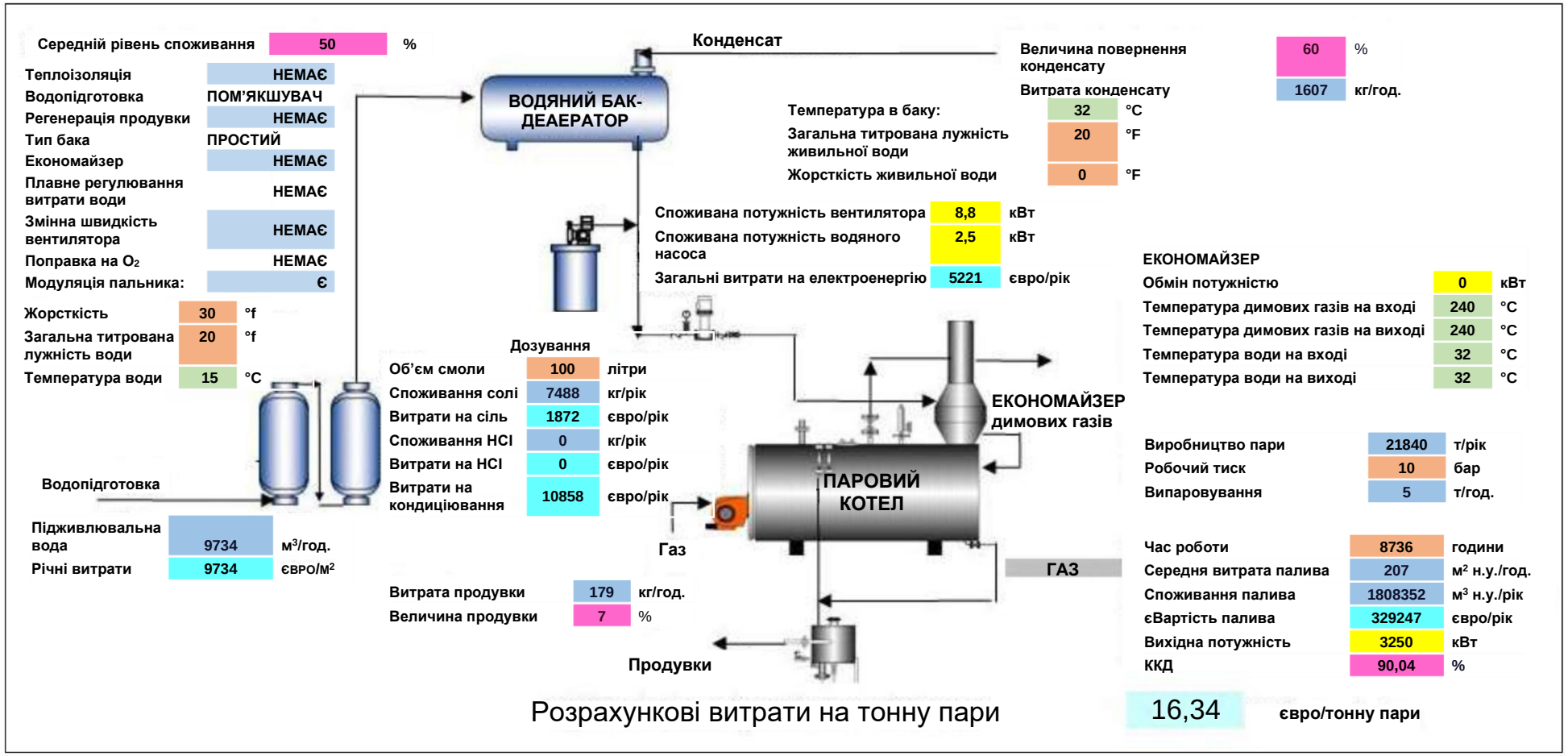


Рисунок 3.6. Сучасна система керування для оптимізації використання котла

3.2.5 Підігрівання живильної води (у тому числі за допомогою економайзерів)

Опис

Вода з деаератора, яка повертається в котел, зазвичай має температуру близько 105 °C. Вода у котлі, яка перебуває під вищим тиском, має більшу температуру. Паровий котел живиться водою з метою компенсації втрат у системі та рециркуляції конденсату, тощо. Тепло можна регенерувати шляхом підігрівання цієї живильної води, зменшуючи таким чином потребу парового котла в паливі.

Підігрівання можна здійснити у чотири способи:

- за рахунок відхідного тепла (наприклад, від технологічного процесу): живильну воду можна підігрівати наявним відхідним теплом – наприклад, у водо-водяних теплообмінниках;
- за допомогою економайзерів: економайзер ((1) на Рисунку 3.7) – це теплообмінник, який зменшує потребу парового котла в паливі, передаючи теплоту від димових газів до вхідної живильної води;
- за допомогою деаерованої живильної води, перш ніж деаерована вода надійде у бак живильної води ((2) на Рисунку 3.7), нею додатково можна підігріти конденсат. Живильна вода з бака конденсату ((3) на Рисунку 3.7)) має нижчу температуру, ніж деаерована живильна вода з бака живильної води ((2) на Рисунку 3.7)). Деаерована живильна вода додатково охолоджується у теплообміннику (тепло передається живильній воді з бака конденсату). Як наслідок, деаерована живильна вода, яка проходить крізь насос живильної води, буде холоднішою при проходженні через економайзер ((1) на Рисунку 3.7)). Таким чином, ККД економайзера підвищується через збільшення різниці температур, а крім того, знижується температура димових газів і зменшуються втрати з димовими газами. У цілому це дає змогу заощадити гостру пару, оскільки живильна вода у баку живильної води тепліша, і тому для її деаерації потрібно менше гострої пари;

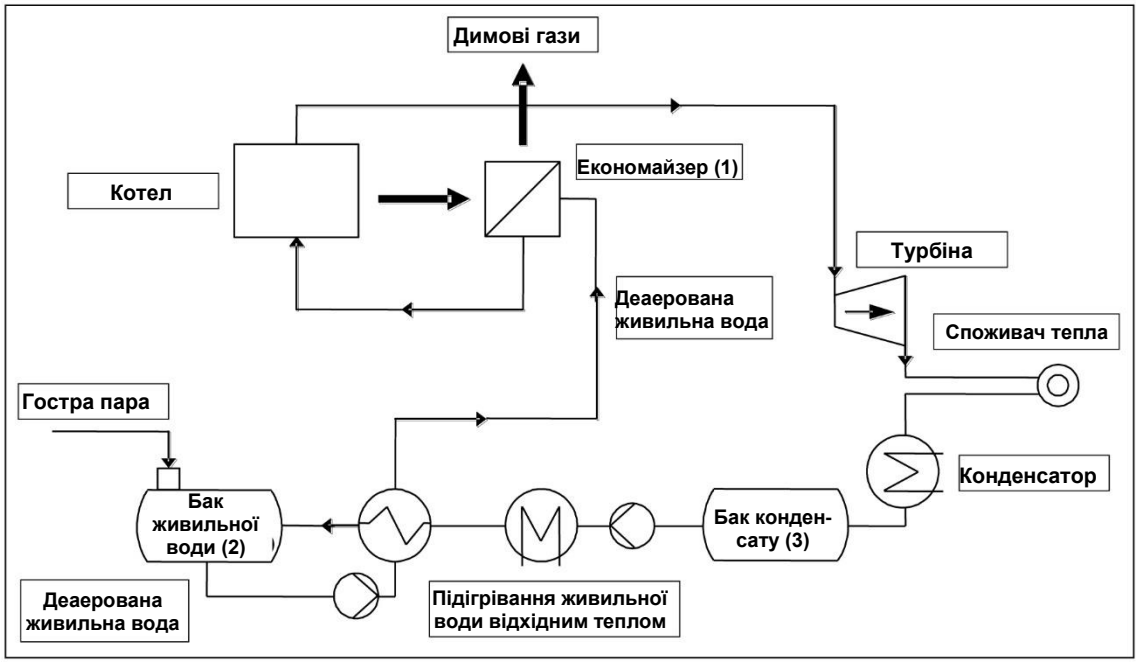


Рисунок 3.7. Підігрівання живильної води
[28, Бергер, 2005]

- встановлення теплообмінника на шляху живильної води, що входить у деаератор, і підігрівання цієї живильної води шляхом конденсації пари, що використовується для відгону домішок (детальніше про деаерацію – у розділі 3.2.8).

За допомогою цих заходів можна підвищити повний ККД, тобто для виробництва певної кількості пари потрібно буде підводити менше енергії палива.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Кількість енергії, яку можна регенерувати, залежить від температури димових газів (або основного технологічного процесу), вибору поверхні та, великою мірою, від тиску пари.

Загальновизнано, що економайзер здатний підвищити ККД виробництва пари на 4 %. Постачання води потрібно контролювати, щоб забезпечити безперервну роботи економайзера.

Міжсередовищні наслідки
Потенційні недоліки цих чотирьох можливостей полягають у тому, що вони потребують додаткового місця, і зі збільшенням складності зменшується їх доступність для промислових об’єктів.

Експлуатаційні параметри
Згідно з технічними характеристиками виробників, у широкому доступі є економайзери з номінальною вихідною потужністю 0,5 МВт. Економайзери з ребристими трубками використовуються на установках з номінальною вихідною потужністю до 2 МВт, а економайзери, оснащені оребреними трубками, – на установках з вихідною потужністю понад 2 МВт. У випадках, коли вихідна потужність перевищує 2 МВт, близько 80 % великих водотрубних котлів постачаються обладнаними економайзерами, оскільки вони навіть більш економічні, якщо працюють в одну зміну (за навантажень системи 60 – 70 %).

Температура вихлопних газів зазвичай перевищує температуру насиченої пари приблизно на 70 °C. Температура вихлопних газів у стандартному промисловому парогенераторі становить приблизно 180 °C. Нижньою межею температури димових газів є кислотна точка роси димових газів. Температура залежить від палива, що використовується, та/або від вмісту сірки в паливі (і становить близько 160 °C для важкого мазуту, 130 °C для легкого мазуту, 100 °C для природного газу та 110 °C для твердих відходів). Котли, що працюють на мазуті, більш схильні до корозії, і частину економайзера потрібно проєктувати так, щоб її можна було замінити. Якщо температура вихлопних газів впаде значно нижче точки роси, економайзери можуть зазнати корозії: це зазвичай трапляється, якщо паливо містить значну кількість сірки.

Якщо не вживати спеціальних заходів, за температур нижче цього значення у димових трубах буде накопичуватися сажа. Тому економайзери часто обладнують обхідним контролером. Цей контролер відводить частину вихлопних газів в обхід економайзера, якщо температура газів у димовій трубі падає надто низько.

Якщо керуватися принципом, що при зниженні температури вихлопних газів на кожні 20 °C ККД підвищується на 1 %, отримуємо, що, залежно від температури пари та падіння температури, зумовленого проходженням через теплообмінник, ККД може покращитися на 6 – 7 %. Температура живильної води, яка нагрівається в економайзері, зазвичай збільшується від 103 до приблизно 140 °C.

Застосовність
На деяких існуючих установках системи підігрівання живильної води можна інтегрувати лише з великими зусиллями.

На практиці підігрівання живильної води з використанням деаерованої живильної води застосовуються лише зрідка.

На установках великої потужності підігрівання живильної води в економайзері є стандартним заходом. Проте у цьому випадку ККД економайзера можна підвищити на величину до 1 % за рахунок збільшення різниці температур. На більшості установок також доцільно використовувати відхідне тепло від інших процесів. На установках з меншою потужністю також існує потенціал для його використання.

Економіка

Кількість енергії, яку потенційно можна заощадити, реалізувавши підігрівання живильної води в економайзері, залежить від кількох обставин, таких як вимоги місцевої системи, стан димової труби та якість димових газів. Окупність конкретної системи розподілу пари буде залежати від кількості годин роботи, фактичної ціни на паливо та місцезнаходження.

На практиці заощадження, яких можна досягти за рахунок підігрівання живильної води, становлять кілька відсотків від об'єму пари, що виробляється. Таким чином, заощадження енергії навіть у невеликих котлах можуть бути порядку кількох ГВт·год. на рік. Наприклад, для котла потужністю 15 МВт можна досягти заощаджень близько 5 ГВт·год./рік, десь 60000 євро/рік і приблизно 1000 тонн CO_2/рік. Заощадження пропорційні розміру установки, а це означає, що на більших установках будуть спостерігатися більші заощадження.

Димові гази котла часто викидаються в димову трубу за температур, які більш ніж на 100 – 150 °C перевищують температуру пари, що виробляється. Як правило, ККД котла можна підвищити на 1 % за кожні 40 °C зниження температури димових газів. Регенеруючи відхідне тепло, економайзер часто може зменшити потребу в паливі на 5 – 10 % і окупитися за менш ніж 2 роки.У Таблиці 3.7 наведено приклади потенційних обсягів регенерації тепла.

Приблизна кількість теплоти, яку можна регенерувати з димових газів котла				
Початкова температура газів у димовій трубі, °C	Теплота, яку можна регенерувати, **(кВт)**			
	Теплова потужність котла (кВт)			
	7322	**14640**	**29290**	**58550**
205	381	762	1552	3105
260	674	1347	2694	5389
315	967	1904	3807	7644

Таблиця 3.7. Дані вказано для випадку з природним газом у якості палива, часткою надлишкового повітря 15 % та кінцевою температурою у димовій трубі 120 °C. Адаптовано з джерела [123, Міністерство енергетики США]

Рушій для впровадження

Зменшення витрат на енергію і мінімізація викидів CO_2.

Приклади

Широко застосовується.

Довідкова інформація

[16, CIPEC, 2002, 26, Нейсекке, 2003, 28, Бергер, 2005, 29, Маес, 2005, 123, Міністерство енергетики США]

3.2.6 Запобігання утворенню та видалення накипу з поверхонь теплопередачі

Опис
У парогенеруючих котлах та у теплообмінник трубках на поверхнях теплопередачі може відкладатися накип. Ці відкладення з'являються, коли розчинна речовина вступає у реакцію в котловій воді з утворенням речовини, шар якої осідає на поверхнях теплообмінних трубок котла з боку води.

Накип породжує проблему, оскільки він зазвичай має теплопровідність, порядок величини якої менший, ніж відповідне значення для оголеної сталі. Коли на теплообмінній поверхні утворюються відкладення певної товщини і з конкретним складом, теплопередача через поверхні послаблюється в залежності від товщини накипу. Таким чином, навіть незначні відкладення можуть відігравати роль ефективної теплоізоляції і, як наслідок, погіршувати теплопередачу. Це призводить до перегрівання металу трубок котла, пошкоджень трубок та втрати енергоефективності. Знявши накип, оператори можуть з легкістю заощадити на споживанні енергії та на річних експлуатаційних витратах.

Зайва витрата палива через накип у котлі може становити 2 % для водотрубних котлів та до 5 % для жаротрубних котлів.

На рівні котла регулярне видалення цих відкладень накипу може суттєво заощадити енергію.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Зменшення втрат енергії.

У Таблиці 3.8 наведено втрати теплопередачі у випадку утворення відкладень накипу на теплообмінній поверхні:

Товщина накипу (мм)	Різниця у теплопередачі[20] (%)
0,1	1,0
0,3	2,9
0,5	4,7
1	9,0

Таблиця 3.8. Різниці у теплопередачі
[29, Maec, 2005]

Міжсередовищні наслідки
Якщо для запобігання відкладенням накипу здійснюється водопідготовка живильної води, споживання хімічних речовин може збільшитися.

Експлуатаційні параметри
Для видалення накипу котел необхідно вивести з експлуатації.

Існують різні способи видалення і запобігання утворенню відкладень:

- якщо тиск знизити, температура також знизиться, і інтенсивність відкладення накипу зменшиться. Це одна з причин, чому потрібно підтримувати якомога нижчий тиск пари (див. розділ 3.2.1);
- відкладення можна видалити під час технічного обслуговування – як механічним способом, так і за допомогою кислотної промивки;

[20] Ці значення визначені для випадку теплопередачі у котлі зі сталевими трубками. Теплопередача аналізується починаючи з димових газів і до живильної води. Розрахунки виконані з припущенням, що склад відкладень залишається незмінним.

- якщо утворення накипу надто швидко поновлюється, потрібно переглянути водопідготовку живильної води. Можливо, її потрібно краще очищувати або вносити додаткові добавки.

Опосередкованою ознакою утворення накипу чи відкладень є температура димових газів. Якщо температура димових газів зростає (у той час як навантаження на котел та кількість надлишкового повітря підтримуються сталими), це з великою ймовірністю зумовлено присутністю накипу.

Застосовність
Перевірити, чи потрібно видаляти відкладення накипу, можна шляхом простого візуального контролю під час технічного обслуговування. Як показує досвід, для обладнання, що працює під високим тиском (50 бар), належні результати можна отримати, проводячи технічне обслуговування кілька разів на рік. Для обладнання, що працює під низьким тиском (2 бари), рекомендується проводити щорічне технічне обслуговування.

Відкладенням можна запобігти шляхом покращення якості води (наприклад, шляхом переходу на пом'якшену або знесолену воду). Перш ніж застосовувати для видалення відкладень кислотну обробку, її потрібно ретельно оцінити – особливо у випадку парових котлів високого тиску.

Економіка
Залежно від методу, що застосовується, та інших чинників, таких як хімічний склад необробленої живильної води, тип котла, тощо. Окупність досягається як за рахунок заощадження палива, так і за рахунок підвищення надійності парової системи та подовження терміну служби котлової системи (що дає змогу заощадити на втраченому виробничому часі та капітальних витратах).

Див. приклади у Додатку 7.10.1.

Рушій для впровадження
Підвищення надійності парової системи і збільшення терміну служби котлової системи.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[16, CIPEC, 2002, 29, Maec, 2005, 123, Міністерство енергетики США]

3.2.7 Мінімізація продувок із котла

Опис
Мінімізація величини продувок може суттєво зменшити втрати енергії, оскільки температура продувок напряму пов'язана з температурою пари, що виробляється у котлі.

У міру того, як у котлі під час виробництва пари випаровується вода, розчинені тверді речовини залишаються у воді, внаслідок чого зростає концентрація розчинених твердих речовин у котлі. Зважені тверді частки можуть утворювати осад, який погіршує теплопередачу (див. розділ 3.2.6). Присутність розчинених твердих часток сприяє спінюванню і винесенню котлової води з парою.

Для зниження вмісту зважених твердих часток та загальної мінералізації води (TDS) до прийнятних граничних значень застосовуються дві процедури, кожна з яких може виконуватися автоматично або вручну:

- нижня продувка виконується для підтримання хорошого теплообміну у котлі. Це, як правило, ручна процедура, яка виконується протягом кількох секунд через кожні кілька годин;
- верхня продувка або продувка поверхні води від забруднень призначена для видалення розчинених твердих речовин, які зосереджуються біля поверхні рідини, і часто є безперервним процесом.

Здування залишків солей у стік призводить до додаткових втрат, на які припадає від одного до трьох відсотків наявної пари. Окрім цього, додаткових витрат також може потребувати охолодження здутих залишків до температури, якої вимагають регулюючі органи.

Існує кілька можливостей зменшення необхідного об’єму продувки:

- регенерація конденсату (див. розділи 3.2.13 та 3.2.15). Конденсат вже очищений, а отже, не містить жодних домішок, які будуть зосереджуватися всередині котла. Якщо вдасться регенерувати половину конденсату, об’єм продувки можна буде зменшити на 50 %;
- залежно від якості живильної води, можуть знадобитися пом’якшувачі, декарбонізація та знесолення. Крім того, воду необхідно деаерувати і додавати в неї речовини для водопідготовки. Об'єм продувок пов’язаний з вмістом компонента, концентрація якого найбільша, присутнього у живильній воді або доданого в неї. Якщо вода напряму подається в котел, величина продувки може досягати від 7 до 8 %; їх можна знизити до 3 % і менше, якщо вода попередньо буде проходити підготовку;
- також можна розглянути можливість встановлення автоматизованої системи керування продувками – зазвичай на базі моніторингу електропровідності. Це також дає змогу оптимізувати компроміс між надійністю та втратами енергії. Система керує величиною продувки за компонентом з найбільшою концентрацією, знаючи максимальну можливу концентрацію у котлі (макс. загальна титрована лужність у котлі 38 °C; вміст кремнезему 130 мг/л; вміст хлоридів <600 мг/л). Детальніше – у стандарті EN 12953-10;
- ще один спосіб видобути користь з енергії, наявної у продувках, – перетворити продувки в пару шляхом їх миттєвого розширення під середнім або низьким тиском. Ця технологія застосовується, коли на об’єкті є парова мережа з нижчими тисками, ніж тиск, за якого виробляється пара. Це рішення може бути більш ексергетично вигідним, ніж просто віддавати тепло, яке міститься у продувках, через теплообмінник (див. розділи 3.2.14 та 3.2.15).

Видалення розчинених газів під тиском, зумовлене випаровуванням, також призводить до додаткових втрат від одного до трьох відсотків. У ході технологічного процесу зі свіжої води видаляються CO_2 та кисень (шляхом створення невеликого надлишкового тиску за температури 103 °C). Потребу в цьому можна мінімізувати шляхом оптимізації величини скидів випару з деаератора (див. розділ 3.2.8).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Кількість енергії залежить від тиску у котлі. Вміст енергії у продувках наведений у Таблиці 3.9 нижче. Величина продувки виражається у вигляді відсотка від загальної необхідної кількості живильної води. Таким чином, величина продувки у 5 % означає, що 5 % котлової води втрачаються у ході продувки, а решта 95 % перетворюються в пару. Це означає, що, зменшивши частоту продувки, можна відразу досягти заощаджень.

Вміст енергії в продувках у кДж/кг виробленої пари					
Величина продувок (% від вихідної потужності котла)	Робочий тиск котла				
	2 бар надл.	5 бар надл.	10 бар надл.	20 бар надл.	50 бар надл.
1	4,8	5,9	7,0	8,4	10,8
2	9,6	11,7	14,0	16,7	21,5
4	19,1	23,5	27,9	33,5	43,1
6	28,7	35,2	41,9	50,2	64,6
8	38,3	47,0	55,8	66,9	86,1
10	47,8	58,7	69,8	83,6	107,7

Таблиця 3.9. Вміст енергії у продувках
[29, Маес, 2005]

У разі зменшення частоти продувки кількість стічних вод також зменшиться. Також вдасться заощадити енергію або охолоджувальну воду, що використовується для охолодження цих стічних вод, якщо воно потрібне.

Міжсередовищні наслідки
Скиди хімічних речовин для підготовки води, хімічних речовин, що використовуються для регенерації матеріалів іонообмінної установки, тощо.

Експлуатаційні параметри
Оптимальна величина продувки визначається кількома чинниками, серед яких – якість живильної води та відповідна водопідготовка, частка конденсату, що використовується повторно, тип котла та робочі умови (витрата, робочий тиск, тип палива, тощо). Величина продувки зазвичай варіюється від 4 до 8 % від кількості свіжої води, проте може досягати 10 %, якщо підживлювальна вода містить багато твердих часток. Величини продувки для оптимізованих котельних повинні бути меншими, ніж 4 %. Величини продувки повинні визначатися вмістом добавок, призначеними для запобігання спінюванню та поглинання розчиненого кисню, у воді, що проходить підготовку, а не вмістом розчинених солей.

Застосовність
Якщо величина продувки зменшується нижче критичного рівня, можуть поновитися проблеми, пов’язані зі спінюванням та утворенням накипу. Для зниження цього критичного значення також можна використовувати інші заходи, викладені в описі (регенерація конденсату, попередня підготовка води).

Недостатня продувка може призвести до погіршення стану установки. Надмірна продувка призведе до марних втрат енергії.

У всіх випадках зазвичай прийнято використовувати повернення конденсату, крім випадків, коли у процесі передбачене вприскування пари. У цьому випадку зменшення величини продувок шляхом повернення конденсату недоцільне.

Економіка
Можна досягти значних заощаджень на енергії, хімічних речовинах, живильній воді та охолодженні, тому ця технологія рентабельна у будь-якому випадку – див. приклади, детально викладені у Додатку 7.10.1.

Рушій для впровадження
- Економічні міркування.
- Надійність установки.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [16, CIPEC, 2002], [123, Міністерство енергетики США, 133, Іспанська асоціація зі стандартизації та сертифікації (AENOR), 2004]

3.2.8 Оптимізація величини скидів випару з деаератора

Опис
Деаератори – це механічні пристрої, які видаляють розчинені гази з живильної води котла. Деаерація захищає парову систему від дії корозійно-активних газів. Вона здійснюється шляхом зниження концентрації розчиненого кисню та вуглекислого газу до рівня, за якого корозія буде мінімальною. Для запобігання корозії у більшості котлів високого тиску (>13,79 бара надл.) потрібно, щоб вміст розчиненого кисню становив 5 частин на мільярд (млрд$^{-1}$) або менше. Хоча у котлах низького тиску допускаються концентрації кисню до 43 млрд$^{-1}$, термін служби обладнання можна буде подовжити з мінімальними витратами або взагалі без витрат, якщо концентрація кисню не буде перевищувати 5 млрд$^{-1}$. Розчинений вуглекислий газ, по суті, повністю видаляється деаератором.

Конструкція ефективної системи деаерації залежить від кількості газів, які потрібно видалити, та потрібної кінцевої концентрації газу (O_2). Це, у свою чергу, залежить від співвідношення між кількістю підживлювальної води, що подається для поповнення запасу живильної води котла, і кількістю поверненого конденсату та від робочого тиску деаератора.

Деаератори нагрівають воду парою, щоб довести її до температури повного насичення, яка відповідає тиску пари у деаераторі, і вилучити та відвести розчинені в ній гази. Потік пари може рухатися паралельно, поперек або назустріч потоку води. Деаератор складається з деаераційної секції, бака-акумулятора та випускного пристрою. У деаераційній секції бульбашки пари проходять крізь воду, одночасно нагріваючи і перемішуючи її. Пара охолоджується водою, яка входить у деаератор, і конденсується у конденсаторі випару. Неконденсовані гази разом з частиною пари викидаються через випускний пристрій. Проте цей процес потрібно оптимізувати, щоб забезпечити задовільний відгін газів з мінімальною втратою пари (див. пункт «Експлуатаційні параметри» нижче).

Раптове збільшення кількості неробочої або «м’ятої» пари може призвести до стрибка тиску в резервуарі деаератора, внаслідок чого живильна вода знову насититься киснем. У деаераторі слід передбачити спеціальний клапан регулювання тиску для підтримання у деаераторі сталого тиску.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження за рахунок усунення зайвих втрат енергії при скиданні пари.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Пара, яка подається у деаератор, забезпечує фізичний відгін газів і нагріває суміш поверненого конденсату та підживлювальної води для поповнення запасу живильної води котла до температури насичення. Більша частина пари конденсується, проте невелику її частку (зазвичай від 5 до 14 %) необхідно скинути, щоб її залишилося стільки, скільки потрібно для відгону газів. При проєктуванні прийнято спочатку розрахувати кількість пари, потрібну для нагрівання, а потім переконатися, що цього потоку буде достатньо і для відгону газів. Якщо повертається велика частка конденсату (>80 %), і тиск конденсату високий порівняно з тиском у деаераторі, то для нагрівання потрібно дуже мало пари, і можуть бути передбачені такі умови, щоб надлишок м’ятої пари конденсувався.

Щоб регенерувати енергію з пари, яка використовується для відгону газів, її можна конденсувати і пропускати крізь теплообмінник, встановлений на шляху потоку живильної води, що входить у деаератор (див. розділ 3.2.5).

Після будь-якої модернізації системи розподілу пари, повернення конденсату чи заходів зі збереження енергії, отриманої шляхом регенерації тепла, вимоги до деараторної пари слід переглядати.

Можна встановити пристрої для безперервного моніторингу вмісту розчиненого кисню: вони допоможуть визначити, які практики в експлуатації призводять до неефективного видалення кисню.

Деаератор розрахований на видалення кисню, розчиненого у воді, що входить у деаератор, а не в захопленому нею повітрі. «Вільне повітря» може потрапляти в воду, зокрема, через нещільні з'єднання трубопроводів з боку всмоктування насосів та неналежно влаштовані ущільнення насосів.

Застосовність
Можна застосовувати на всіх об'єктах, де в парових системах є деаератори. Оптимізація належить до заходів поточного технічного обслуговування.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів завдяки усуненню зайвих скидів пари.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[123, Міністерство енергетики США]

3.2.9 Мінімізація втрат котла внаслідок роботи короткими циклами

Опис
Втрати у коротких циклах трапляються щоразу, коли котел вимикається на короткий час. Цикл котла складається з періоду продувки, періоду після продувки, періоду бездіяльності, періоду перед продувкою та повернення до спалювання. Частина втрат, що припадає на періоди продувки та період бездіяльності, може бути невеликою у сучасних, добре ізольованих котлах, але може різко зрости у старіших котлах з гіршою ізоляцією.

Втрати у парових котлах, зумовлені роботою короткими циклами, можуть посилитися, якщо котли здатні виробити необхідну потужність за дуже короткий час. Це властиво, наприклад, для випадків, коли встановлена потужність котла значно більша, ніж зазвичай потрібна. Потреба технологічного процесу в парі може змінюватися з часом, і її слід періодично переоцінювати (див. розділ 2.2.2). Загальна потреба в парі могла зменшитися внаслідок вжиття заходів з енергозбереження. Як варіант, котли могли бути встановлені з прицілом на майбутнє розширення, яке так і не було реалізоване.

Першим моментом, на який слід звернути увагу, є тип котла: його потрібно врахувати ще на етапі проєктування установки. У жаротрубних котлів значно більша теплова інерція і значний вміст води. Вони оснащені таким чином, щоб працювати з безперервною потребою у парі і задовольняти великі пікові навантаження. З іншого боку, парогенератори та водотрубні котли також можуть постачати пару з великою продуктивністю. Вміст води

в них порівняно менший, тому водотрубні котли краще підходять для установок з дуже мінливими навантаженнями.

Роботи короткими циклами можна уникнути, встановивши кілька котлів меншої потужності замість одного котла великої потужності. Внаслідок цього збільшиться як гнучкість, так і надійність. Якщо є потреба в автоматизованому керуванні ККД виробництва пари та граничними витратами на виробництво пари у кожному котлі, може бути передбачена система керування котлами. Завдяки цьому котел буде задовольняти додаткову потребу в парі з меншими граничними витратами.

За наявності резервного котла можливий ще один варіант. У цьому випадку температуру в котлі можна підтримувати шляхом циркулювання води з іншого котла безпосередньо через резервний котел. Таким чином мінімізуються втрати димових газів на підтримання резерву. Резервний котел повинен бути добре ізольований, а його пальник повинен бути обладнаний належним повітряним клапаном.

Заощаджень енергії можна досягти шляхом ізоляції котла або заміни котла.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Для підтримання належної температури в котлі, який перебуває у резерві, його потрібно постійно забезпечувати енергією протягом усього року: її кількість приблизно дорівнює 8 % від повної потужності котла. Потрібно визначити вигоди від заходів з підвищення надійності та заощадження енергії.

Застосовність
Несприятливий вплив роботи короткими циклами стає помітним у випадках, коли використовується мала частка від наявної потужності котлів – менше 25 %. У таких випадках хорошим підходом буде перевірити, чи не потрібно замінити котельну систему.

Економіка
Див. приклади у Додатку 7.10.1.

Рушій для впровадження
- Заощадження коштів.
- Краща робота системи.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [123, Міністерство енергетики США]

3.2.10 Оптимізація систем розподілу пари

Опис
Система розподілу транспортує пару з котла до різних кінцевих споживачів. Хоча системи розподілу можуть здаватися пасивними, вони насправді регулюють подавання пари і реагують на зміни у вимогах до температур і тисків. Тому, щоб система розподілу працювала належним чином, її потрібно проєктувати, дотримуючись акуратного підходу, і ефективно обслуговувати. Труби повинні бути належного розміру, ізольовані і

скомпоновані з достатньою гнучкістю. Пристрої регулювання тиску, як-от клапани скидання тиску та турбіни з протитиском, повинні бути влаштовані так, щоб забезпечувати належний паровий баланс між різними паровими колекторами. Крім того, система розподілу повинна бути скомпонована таким чином, щоб забезпечувати належне стікання конденсату: для цього потрібно передбачити відстійники конденсату належної місткості і правильно вибрати конденсатовідвідники.

Велике значення має технічне обслуговування системи – зокрема, особливо важливо:

- переконатися, що конденсатовідвідники працюють правильно (див. розділ 3.2.12);
- щоб ізоляція була встановлена, і виконувалося її технічне обслуговування (див. розділ 3.2.11);
- щоб витоки систематично розпізнавалися і ремонтувалися у ході планового технічного обслуговування. Оператори, можуть допомогти у цьому, оперативно повідомляючи про витоки, щоб їх негайно відремонтували. До витоків також належать витоки повітря з боку всмоктування насосів;
- перевіряти систему на наявність парових ліній, які не використовуються, і усувати їх.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження на енергії завдяки усуненню зайвих втрат.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Паропроводи транспортують пару з котла до кінцевих споживачів. Щоб добре спроєктувати трубопровід парової системи, важливо правильно підібрати його розмір, забезпечити належне компонування та опори. Труби більшого діаметру можуть бути дорожчими у монтажі, проте падіння тиску в них за заданої витрати може бути меншим. Крім того, великі діаметри труб допомагають зменшити шум, яким супроводжується течія пари. Тому при виборі діаметру труб потрібно враховувати тип середовища, у якому буде знаходитися паропровід. Важливими міркуваннями при визначенні компонування є гнучкість та стікання конденсату. Що стосується гнучкості, то трубопровід (особливо в місцях під'єднання обладнання) повинен бути розрахований на теплові розширення та звуження, що виникають під час пусків та зупинок системи. Крім того, трубопровід повинен бути обладнаний достатньою кількістю відстійників конденсату належного розміру, які будуть сприяти ефективному стіканню конденсату. Крім того, трубопровід повинен бути розташований під правильним нахилом, який буде сприяти стіканню конденсату в ці крапельні лінії. Як правило, ці точки стоку працюють у двох різних режимах: у нормальному режимі роботи та в режимі пуску; обидва ці режими навантаження потрібно врахувати на етапі початкового проєктування.

Застосовність
Усі парові системи. Вибирати належний розмір трубопроводу, мінімізувати кількість крутих вигинів, тощо найкраще на етапах проєктування та монтажу (у тому числі великих ремонтів, змін або модернізацій).

Економіка
- Належний вибір розмірів на етапі проєктування добре окупається протягом терміну служби системи.
- Для заходів з технічного обслуговування (як-от мінімізація витоків) також спостерігається швидка окупність.

Рушій для впровадження
- Заощадження коштів.
- Охорона здоров'я і техніка безпеки.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[123, Міністерство енергетики США]

3.2.11 Ізоляція паропроводів та трубопроводів повернення конденсату

Опис
З неізольованих паропроводів та трубопроводів повернення конденсату постійно втрачається тепло, і цей недолік легко виправити. Ізолювати всі поверхні, які віддають тепло, у більшості випадків простою Крім того, пошкодження ізоляції, обмежені певним місцем, можна швидко відремонтувати. Ізоляція могла бути знята або не замінена під час поточного технічного обслуговування або ремонту. Можуть бути відсутні знімні ізоляційні кришки на клапанах або іншому обладнанні.

Якщо ізоляція намокла або затверділа, її потрібно замінити. Причиною намокання ізоляції часто виявляються витоки у трубах або трубках. Витоки потрібно відремонтувати, перш ніж заміняти ізоляцію.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
У Таблиці 3.10 наведені втрати тепла з неізольованих паропроводів за різних тисків пари.

Діаметр розподільної лінії (мм)	Приблизні втрати тепла на 30 м неізольованого паропроводу (ГДж/рік)			
	Тиск пари (бар надл.)			
	1	10	20	40
25	148	301	396	522
50	248	506	665	886
100	438	897	1182	1583
200	781	1625	2142	2875
300	1113	2321	3070	4136

Таблиця 3.10. Втрати тепла на 30 м неізольованого паропроводу
Адаптовано з джерела [123, Міністерство енергетики США]

Зменшивши втрат енергії завдяки кращій ізоляції, також можна скоротити споживання води і, відповідно, заощадити на водопідготовці.

Міжсередовищні наслідки
Збільшення використання ізоляційних матеріалів.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Для початку потрібно ізолювати всі трубопроводи, що працюють за температур понад 200 °C, та діаметром понад 200 мм, і періодично потрібно перевіряти, чи в хорошому стані ця ізоляція (наприклад, перед плановою зупинкою шляхом інфрачервоного сканування систем трубопроводів). Крім того, потрібно ізолювати всі поверхні, які нагріваються до температур понад 50 °C, якщо є ризик, що персонал може до них доторкнутися.

Економіка
Ці заходи можуть швидко окупитися, проте конкретний час залежить від ціни на енергію, втрат енергії та вартості ізоляції.

Рушій для впровадження
Легко реалізувати у порівнянні з іншими технологіями. Охорона здоров'я і техніка безпеки.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.11.1 Встановлення знімних ізоляційних накладок на клапани та фітинги

Опис
Під час робіт з технічного обслуговування ізоляція, яка вкриває труби, клапани та фітинги, часто пошкоджується або знімається, а потім не замінюється.

Різні компоненти установки часто бувають ізольовані по-різному. У сучасному котлі сам котел, як правило, добре ізольований. З іншого боку, фітинги, клапани та інші з'єднання зазвичай не так добре ізольовані. Для поверхонь, які випромінюють тепло, існують ізоляційні підкладки багатократного використання та знімної конструкції.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Ефективність цієї технології залежить від конкретного випадку застосування, проте втрати тепла, зумовлені частими розривами ізоляції, часто недооцінюють.

У Таблиці 3.11 підсумовані заощадження енергії завдяки використанню ізоляційних кришок клапанів для ряду розмірів клапанів та робочих температур. Ці значення були розраховані за допомогою комп'ютерної програми, яка відповідає вимогам стандарту ASTM C 1680 – розрахунки втрат тепла та температури поверхні. Заощадження енергії визначені як різниця втрат енергії з неізольованого клапана та з ізольованого клапана, які працюють за однакової температури.

Приблизні заощадження енергії* у ватах завдяки встановленню знімних ізоляційних кришок клапанів (Вт)						
Робоча температура, °C	**Розмір клапана (мм)**					
	75	**100**	**150**	**200**	**255**	**305**
95	230	315	450	640	840	955
150	495	670	970	1405	1815	2110
205	840	985	1700	2430	3165	3660
260	1305	1800	2635	3805	4950	5770
315	1945	2640	3895	5625	7380	8580
* Розраховано для ізоляції 150-фунтового фланцевого клапана ANSI ізоляційною накладкою товщиною 25 мм за температури навколишнього середовища 20 °C						

Таблиця 3.11. Приблизні заощадження енергії у ватах завдяки встановленню знімних ізоляційних кришок клапанів
[123, Міністерство енергетики США]

Належним чином встановлені ізоляційні кришки також можуть знизити рівень шуму.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Ізоляційні накладки багатократного використання широко використовуються на промислових об'єктах для ізоляції фланців, клапанів, температурних компенсаторів, теплообмінників, насосів, турбін, баків та інших поверхонь неправильної форми. Ці накладки гнучкі та вібростійкі, і їх можна використовувати на обладнанні, змонтованому як горизонтально, так і вертикально, або на важкодоступному обладнанні.

Застосовність
Можна застосовувати на будь-яких високотемпературних трубопроводах чи обладнанні, які потрібно ізолювати, щоб зменшити втрати тепла, знизити викиди і покращити рівень безпеки. Загалом будь-яку поверхню, що нагрівається понад 50 °C, і до якої люди ризикують доторкнутися, потрібно ізолювати, щоб захистити персонал (див. «Ізоляція», розділ 3.2.11). Ізоляційні накладки легко знімати для періодичного огляду або технічного обслуговування і за потреби заміняти. Ізоляційні накладки також може містити матеріал, який слугує акустичним екраном, допомагаючи контролювати рівень шуму.

Конденсатовідвідники необхідно ізолювати особливо обережно. Конденсатовідвідники різних типів здатні правильно працювати лише в тому разі, якщо в них конденсується лише обмежена кількість пари, або з них віддається задана кількість теплоти (наприклад, деякі термостатичні та термодинамічні конденсатовідвідники).

Якщо ці конденсатовідвідники надто сильно ізолювати, це може погіршити їх роботу. Тому, перш ніж ізолювати їх, необхідно проконсультуватися з виробником або іншим експертом.

Економіка
Ці заходи можуть швидко окупитися, проте конкретний час залежить від енергії, ціни та ділянки, яку потрібно ізолювати.

Рушій для впровадження
- Зменшення витрат.
- Охорона здоров'я і техніка безпеки.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [16, CIPEC, 2002, 123, Міністерство енергетики США]

3.2.12 Впровадження програми контролю та ремонту конденсатовідвідників

Опис
З конденсатовідвідників, які протікають, втрачається значна кількість пари, а це призводить до великих втрат енергії. Ці втрати можна ефективно скоротити шляхом належного технічного обслуговування. У парових системах, де конденсатовідвідники не оглядалися протягом останніх трьох-п'яти років, до 30 % конденсатовідвідників можуть не випускати пару. У системах з програмою регулярного планового технічного обслуговування протікає менше 5 % від загальної кількості конденсатовідвідників.

Існує багато різних типів конденсатовідвідників, і кожен тип має власні характеристики та передумови використання. Перевірки на наявність виходу пари базуються на акустичних, візуальних, теплових перевірках чи перевірках електропровідності.

У разі заміни конденсатовідвідників можна розглянути можливість їх заміни на конденсатовідвідники з соплами Вентурі. Деякі дослідження свідчать про те, що за певних умов ці конденсатовідвідники зменшують втрати пари і мають довший термін служби. Проте серед експертів немає єдиної думки про використання конденсатовідвідників із соплами Вентурі. У будь-якому випадку, конденсатовідвідник цього типу постійно протікає, тому його слід використовувати лише для дуже специфічних завдань (наприклад, на ребойлерах, які завжди працюють мінімум на 50 – 70 % від свого проєктного навантаження).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У Таблиці 3.12 наведені приблизні втрати пари, зумовлені витоками через отвори кількох діаметрів.

Приблизний діаметр отвору конденсатовідвідника (мм)	Приблизна втрата пари (кг/год.)			
	Приблизний тиск пари (бар надл.)			
	1	7	10	20
1	0,38	1,5	2,1	-
2	1,5	6,0	8,6	16,4
3	6,2	24	34,4	65,8
4	13,9	54	77	148
6	24,8	96	137	263
8	55,8	215	309	591

Таблиця 3.12. Швидкість скиду пари з конденсатовідвідника, який протікає [123, Міністерство енергетики США]

Експлуатаційні параметри

Усі конденсатовідвідники перевіряються у ході щорічного обстеження. Різні категорії їх робочого стану наведені у Таблиці 3.13.

Скорочення	Опис	Визначення
OK	Усе гаразд	Працює, як потрібно
BT	Продувається	З цього конденсатовідвідника витікає пара; втрати пари максимальні. Потрібно замінити
LK	Протікає	З цього конденсатовідвідника витікає пара. Потрібно відремонтувати або замінити
RC	Частий цикл	Цей термодинамічний конденсатовідвідник працює з надто частим циклом. Необхідно відремонтувати або замінити
PL	Засмічений	Цей конденсатовідвідник перекритий. Конденсат не може крізь нього протікати. Потрібно замінити
FL	Переповнений	Цей конденсатовідвідник вже не може впоратися з потоком конденсату. Потрібно замінити конденсатовідвідником належного розміру
OS	Виведений з експлуатації	Ця лінія не працює
NT	Не випробувано	Цей конденсатовідвідник за межами доступу, і тому не був випробуваний

Таблиця 3.13. Різні експлуатаційні фази конденсатовідвідників [29, Maec, 2005]

Кількість пари, що втрачається з конденсатовідвідника, можна оцінити так:

$$L_{t,y} = \frac{1}{150} \times FT_{t,y} \times FS_{t,y} \times CV_{t,y} \times h_{t,y} \times \sqrt{P_{вх,t}^2 - P_{вих,t}^2} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.5}$$

де:

- $L_{t,y}$ = кількість пари, яку втрачає t-ий конденсатовідвідник за період y (тонни)
- $FT_{t,y}$ = експлуатаційний коефіцієнт t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $FS_{t,y}$ = коефіцієнт завантаження t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $CV_{t,y}$ = коефіцієнт витрати t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $h_{t,y}$ = кількість годин роботи t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $P_{вх,t}$ = тиск на вході t-ого конденсатовідвідника (атмосфери)
- $P_{вих,t}$ = тиск на виході t-ого конденсатовідвідника (атмосфери)

Експлуатаційний коефіцієнт $FT_{t,y}$ береться з Таблиці 3.14:

	Тип	**FT**
BT	Продувається	1
LK	Протікає	0,25
RC	Частий цикл	0,20

Таблиця 3.14. Експлуатаційні коефіцієнти для визначення втрат пари у конденсатовідвідниках
[29, Maec, 2005]

У коефіцієнті завантаження враховується взаємодія між парою та конденсатом. Чим більше конденсату протікає через конденсатовідвідник, тим менше в ньому місця для пропускання пари. Кількість конденсату залежить від випадку застосування, як показано у Таблиці 3.15 нижче:

Застосування	**Коефіцієнт завантаження**
Стандартне технологічне застосування	0,9
Крапельно-супутникові конденсатовідвідники	1,4
Паровий потік (без конденсату)	2.1

Таблиця 3.15. Коефіцієнт завантаження для визначення втрат пари
[29, Maec, 2005]

Нарешті, від розміру трубопроводу також залежить коефіцієнт витрати:

- $CV = 3{,}43\ D^2$
- де D = радіус отвору (см).

Приклад розрахунку:

- $FT_{t,рік}$ = 0,25
- $FS_{t,рік}$ = 0,9, оскільки кількість пари, яка пройшла через конденсатовідвідник, сконденсувалася, але місткості теплообмінника для неї достатньо (див. Таблицю 3.15 вище)
- $CV_{t,рік}$ = 7,72
- D = 1,5 см
- $h_{t,рік}$ = 6000 годин на рік
- $P_{вх,t}$ = 16 атмосфер
- $P_{вих,t}$ = 1 атмосфера

Таким чином, конденсатовідвідник втрачає до 1110 тонн пари на рік.

Якщо це відбувається на установці, де пара коштує 15 євро/тонну, то остаточні втрати складуть: 16 650 євро на рік.

Якщо пара буде не просто протікати, а повністю витече, витрати можуть зрости до 66 570 євро на рік.

Ці втрати безсумнівно виправдовують впровадження ефективної системи керування та контролю для всіх конденсатовідвідників на установці.

Застосовність

Програма, яка дасть змогу відстежувати конденсатовідвідники, що протікають, і визначати, чи потрібно замінити конденсатовідвідники, необхідна для кожної парової системи. У конденсатовідвідників часто порівняно короткий термін служби.

Частота, з якою конденсатовідвідники перевіряються, залежить від розміру об’єкта, витрати пари, робочого тиску (тисків), кількості та розміру конденсатовідвідників, віку і стану системи та конденсатовідвідників, а також від існуючого планового технічного обслуговування. Витрати і вигоди від проведення повних технічних оглядів і внесення змін у програми потрібно збалансувати з урахуванням цих чинників. (На деяких об’єктах може бути 50 і менше конденсатовідвідників, усі з яких легкодоступні, а на інших – 10 000 конденсатовідвідників).

У деяких джерелах зазначається, що обладнання з великими конденсатовідвідниками (наприклад, з витратами пари близько 1 тонни пари за годину або більше) – особливо те, яке працює під високим тиском, – можна перевіряти раз на рік, а менш критичне – за циклічною програмою, яка передбачає перевірку 25 % конденсатовідвідників у рік (тобто кожен конденсатовідвідник перевіряється принаймні раз на 4 роки). Це приблизно така ж періодичність, як і в програмах виявлення ремонту витоків (LDAR), наявності яких на таких установках зараз вимагають багато які уряди. У одному з прикладів, у якому технічне обслуговування конденсатовідвідників виконувалося безсистемно, до 20 % конденсатовідвідників виявилися дефектними. За допомогою щорічного контролю кількість конденсатовідвідників, які протікають, можна зменшити до 4 – 5 %. Якщо всі конденсатовідвідники перевіряються щороку, частка тих, що протікають, за 5 років повільно знизиться приблизно до 3 % (у міру того, як старіші конденсатовідвідники будуть замінятися новими моделями).

У будь-якому випадку, при перевірці конденсатовідвідників хорошим підходом також буде перевірити обхідні клапани. Їх іноді залишають відкритими, щоб уникнути перевищення тиску в лініях та їх пошкодження (особливо у супутникових лініях), якщо конденсатовідвідник не здатний відвести весь конденсат, а також з експлуатаційних міркувань. Зазвичай ефективніше усунути початкову проблему, виконати належні ремонтні роботи, тощо (які можуть потребувати капітальних витрат), ніж експлуатувати систему з поганою енергоефективністю.

На конденсатовідвідниках кожного типу можна встановити автоматизований механізм керування. Автоматичні засоби керування конденсатовідвідником особливо корисні для:

- конденсатовідвідників з високими робочими тисками, внаслідок чого будь-який витік відразу призводить до великих втрат енергії;
- конденсатовідвідників, робота яких життєво важлива для експлуатації системи, і перекриття яких призведе до пошкодження або виробничих втрат.

Економіка
Вартість заміни зазвичай значно менша, ніж втрати, зумовлені роботою з дефектними пристроями. Швидка окупність – залежно від масштабів витоку. Див. приклад вище.

Рушій для впровадження
- Витрати.
- Підвищення ефективності парової системи.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.13 Збір і повернення конденсату в котел для повторного використання

Опис
Якщо теплота підводиться до технологічного процесу через теплообмінник, пара віддає енергію у вигляді прихованої теплоти під час конденсації з перетворенням у гарячу воду. Ця вода втрачається або (як правило) збирається і повертається у котел. Повторне використання конденсату виконує чотири завдання:

- повторне використання енергії, що міститься в гарячому конденсаті;
- заощадження на вартості (необробленої) підживлювальної води;
- заощадження на вартості підготовки котлової води (конденсат потребує водопідготовки);
- заощадження на вартості скидання стічних вод (якщо це застосовується).

Збір конденсату здійснюється під атмосферним та від’ємним тиском. Конденсат може утворюватися з пари в обладнанні під набагато вищим тиском.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Якщо цей конденсат повертається в умови атмосферного тиску, з нього спонтанно утворюється м’ята пара. Її також можна регенерувати (див. розділ 3.2.14).

Завдяки повторному використанню конденсату також зменшується кількість хімічних речовин, що використовуються для водопідготовки. Також зменшується кількість води, яка споживається і скидається.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
У випадку систем з від’ємним тиском необхідна деаерація.

Застосовність
Цю технологію не можна застосовувати у тих випадках, коли регенерований конденсат забруднений, або якщо конденсат неможливо регенерувати через те, що у процес вприскується пара.

Що стосується нових проєктів, то хорошою практикою вважається розділяти конденсат на потенційно забруднені та чисті потоки конденсату. Чистий конденсат – це конденсат, що надходить із джерел, які в принципі ніколи не бувають забрудненими (наприклад, із ребойлерів, у яких тиск пари вищий, ніж тиск процесу, тож у випадку протікання трубок пара надійде у процес, а не в компоненти процесу з боку пари). Потенційно забруднений конденсат – це конденсат, який може забруднитися у випадку аварійної ситуації (наприклад, розриву трубки у ребойлерах, у яких тиск з боку процесу вищий, ніж тиск з боку пари). Чистий конденсат можна регенерувати без додаткових запобіжних заходів. Потенційний конденсат можна регенерувати, крім випадків, коли він був забруднений (наприклад, внаслідок витоку з ребойлера), виявлених шляхом оперативного моніторингу – наприклад, за допомогою лічильника загального органічного вуглецю (ЗОВ).

Економіка
Регенерація конденсату приносить суттєві вигоди, і її можливість слід розглядати у всіх застосовних випадках (див. пункт «Застосовність» вище), крім випадків, коли кількість конденсату мала (наприклад, коли у процес додається пара).

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Увійшло в загальний вжиток.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.14 Повторне використання м’ятої пари

Опис
М’ята пара утворюється, коли конденсат, який перебував під високим тиском, розширюється. Як тільки конденсат потрапляє в умови низького тиску, частина конденсату знову випаровується і перетворюється у м’яту пару. М’ята пара містить як очищену воду, так і велику частку доступної енергії, яка залишилася в конденсаті.

Енергію можна регенерувати шляхом теплообміну з підживлювальною водою. Якщо тиск продувної води попередньо був знижений у розширювальному баку, пара утвориться за низького тиску. Цю м’яту пару можна буде подати безпосередньо у дегазатор і таким чином змішати зі свіжою підживлювальною водою. М’ята пара не містить жодних розчинених солей, і на пару припадає велика частка енергії, що міститься у продувках.

Проте м’ята пара займає набагато більший об’єм, ніж конденсат. Зворотні трубопроводи повинні бути здатні пропускати її без підвищень тиску, інакше виникне протитиск, який може перешкоджати належній роботі конденсатовідвідників та інших компонентів вище по течії.

У котельній м’яту пару, як і конденсат, можна використовувати для нагрівання свіжої підживлювальної води у дегазаторі. Серед інших можливостей – використання м’ятої пари для нагрівання повітря.

Ззовні котельної м’яту пару можна використовувати для нагрівання компонентів до температури нижче 100 °C. На практиці існують способи застосування пари під

надлишковим тиском в 1 бар, тож м'яту пару можна вприскувати в ці трубопроводи. М'яту пару також можна використовувати для підігрівання повітря, тощо.

Потреба процесів низького тиску у парі зазвичай задовольняється шляхом дроселювання пари високого тиску, проте потребу процесу у парі можна частково задовольнити з мінімальними витратами шляхом розширення конденсату високого тиску. Розширення з перетворенням у м'яту пару особливо привабливе у тих випадках, коли конденсат високого тиску нерентабельно повертати у котел.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Вигоди залежать від конкретного випадку.

За тиску в 1 бар температура конденсату становить 100 °C, а ентальпія – 419 кДж/кг. Якщо м'яту пару або пару після випаровування регенерувати, повний вміст енергії буде залежати від робочого навантаження установки. Частка енергії, яка покидає парові системи з конденсатом, наведена у Таблиці 3.16, у якій також вказана відносна кількість енергії в конденсаті та у м'ятій парі. За вищих тисків м'ята пара містить більшу частину енергії.

Абсолютний тиск (бар)	У конденсаті за атмосферного тиску (%)	У конденсаті + парі після випаровування за котлового тиску (%)	Відносна частка енергії, яку можна регенерувати у м'ятій парі (%)
1	13,6	13,6	0,0
2	13,4	16,7	19,9
3	13,3	18,7	28,9
5	13,2	21,5	38,6
8	13,1	24,3	46,2
10	13,0	25,8	49,4
15	13,0	28,7	54,7
20	12,9	30,9	58,2
25	12,9	32,8	60,6
40	12,9	37,4	65,4
Примітка. Середньорічна температура живильної води для установки часто становить приблизно 15 °C. Ці цифри були розраховані для ситуації, у якій вода постачається в установку з температурою 15 °C, або з ентальпією 63 кДж/кг			

Таблиця 3.16. Відсоток повної енергії, присутній у конденсаті за атмосферного тиску та у м'ятій парі
[29, Maec, 2005]

Міжсередовищні наслідки
Якщо м'ята пара отримується з конденсату, який перебуває під тиском, температура (і вміст енергії) у конденсаті, що повертається в котел, знизяться. Якщо встановлено економайзер, потенційна перевага цієї ситуації полягає в тому, що економайзер зможе регенерувати більше енергії з вихлопної димової труби, передавши її потоку зворотної / живильної води, і ККД котла збільшиться. Це найбільш енергоефективне поєднання. Проте у цьому випадку необхідно знайти вжиток для пари низького тиску (НТ), що утворюється при розширенні, – враховуючи, що пару низького тиску (з усіх джерел) можна транспортувати лише на обмежену відстань. У багатьох випадках (наприклад, на нафтопереробних та хімічних заводах) існує надлишок пари низького тиску, і для пари, отриманої шляхом розширення, часто немає вжитку. У таких випадках найкращим варіантом є повернення конденсату в деаератор, оскільки скидання м'ятої пари в атмосферу – це марна втрата енергії. Щоб уникнути проблем з конденсатом, конденсат можна збирати по місцю у межах конкретного агрегату чи виду діяльності і подавати насосом назад у деаератор.

Реалізація будь-якого з варіантів залежить від співвідношення витрат та вигод, пов'язаних зі встановленням необхідних трубопроводів та іншого обладнання (див. Розділ 1.1.6).

Експлуатаційні параметри
М'яту пару можна повторно використати у багатьох випадках – часто для нагрівання до температур менше 100 °C. Існує ряд таких можливостей.

Збирання м'ятої пари у конденсатні трубопроводи. Протягом терміну служби установки до одних і тих же ліній можуть додаватися різні компоненти, і трубопровід повернення конденсату може стати надто малим для тієї кількості конденсату, яку потрібно регенерувати. У більшості випадків цей конденсат регенерується за атмосферного тиску, тому більша частина трубопроводу заповнюється м'ятою парою. Якщо конденсат почне скидатися в більших кількостях, тиск у цих трубопроводах може зрости до більш ніж 1 бара надлишкового тиску. Це може призвести до проблем вище по течії і порушити нормальну роботу конденсатовідвідників, тощо.

М'яту пару можна скидати в бак м'ятої пари, встановлений у належній точці траси зворотного трубопроводу. У цьому випадку м'яту пару можна використовувати для місцевого підігрівання чи нагрівання до температур менше 100 °C. Водночас тиск у трубопроводі повернення конденсату знизиться до нормального, тож мережу повернення конденсату не доведеться модернізувати.

У разі перегляду існуючої мережі слід розглянути можливість повернення конденсату за нижчого тиску. У цьому випадку буде утворюватися більше м'ятої пари, і температура також знизиться до менш ніж 100 °C.

При використанні пари – наприклад, для нагрівання до температур менше 100 °C – реальний тиск у нагрівальному змійовику після внесення поправок може знизитися до менш ніж 1 бара. Це може призвести до всмоктування конденсату у змійовик і його затоплення водою. Цього можна уникнути, регенеруючи конденсат під низьким тиском. Завдяки низькому тиску утвориться більше м'ятої пари, і з конденсату вдасться регенерувати більше енергії. Компоненти, які працюють за цих понижених температур, можна виділити в окрему мережу. Проте для підтримання цього низького тиску та видалення повітря, що підтікає у труби ззовні, потрібно встановити додаткові насоси.

Застосовність
Ця технологія застосовується, коли на об'єкті є парова мережа з нижчими тисками, ніж тиск, за якого виробляється пара. У цьому випадку повторне використання м'ятої пари може бути більш ексергетично вигідним, ніж просто віддавати тепло, яке міститься у продувках, через теплообмінник.

Теоретично будь-якого споживача енергії, що працює в умовах пониженої температури, потенційно можна перевести на використання м'ятої пари замість свіжої пари, тому у ході дослідження буде виявлено ряд можливостей, хоча їх не завжди легко реалізувати. Ця технологія широко застосовується в нафтохімічній галузі.

Економіка
Регенерація м'ятої пари дає змогу заощадити на свіжій підживлювальній воді та її водопідготовці, хоча основне заощадження коштів припадає на енергію. Регенеруючи м'яту пару, можна заощадити набагато більше енергії, ніж шляхом простого збору рідкого конденсату.

Див. приклади у Додатку 7.10.1.

Рушій для впровадження
- Зменшення витрат.
- Використання пари низького тиску.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[29, Maec, 2005, 123, Міністерство енергетики США]

3.2.15 Регенерація енергії з продувок котла

Опис
Енергію з продувок котла можна регенерувати за допомогою теплообмінника для підігрівання підживлювальної води котла. Будь-який котел з безперервною продувкою, величина якої перевищує 4 % від витрати пари, є хорошим кандидатом на впровадження регенерації відхідного тепла продувок. Більші заощадження енергії досягаються у котлах високого тиску.

Ще один спосіб видобути користь з енергії, наявної у продувках, – перетворити продувки в пару шляхом їх миттєвого розширення під середнім або низьким тиском (див. розділ 3.2.14).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Потенційний виграш в енергії завдяки регенерації тепла з продувок наведено у Таблиці 3.17:

Енергія, регенерована з втрат на продувку, у МДж/год. [21]					
Величина продувок у % від вихідної потужності котла	Робочий тиск котла				
	2 бар надл.	5 бар надл.	10 бар надл.	20 бар надл.	50 бар надл.
1	42	52	61	74	95
2	84	103	123	147	190
4	168	207	246	294	379
6	252	310	368	442	569
8	337	413	491	589	758
10	421	516	614	736	948

Таблиця 3.17. Енергія, регенерована з втрат на продувку
[29, Maec, 2005]

Якщо температуру продувок знизити, буде легше дотриматися екологічних норм, які вимагають, щоб стічні води скидалися з температурою нижче певного значення.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Див. приклади у Додатку 7.10.1.

[21] Ці кількості визначені для котла продуктивністю 10 т/год., із середньою температурою котлової води 20 °C, та ефективністю регенерації тепла з продувок 88 %.

Застосовність
Див. пункт «Економіка» нижче.

Економіка
З огляду на ефективність такої технології кошти зазвичай повертаються протягом кількох років.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
Див. приклади у Додатку 7.10.1.

Довідкова інформація
[29, Маес, 2005], [16, CIPEC, 2002], [123, Міністерство енергетики США], CEN EN 12952-15:2003 та CEN EN 12953-11:2003

3.3 Регенерація тепла та охолодження

[16, CIPEC, 2002, 26, Нейсекке, 2003, 34, ADENE, 2005, 97, Крейт, 1997]

Тепло у природних умовах передається від тіла з більшою температурою (джерела тепла) до тіла з меншою температурою (стоку тепла) (див. розділ 1.2.2.2, другий закон термодинаміки). За аналогією з іншими викидами у навколишнє середовище, потоки тепла від діяльності, процесу або системи можна поділити на два типи:

1. Дифузні джерела – наприклад, випромінювання через отвори печі, погано ізольовані чи взагалі не ізольовані гарячі ділянки, тепло, яке розсіюється з підшипників.
2. Напрямлені потоки, наприклад:
   - гарячі димові гази;
   - відпрацьоване повітря;
   - охолоджувальні рідини з систем охолодження (наприклад, гази, охолоджувальна вода, термічна олива);
   - гарячі або холодні продукти або відходи;
   - гаряча або холодна вода, що зливається в каналізацію;
   - теплота перегрівання та конденсатора, що віддається від холодильного процесу.

Ці втрати теплоти часто називаються «відхідним теплом», хоча правильним терміном мало б бути «надлишкове тепло», оскільки тепло з напрямлених теплових потоків можна регенерувати для використання в іншому процесі або системі. Для зручності читача у цьому розділі використовується термін «відхідне / надлишкове тепло».

Існують два рівні ексергії теплових потоків («якість» теплоти – див розділ 1.2.2.2):

1. Теплота з гарячих потоків, як-от гарячі димові гази.
2. Теплота з порівняно холодних потоків (наприклад, <80 °C). З цієї теплоти важче отримати користь, і може бути потрібно поліпшити ексергію теплоти.

У простих випадках з нею можна працювати напряму за допомогою технологій, описаних у цьому розділі. На складніших установках з кількома джерелами та/або стоками тепла регенерація тепла досліджується на рівні всього об’єкта або процесу – наприклад, за допомогою таких інструментів, як пінч-аналіз, і застосування теплообміну між процесами або технологічної інтеграції (див. розділи 2.3, 2.4 та 2.12).

Технології регенерації тепла
Найбільш поширеними є такі технології регенерації тепла:

- безпосереднє використання: теплообмінники використовують теплоту у тому вигляді, у якому вона міститься в надлишковому потоці (наприклад, гарячі димові гази – див. розділ 3.2.5);
- теплові насоси покращують якість теплоти у порівняно холодних потоках, щоб вона могла виконати більше корисної роботи, ніж можливо за її поточної температури (тобто підведення високоякісної енергії підвищує якість енергії відхідної / надлишкової теплоти);
- багатоступеневі операції, як-от випаровування у випарних батареях, розширення з перетворенням у м'яту пару та поєднання вже згаданих підходів (див. розділ 3.11.3.6).

Перш ніж досліджувати можливості регенерації тепла, важливо оптимізувати відповідні процеси. Оптимізація після впровадження регенерації тепла може несприятливо вплинути на регенерацію тепла, система регенерації може виявитися надто великою, і співвідношення витрат та вигод невигідно зміниться.

Як наслідок, необхідно оцінити якість і кількість відхідного / надлишкового тепла, а потім визначити можливі способи його застосування. Регенерація тепла часто обмежується якістю відхідного тепла та можливостями його використання.

Принципово важливо мати релевантну, кількісно виражену інформацію та знання про процеси, у яких виникає теплота, і в яких буде впроваджуватися регенерація тепла. Основною причиною труднощів і невдач у регенерації відхідного тепла є недостатнє розуміння ситуації. Помилки та недогляди з великою ймовірністю матимуть більш глибокі наслідки, ніж, наприклад, нерозумно вибраний тип теплообмінника. Окрім термодинамічних помилок, до проблем з теплообмінником – незалежно від того, який теплообмінник вибрано – можуть призвести фізичні властивості джерела відхідного тепла, якщо вони не були повністю досліджені з самого початку.

Для успішної інтеграції регенерації тепла у технологічний процес необхідно мати глибоке розуміння того, як працює технологічний процес, і знати, наскільки можна змінювати робочі параметри. Детальні вимірювання та реєстрація експлуатаційних параметрів закладають чудову основу для планування. Це також допомагає інженеру-технологу виявити заощадження, яких можна досягти за допомогою недорогих заходів.

Можливі такі варіанти:

- використання теплоти у тому процесі, з якого вона походить (тобто рециркуляція – часто за допомогою теплообмінників, як-от економайзери, див. розділ 3.2.5);
- використання теплоти в іншій системі або агрегаті (така необхідність може виникнути через те, що температура відхідного тепла недостатньо висока). Такі рішення поділяються на два типи:
  - в межах установки, але в іншому агрегаті чи процесі;
  - в іншій установці (наприклад, на хімічних комбінатах) або для задоволення потреб більш широкої спільноти, як-от централізоване опалення – див. «Когенерація», розділ 3.4.

Якщо ексергія відхідного тепла недостатньо висока, її можна збільшити за допомогою теплових насосів або знайти вжиток для низькопотенційної енергії, як-от гаряче водопостачання або обігрівання приміщень у системах ОВіК.

Таким чином, у цьому розділі розглядається охолодження (як важлива можливість для регенерації тепла) та основні дві згадані технології: теплообмінники та теплові насоси.

3.3.1 Теплообмінники

Опис

Безпосередня регенерація тепла здійснюється теплообмінниками. Теплообмінник – це пристрій, у якому енергія передається від однієї рідини або газу до іншої через тверду поверхню. Вони використовуються для нагрівання або охолодження процесів чи систем. Теплопередача здійснюється за рахунок як конвекції, так і теплопровідності.

Вихідна теплота з порівняно низькими температурами – наприклад, до 70 °C, хоча вони можуть досягати і 500 °C – використовується у багатьох секторах промисловості, як-от:

- хімічна промисловість, у тому числі виробництво полімерів;
- харчова та питна промисловість;
- виробництво паперу і картону;
- виробництво текстилю і тканин.

У цьому діапазоні температур може використовуватися перелічене нижче обладнання для регенерації тепла (теплообмінники), залежно від типу текучих середовищ, які в ньому використовуються (тобто газо-газові, газо-рідинні, рідинно-рідинні теплообмінники) та конкретного випадку застосування:

- обертовий регенератор (адіабатне колесо);
- змійовик;
- теплообмінник з тепловими трубками / термосифонний теплообмінник;
- трубчастий рекуператор;
- економайзер;
- конденсаційний економайзер;
- вприскувальний конденсатор (рідинний теплообмінник);
- кожухотрубний теплообмінник;
- пластинчастий теплообмінник;
- кожухопластинчастий теплообмінник.

За вищих температур (понад 400 °C), які застосовуються у таких переробних галузях, як сталеливарна промисловість, чорна металургія, мідна, алюмінієва, скляна та керамічна промисловість, регенерувати відхідне тепло з газів можна такими методами:

- пластинчасті теплообмінники;
- кожухотрубні теплообмінники;
- радіаційні труби з рекуператорами;
- конвекційні труби з рекуператорами;
- рекуперативні системи пальників та пальники з саморекуперацією;
- статичні регенератори;
- обертові регенератори;
- компактні керамічні регенератори;
- регенеративні пальники з імпульсним горінням;
- радіально-пластинчасті рекуперативні пальники;
- пальники з вбудованим регенераційним шаром. Конструкції з киплячим шаром використовуються за важких умов роботи – наприклад, на целюлозно-паперових фабриках;
- печі з оптимізацією енергії.

Теплообмінники з динамічною поверхнею або скребкові теплообмінники використовуються головним чином для нагрівання або охолодження під час роботи з високов'язкими продуктами, у процесах кристалізації, випаровування та у випадках, коли поверхні сильно забруднюються.

Однією із сфер, у яких теплообмінники набули найширшого вжитку, є кондиціювання повітря – див. розділ 3.9. У цих системах використовуються змійовики (названі так за їх змієподібні внутрішні трубки).

Ефективність
Теплообмінники конструюються для конкретних випадків застосування, оптимізованих з точки зору енергії. Подальша експлуатація теплообмінників за інших або змінних умов роботи можлива лише в певних межах. Це призведе до зміни кількості енергії, що передається, коефіцієнта теплопередачі (коефіцієнта U) та перепаду тиску теплоносія.

Коефіцієнт теплопередачі, а відтак і потужність, що передається, залежать від теплопровідності, а також від стану поверхні та товщини матеріалу, через який здійснюється теплопередача. Належна механічна конструкція та правильний вибір матеріалів можуть збільшити ефективність теплообмінника. У виборі матеріалу та проєктуванні конструкції важливу роль також відіграють витрати та механічні напруження.

Потужність, яка передається через теплообмінник, дуже залежить від поверхні теплообмінника. Площу поверхні теплообмінника можна збільшити за допомогою оребрення (наприклад, теплообмінники з оребреними трубками, ламельні теплообмінники). Це особливо корисно за низьких коефіцієнтів теплопередачі (наприклад, у газових теплообмінниках).

Накопичення бруду на поверхні теплообмінника погіршує теплопередачу. Кількість бруду можна зменшити шляхом використання належних матеріалів (з дуже гладкими поверхнями), належних конструктивних форм (наприклад, спіральних теплообмінників) або зміни умов роботи (наприклад, високих швидкостей рідини). Крім того, теплообмінники можна чистити або оснастити автоматичними системами очищення (динамічною поверхнею або поверхнею зі скребковим очищенням).

За більших витрат коефіцієнт теплопередачі буде більшим. Проте збільшення витрати також призводить до збільшення падіння тиску. Висока турбулентність потоку покращує теплопередачу, але призводить до збільшення падіння тиску. Потік можна турбулізувати шляхом використання штампованих пластин у теплообміннику або встановлення відхилювачів потоку.

Потужність, що передається через теплообмінник, також залежить від фізичного стану текучого середовища (наприклад, температури і тиску). Якщо у якості первинного теплообмінника використовується повітря, його можна зволожувати перед подаванням у теплообмінник. Це покращує теплопередачу.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії завдяки використанню вторинних потоків енергії.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Застосовність
Системи регенерації тепла широко й успішно застосовуються в багатьох секторах промисловості та системах – див. пункт «Опис» вище. Також див. розділ 3.2.

Вони набувають усе ширшого вжитку, і в багатьох випадках – за межами установки (див. «Когенерація», розділ 3.4, і Додатки 7.10.3 та 7.10.4. Регенерацію тепла неможливо застосувати в тих випадках, коли на нього немає попиту, який би відповідав кривій виробництва.

Економіка
Період окупності може бути як вкрай коротким (наприклад, шість місяців), так і дуже довгим (50 років і більше). У австрійській целюлозно-паперовій промисловості період окупності складних і різноманітних систем становив від одного до приблизно трьох років.

Співвідношення витрат та вигод і періоди окупності (амортизації) можна розрахувати, наприклад, так, як показано у Довідковому документі з економічних та міжсередовищних наслідків (ECM).

У деяких випадках – особливо якщо теплота використовується за межами установки – може бути передбачена можливість фінансування у рамках політичних ініціатив (див. Додаток 7.13).

Рушій для впровадження
- Зниження витрат на енергію, зниження викидів і – часто – швидке повернення інвестицій.
- Покращення ходу технологічного процесу – наприклад, зменшення забруднення поверхні (у системах зі скребковим очищенням поверхні), удосконалення існуючого обладнання / потоків, зменшення падіння тиску в системі (а отже, збільшення потенційної максимальної продуктивності установки).
- Заощадження на зборах за скиди забруднюючих речовин.

Приклади
- Галузі промисловості, згадані у пункті «Опис» вище: хімічна промисловість, харчова та питна промисловість, виробництво паперу і картону, виробництво текстилю і тканин.
- У австрійській целюлозно-паперовій промисловості.
- Паперова фабрика Tait Paper у місті Інверурі, Аберденшир, Велика Британія.

Довідкова інформація
[16, CIPEC, 2002], [26, Нейсекке, 2003], [34, ADENE, 2005], [97, Крейт, 1997], [127, ТРГ]

3.3.1.1 Моніторинг і технічне обслуговування теплообмінників

Опис
Моніторинг стану трубок теплообмінників можна здійснювати шляхом дефектоскопії вихровими струмами. Це часто моделюється шляхом гідродинамічного моделювання (CFD). Для виявлення значних коливань температури або гарячих точок на зовнішній поверхні теплообмінників також можна застосовувати метод інфрачервоної фотографії (див. розділ 2.10.1).

Серйозною проблемою може бути засмічення теплообмінників. Охолоджувальна вода часто забирається з річок, лиманів або моря, тож у теплообмінник може потрапляти сміття біологічного походження, яке утворює шари відкладень. Ще однією проблемою є накип, тобто відкладення хімічних речовин, як-от карбонат кальцію або карбонат магнію (див. розділ 3.2.6). Накип також може відкладатися з боку процесу, який охолоджується, як-от відкладення кремнезему на глиноземних заводах. Див. пункт «Приклади» нижче.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Покращення теплообміну з метою регенерації тепла.

Міжсередовищні наслідки
Використання хімічних речовин для видалення накипу.

Експлуатаційні параметри

- Пластинчасті теплообмінники потрібно періодично чистити: для цього їх потрібно розібрати, очистити і знову зібрати.
- Трубчасті теплообмінники можна чистити шляхом кислотного промивання, очищення від конденсату протягуванням гільз або гідробуріння (останні дві технології можуть бути захищені правом власності).
- Експлуатація та охолодження систем охолодження розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS).

Застосовність

- Можна застосовувати до всіх теплообмінників.
- Конкретні технології слід вибирати окремо для кожного випадку.

Економіка

Підтримання проєктних характеристик теплообмінників оптимізує окупність.

Рушій для впровадження

Підтримання продуктивності.

Приклади

Кислотне промивання: завод Eurallumina, Portovecompany, Італія. Див. Додаток 7.10.2.

Довідкова інформація

Інфрачервоне фотографування: [162, SEI, 2006]

3.3.2 Теплові насоси (у тому числі з механічною рекомпресією пари – MVR)

Опис

Основне призначення теплових насосів – перетворювати низькотемпературну енергію (з низькою ексергією) у високотемпературну. Теплові насоси здатні передавати теплоту (а не виробляти теплоту) з техногенних джерел тепла, таких як промислові процеси, або з природних чи штучних джерел тепла у навколишньому середовищі, як-от повітря, ґрунт чи вода, для побутового, комерційного або промислового використання. Однак найбільшого вжитку теплові насоси набули у системах охолодження, холодильниках, тощо. У цих випадках теплота передається у протилежному напрямку – від об’єкта, який охолоджується, до навколишнього середовища. Іноді надлишок теплоти від охолодження використовується для одночасного задоволення потреби у теплі в іншому місці. Теплові насоси використовуються у когенерації та тригенерації: такі системи одночасно забезпечують охолодження та нагрівання, задовольняючи змінні сезонні потреби (див. розділи 3.4 та 3.4.2).

Щоб тепловий насос переносив тепло від джерела тепла в місце, де тепло потрібне, для його приведення в дію потрібна зовнішня енергія. Привід може бути будь-якого типу – наприклад, електродвигун, двигун внутрішнього згорання, турбіна або джерело тепла для адсорбційних теплових насосів.

Компресійні теплові насоси (замкненого циклу)

Найбільш поширеним тепловим насосом є, напевне, насос із компресорним приводом. Такі насоси встановлюються, наприклад, у холодильниках, кондиціонерах повітря, чилерах, осушувачах, теплових насосах для нагрівання за рахунок енергії, яка береться з гірської породи, ґрунту, води та повітря. Вони зазвичай приводяться в дію електродвигуном, проте на великих установках можуть використовуватися компресори з паротурбінним приводом.

У компресійних теплових насосах використовується зворотний цикл Карно (процес із холодною парою), який складається зі стадій випаровування, стиснення, конденсації та розширення у замкненому циклі.

На Рисунку 3.8 показано принцип дії компресійного теплового насоса. У випарнику циркулююче робоча речовина випаровується в умовах низького тиску та низької температури – наприклад, за рахунок відхідного тепла. Потім компресор збільшує її тиск і температуру. У конденсаторі робоча речовина переходить у рідкий стан і у ході цього процесу віддає придатну для використання теплоту. Після цього речовина розширюється під дією низького тиску і, випаровуючись, поглинає тепло з джерела тепла. Таким чином, низькотемпературна енергія, присутня у джерелі тепла (наприклад, у стічних водах, димових газах) перетворюється у високотемпературну енергію, яка використовується в іншому процесі або системі.

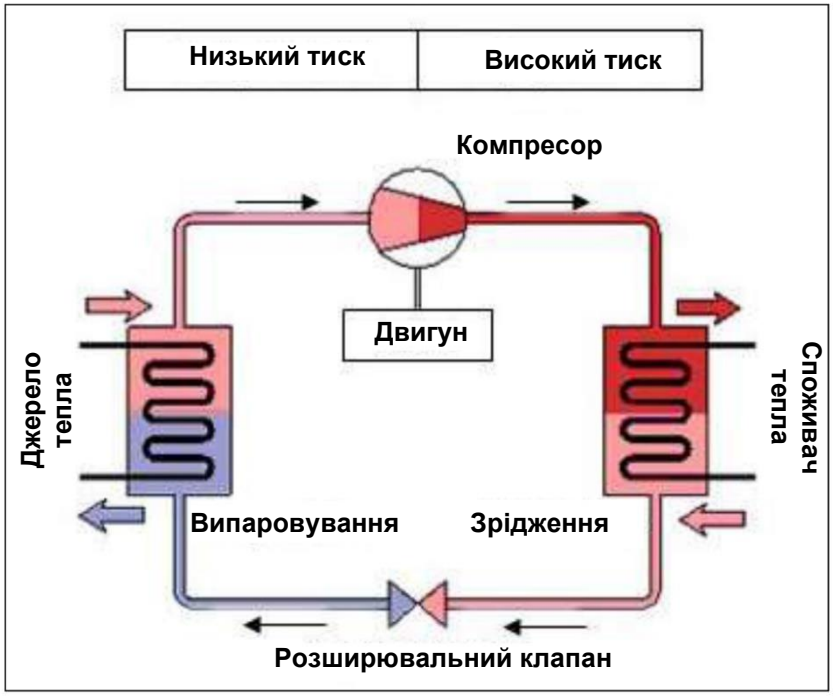


Рисунок 3.8. Схема компресійного теплового насоса
[28, Бергер, 2005]

У компресійному тепловому насосі ступінь ефективності виражається через коефіцієнт продуктивності (COP), який характеризує відношення вихідної теплоти до підведеної енергії, як-от електроенергія, що споживається двигуном компресора. Підведення необхідної енергії здійснюється у вигляді підведення електричної енергії до двигуна компресора.

Коефіцієнт продуктивності компресійного теплового насоса можна описати виразом:

$$\mathrm{COP_x} = \frac{\mathrm{Q_x}}{\mathrm{Q_г} - \mathrm{Q_x}} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.6}$$

$$\mathrm{COP_{тн}} = \frac{\mathrm{Q_г}}{\mathrm{Q_г} - \mathrm{Q_x}} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.7}$$

де:

$\mathrm{COP_x}$ та $\mathrm{COP_{тн}}$ – коефіцієнти продуктивності холодильних систем та теплових насосів, а $\mathrm{Q_x}$ та $\mathrm{Q_г}$ – це теплота, якою тепловий насос обмінюється з холодною та гарячою системами.

ККД циклу Карно за помірних коливань температур можна вважати сталим.
Компресійні теплові насоси можуть досягати коефіцієнта продуктивності (COP) до 6: це означає, що при підведенні 1 кВт·год. електроенергії до компресора тепловий насос здатний виробити 6 кВт·год. вихідної теплоти. У випадку енергетичних установок, що працюють на відходах (W-t-E), відношення вихідної теплоти до потужності компресора (співвідношення теплової та електричної енергії) може бути близько 5.

Проте коефіцієнт продуктивності дійсний лише для одного стаціонарного стану. Тому цей коефіцієнт не завжди адекватно відображає ефективність теплового насоса, оскільки стаціонарний стан не є репрезентативною характеристикою тривалих періодів роботи. На практиці ефективність теплового насоса можна належним чином описати показником загальної сезонної ефективності (SOE). Крім того, описуючи енергоефективність теплового насоса, потрібно враховувати додаткову енергію, використану для видобуття енергії з джерела тепла.

Для досягнення хорошої загальної сезонної ефективності повинні виконуватися такі вимоги:

- хороша якість самого теплового насоса;
- висока і стала температура джерела тепла (краща надлишкова теплота, ніж у навколишнього повітря);
- низька температура стоку тепла (вихідна температура);
- об’єднання всіх компонентів (тобто теплового насоса, джерела тепла, стоку тепла, засобів керування, системи розподілу тепла) у цілісну оптимізовану систему.

Абсорбційні теплові насоси
Абсорбційні теплові насоси застосовуються не так широко, особливо у промисловості. Як і компресорні теплові насоси, вони початково були розроблені для охолодження. Комерційні теплові насоси працюють на воді, яка циркулює по замкненому контуру через генератор, конденсатор, випарник та абсорбер. Для підтримання циркуляції замість стиснення використовується абсорбція води у розчині солі – як правило, броміду літію або аміаку – в абсорбері.

На Рисунку 3.9 зображено принцип дії абсорбційного теплового насоса: в абсорбційному тепловому насосі газоподібна робоча речовина (холодоагент), що виходить із випарника, поглинається рідким розчинником, і у процесі цього поглинання виділяється тепло. Цей збагачений розчин подається в ежектор насосом одночасно зі збільшенням його тиску, і після цього робоча речовина (холодоагент) вилучається з суміші двох речовин шляхом підведення зовнішнього тепла (наприклад, за допомогою пальника, що працює на природному газі, зрідженого нафтового газу (ЗНГ) або відхідного тепла). Об’єднана система абсорбера/ежектора підвищує тиск (відіграє роль теплового компресора). Газоподібна робоча речовина виходить з ежектора під вищим тиском і надходить у конденсатор, де зріджується і віддає процесу доступне для використання тепло.

Для приведення в дію насоса, що перекачує розчинник, потрібно підводити небагато енергії у порівнянні з компресором компресійного теплового насоса (тобто для перекачування рідини потрібно менше енергії, ніж для стиснення і транспортування газу).

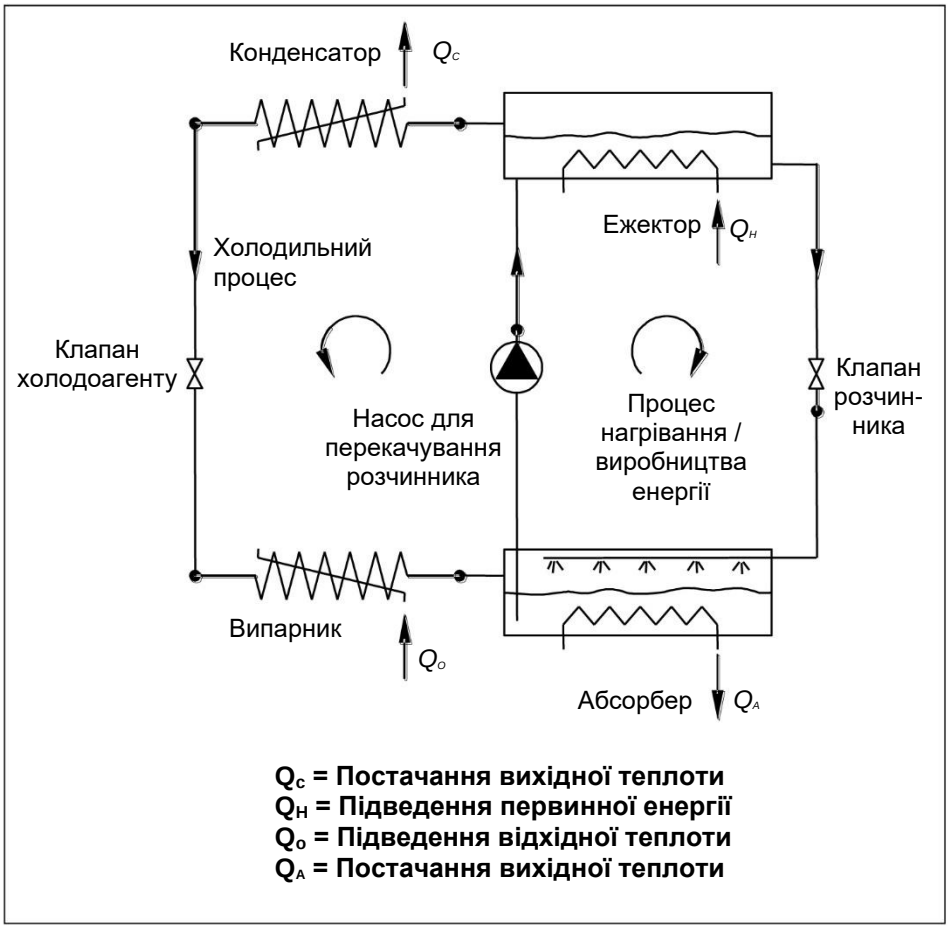


Рисунок 3.9. Схема абсорбційного теплового насоса
[28, Бергер, 2005]

У абсорбційних насосах ступінь ефективності виражається через коефіцієнт теплової ефективності. Він визначається як відношення вихідної теплоти до підведеної енергії палива. Якщо у якості джерела тепла в ежекторі використовується відхідне тепло, замість теплової ефективності використовується термічний коефіцієнт. Термічний коефіцієнт визначається як відношення вихідної теплоти до підведеного відхідного тепла. Сучасні абсорбційні теплові насоси можуть досягати коефіцієнтів теплової ефективності до 1,5. Відношення вихідної теплоти до потужності абсорбера зазвичай становить близько 1,6. У нинішніх системах, які працюють на розчині води / броміду літію у якості робочої суміші, температура на виході може досягати 100 °C, а підвищення температури – 65 °C. Системи нового покоління будуть мати більшу температуру на виході (до 260 °C) і більше підвищення температури.

Механічна рекомпресія пари (MVR)
Система з механічною рекомпресією пари (MVR) – це тепловий насос відкритого або напіввідкритого циклу (з огляду на систему теплового насоса). Парові вихлопи низького тиску з промислових процесів – наприклад, з котлів, випарників або кухонних плит – стискаються, а потім конденсуються, віддаючи тепло з більшою температурою, і таким чином заміняють гостру пару або іншу первинну енергію. Енергія, потрібна для приведення компресора в дію, зазвичай становить лише 5 – 10 % від теплоти, яку постачає система. Спрощена технологічна схема установки з механічною рекомпресією пари зображена на Рисунку 3.10.

Якщо пара чиста, її можна відразу використовувати, проте у випадку забрудненої пари необхідно передбачити проміжний теплообмінник (ребойлер). Це система напіввідкритого циклу.

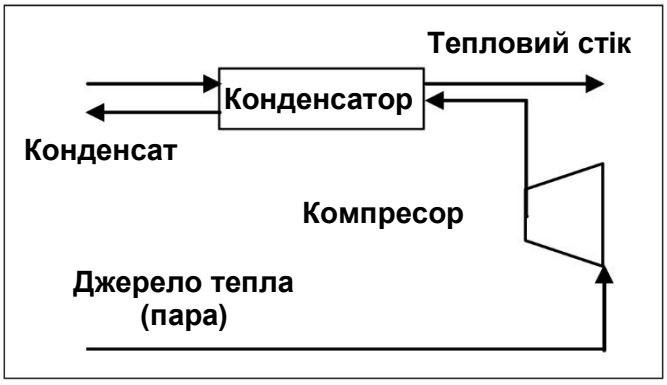


Рисунок 3.10. Проста установка з механічною рекомпресією пари [18, Асбланд, 2005]

Оскільки у системах з механічною рекомпресією пари вдається відмовитися від одного або двох теплообмінників (випарника та/або конденсатора, присутніх в інших теплових насосах), їх ефективність загалом висока. Ефективність, знову ж таки, виражається через «коефіцієнт продуктивності» (COP). Він виражається як відношення постаченої теплоти до роботи на валу компресора. На Рисунку 3.11, зображена залежність типових значень коефіцієнта продуктивності (COP) для установок з механічною рекомпресією пари від підвищення температури. Типові значення COP для установок з механічною рекомпресією пари знаходяться в межах 10 – 30.

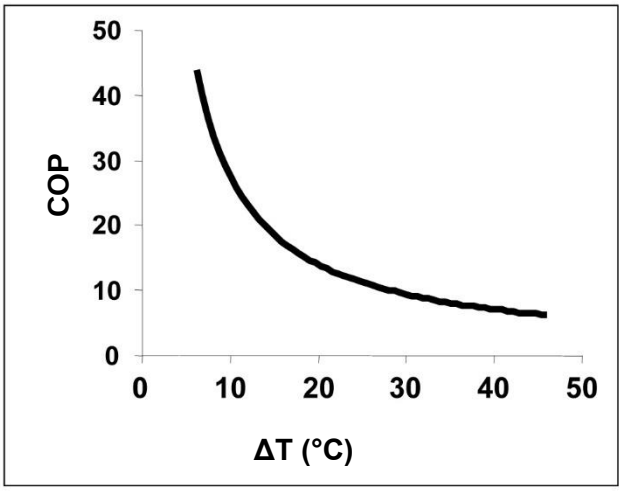


Рисунок 3.11. Залежність коефіцієнта продуктивності (COP) від підвищення температури для типової системи з механічною рекомпресією пари (MVR) [18, Асбланд, 2005]

Коефіцієнт продуктивності для установки з механічною рекомпресією пари описується Рівнянням 3.8

$$\mathrm{COP} > \frac{\eta_{\text{котел}}}{\eta_{\text{електростанція}}\eta_{\text{розподіл}}}$$

У Рівнянні 3.8:

- $\eta_{котел}$ – ККД котла на заводі / у галузі
- $\eta_{електростанція}$ – ККД електростанції, що виробляє електроенергію для національної мережі
- $\eta_{розподіл}$ відображає втрати на розподіл електроенергії в електромережі.

Таким чином, якщо електроенергія виробляється на конденсаційній електростанції, коефіцієнт продуктивності (COP) повинен бути більшим, ніж скажімо, 3, щоб система була енергоефективною. На практиці всі установки з механічною рекомпресією пари мають більші коефіцієнти продуктивності.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Теплові насоси дають змогу регенерувати низькопотенційне тепло, і при цьому споживання первинної енергії менше, ніж вихід енергії (залежно від коефіцієнта продуктивності (COP) і від того, чи виконуються умови, необхідні для забезпечення хорошої загальної сезонної ефективності). Це дає змогу корисно застосовувати низькопотенційне тепло – наприклад, для опалення в межах установки або в сусідніх житлових масивах. Завдяки цьому у конкретних сферах їх застосування знижується споживання первинної енергії та пов'язані з ним викиди газів, таких як вуглекислий газ (CO_2), діоксид сірки (SO_2) та оксиди азоту (NO_X).

Ефективність будь-якої теплонасосної системи дуже залежить від необхідного підвищення температури між джерелом та стоком.

Міжсередовищні наслідки
Використання холодоагенту з його характерним впливом на навколишнє середовище (зокрема, ефектом парникового газу) у разі витоків або виведення компресійних чи абсорбційних теплових насосів з експлуатації.

Експлуатаційні параметри
Див. описи теплових насосів вище.

Застосовність
Компресорні системи: з огляду на робочі речовини, які в них зазвичай використовуються, температура на виході не перевищує 120 °C.

Абсорбційні системи: якщо у якості пари робочих речовин використовується вода / бромід літію, температура на виході може досягати 100 °C, а підвищення температури – 65 °C. Системи нового покоління будуть мати більшу температуру на виході (до 260 °C) і більше підвищення температури.

Існуючі системи з механічною рекомпресією пари (MVR) працюють з температурами джерела тепла 70 – 80 °C і постачають тепло з температурою 110 – 150 °C, а у деяких випадках – 200 °C. Найпоширенішим із випарів, які стискаються в цих системах, є водяна пара, хоча також використовуються й інші технологічні пари – особливо у нафтохімічній галузі.

У галузях з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії ситуація складніша. Наприклад, у разі використання турбін з протитиском також необхідно враховувати втрачену роботу турбін.

Застосовність
Теплові насоси використовуються в охолоджувальному обладнанні та системах (у яких відведене тепло часто розсіюється – див. розділ 3.9). Проте це свідчить, що їх технології надійні і добре відпрацьовані. Ця технологія придатна для набагато ширшого вжитку з метою регенерації тепла:

- обігрівання приміщень;
- нагрівання та охолодження технологічних потоків;
- нагрівання води для миття, дезінфекції та очищення;
- виробництво пари;
- сушіння / осушення;
- випаровування;
- дистиляція;
- концентрування (видалення вологи).

Вони також використовуються у системах ко- та тригенерації.

Найбільш поширеними потоками відхідного тепла у промисловості є охолоджувальні текучі середовища, стоки, конденсат, волога та теплота, відведена в конденсаторах холодильних установок. З огляду на коливання у постачанні відхідного тепла може бути необхідно використовувати великі (ізольовані) баки-акумулятори, щоб забезпечити стабільну роботу теплового насоса.

Абсорбційні теплові насоси можна застосовувати в системах охолодження на об'єктах з великою кількістю відхідного тепла.

Більшість установок з механічною рекомпресією пари (MVR) обслуговують окремі операції, як-от дистиляція, випаровування та сушіння, проте також нерідко використовуються для виробництва пари, яка постачається у паророзподільну мережу.

Теплових насосів, призначених для регенерації тепла, у промисловості встановлено порівняно небагато: вони зазвичай реалізуються у ході планування нових об’єктів та установок або суттєвих модернізацій (див. розділ 2.3).

Теплові насоси більш рентабельні у випадках, коли вартість палива висока. Такі системи, як правило, складніші, ніж системи на викопному паливі, хоча їх технологія надійна.

Економіка

Економія дуже залежить від місцевої ситуації. Період амортизації у промисловості в найкращому випадку складає 2 роки. Це пояснюється, з одного боку, малими витратами на енергію, внаслідок чого заощадження, досягнуті завдяки використанню теплових насосів, виявляються мінімальними, а з іншого боку, великими інвестиційними витратами.

Прибутковість установки з механічною рекомпресією пари (MVR), окрім цін на паливо та електроенергію, залежить від вартості встановлення. Вартість встановлення такої установки в населеному пункті Німолла (Nymölla) у Швеції (див. пункт «Приклади» нижче) склала приблизно 4,5 мільйона євро. Шведське енергетичне агентство надало на неї грант у розмірі майже 1,0 мільйона євро. На момент встановлення щорічні заощадження складали близько 1,0 мільйона євро на рік.

Рушій для впровадження

- Скорочення експлуатаційних витрат на енергію.
- Установка дасть змогу розширити виробництво, не інвестуючи в новий котел, якщо обмежувальним чинником є потужність котла.

Приклади

- Davamyren, місто Умео, Швеція: тепловий насос із компресорним приводом на енергетичній установці, що працює на відходах.
- Завод зі спалювання відходів Renova у місті Гетеборг, Швеція: абсорбційний тепловий насос.
- Заводи Borlange, Halmstad та Tekniska Verken, Лінчепінг, Швеція – енергетичні установки, що працюють на відходах, та печі для спалювання біопалива у Швеції: теплові насоси з механічною рекомпресією пари (MVR).

- На заводі з сульфітного варіння целюлози StoraEnso у населеному пункті Німолла, Швеція,
- у 1999 році була встановлена система з механічною рекомпресією пари. Джерелом тепла є відпрацьована пара з процесу попереднього випаровування чорного лугу. Ця забруднена пара з температурою 84 °C спочатку конденсується у паро-паровому теплообміннику (ребойлері) для отримання чистої пари з приблизно на 5 °C нижчою температурою та надлишковим тиском 0,45 бара. Двоступеневий компресор збільшує її тиск приблизно до 1,7 бара надлишкового тиску, і витрата пари з компресора після зниження температури перегрітої пари шляхом вприскування води становить 21 тонну/год. Пара розподіляється у паровій системі низького тиску і використовується для попереднього випаровування, нагрівання живильної води та централізованого опалення. Механічний компресор приводиться в дію турбіною з протитиском. Потужність на валу – близько 2 МВт. Досвід експлуатації після деяких початкових проблем був дуже хорошим. Система з механічною рекомпресією пари зменшує споживання мазуту в котлах приблизно на 7000 – 7500 тонн в рік.
- Система з механічною рекомпресією пари була адаптована до малопотужних установок, на яких компресор може приводитися в дію простим електродвигуном.

Довідкова інформація
[21, Шведська асоціація керування відходами (RVF), 2002], [26, Нейсекке, 2003], [28, Бергер, 2005] [18, Асблад, 2005], [114, Серія аналітичних досліджень CADDET № 28, 2001], [115, Серія аналітичних досліджень CADDET № 23], [116, Центр теплових насосів MEA]

3.3.3 Чилери та системи охолодження

Чилери та системи охолодження докладно описані у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS). Під цими термінами маються на увазі лише системи, призначені для відведення відхідного тепла від будь-якого середовища шляхом теплообміну через воду та/або повітря з метою зниження температури цього середовища до рівнів навколишнього середовища. У деяких чилерах холодоагентом слугує лід або сніг. У Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) розглядаються лише компоненти холодильних систем, проте не розглядаються питання, пов'язані з холодоагентами, такими як аміак, CO_2, фторовмісні гази, хлорфторвуглеці (ХФВ), гідрохлорфторвуглеці (ГХФВ)[22], тощо. Крім того, в ньому не оцінюються конденсатори з охолодженням безпосереднім контактом та барометричні конденсатори, оскільки вони вважаються надто специфічними для конкретних технологічних процесів.

У Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) розглядаються такі промислові охолоджувальні системи або компонування:

- прямоточні системи охолодження (з градирнею або без неї);
- відкриті рециркуляційні системи охолодження (мокрі градирні);
- системи охолодження з замкненим контуром;
  - системи охолодження з повітряним охолодженням;
  - мокрі системи охолодження з замкненим контуром;
- комбіновані мокрі / сухі (гібридні) системи охолодження;
  - відкриті гібридні градирні;
  - гібридні градирні з замкненим контуром.

Існує величезне розмаїття випадків застосування систем охолодження, технологій та практик їх експлуатації, а також різних термодинамічних характеристик окремих процесів.

[22] ГХФВ, як і ХФВ, – це речовини, що руйнують озоновий шар. Обидва ці види холодоагентів вийшли з ужитку, і замість них можна використовувати аміак, CO_2, фторовмісні гази, тощо.

Проте у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) зроблено висновок, що:

«Спочатку застосовується підхід до визначення первинних НДТМ для технологічного процесу, який потрібно охолоджувати. Охолодження промислових процесів може вважатися керуванням теплом і є складовою загального керування енергією в межах установки. Профілактичний підхід повинен починатися з промислового процесу, який потребує розсіяння тепла, і його метою є в першу чергу зменшення потреби у скиді тепла. По суті, скид тепла є марною втратою енергії, а отже, не є НДТМ. Оцінюючи потреби в охолодженні, у якості першого кроку завжди слід оцінювати можливість повторного використання тепла в межах технологічного процесу.

Далі обов'язковим другим кроком – зокрема, для нових установок – є проєктування та спорудження системи охолодження. Таким чином, після того, як було визначено потенціал та кількість відхідного тепла, що генерується технологічним процесом, і обсяг відхідного тепла більше не можна знизити, можна здійснити початковий вибір системи охолодження з огляду на вимоги технологічного процесу». У Таблиці 3.18, взятій з Довідкового документа з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS), наведено деякі приклади характеристик технологічних процесів та відповідних підходів до визначення первинних НДТМ.

Характеристики технологічного процесу	**Критерії**	**Підхід до визначення первинних НДТМ**	**Зауваження**	**Посилання у документі BREF ICS**
Високий потенціал тепла, яке потрібно розсіювати (>60 °C)	Зменшити споживання води та хімічних речовин і покращити загальну енергоефективність	(Попереднє) охолодження сухим повітрям	Обмежувальними чинниками є енергоефективність та розмір системи охолодження	Розділ 1.1/1.3
Середній потенціал тепла, яке потрібно розсіювати (25 – 60°C)	Покращити загальну енергоефективність	Не очевидно	Залежить від конкретного об'єкта	Розділ 1.1/1.3
Низький потенціал тепла, яке потрібно розсіювати (<25 °C)	Покращити загальну енергоефективність	Охолодження водою	Вибір об'єкта	Розділ 1.1/1.3
Низький та середній потенціал та потужність тепла	Оптимальна загальна енергоефективність із заощадженням води та зменшенням видимого шлейфа	Мокра та гібридна система охолодження	Сухе охолодження підходить гірше з огляду на потрібний простір і втрату загальної енергоефективності	Розділ 1.4
Потрібно охолоджувати небезпечні речовини з великим ступенем ризику для довкілля	Зниження ризику витоків	Система охолодження з проміжним холодоносієм	Прийняти необхідність збільшення рівня складності підходу	Розділ 1.4 та Додаток VI

Таблиця 3.18. Приклади вимог технологічного процесу та НДТМ у документі BREF ICS

Окрім характеристик технологічного процесу, певні обмеження може накладати сам об'єкт (це особливо стосується нових установок), як викладено у Таблиці 3.19.

Характеристики об'єкта	Критерії	Підхід до визначення первинних НДТМ	Зауваження	Посилання у документі BREF ICS
Клімат	Необхідна проєктна температура	Оцінити різницю між температурами за мокрим та сухим термометром	Якщо температура за сухим термометром висока, охолодження сухим повітрям загалом матиме нижчу енергоефективність	Розділ 1.4.3
Простір	Обмежена площа поверхні на об'єкті	(Попередньо зібрані) дахові конструкції	Обмеження на розмір та вагу системи охолодження	Розділ 1.4.2
Доступність поверхневих вод	Обмежена доступність	Рециркуляційні системи	Доцільними є мокрі, сухі або гібридні системи	Розділ 2.3 та 3.3
Чутливість водойми, у яку скидається тепло, до теплових навантажень	Потужність повинна відповідати вимогам до теплового навантаження	• оптимізувати ступінь повторного використання • використовувати рециркуляційні системи • вибір об'єкта (для нових систем охолодження)		Розділ 1.1
Обмежена доступність підземних вод	Мінімізація використання підземних вод	Якщо немає належного альтернативного джерела води, використовувати повітряне охолодження	Прийняти необхідність програшу в енергії	Розділ 3.3
Прибережна зона	Велика потужність >10 $МВт_т$	Прямоточні системи	Не допускати перемішування факела скидних теплих вод біля точки забору – наприклад, шляхом забору глибинної води під зоною перемішування з застосуванням температурного розшарування	Розділи 1.2.1 та 3.2, Додаток XI.3
Вимоги конкретного об'єкта	Якщо об'єкт зобов'язаний обмежити утворення шлейфа і зменшити висоту градирні	Застосовувати гібридну[23] систему охолодження	Прийняти необхідність програшу в енергії	Частина 2

Таблиця 3.19. Приклади характеристик об'єктів та НДТМ у документі BREF ICS

Оптимізація системи охолодження з метою зниження її впливу на навколишнє середовище – це складне завдання, а не точне математичне порівняння. Іншими словами, поєднання технологій, вибраних із таблиць НДТМ, не гарантує, що отримана система буде являти собою НДТМ. **Остаточне рішення щодо НДТМ буде залежати від конкретного об'єкта.** Проте вважається, що, керуючись досвідом галузі, можна зробити висновки щодо НДТМ – і, якщо це можливо, виразити їх кількісно.

Довідкова інформація
[237, Фернандес-Рамос, 2007]

[23] Гібридні системи охолодження – це спеціальні механічні конструкції градирень, які дають змогу працювати у мокрому та сухому режимі для зменшення утворення видимого шлейфа. Маючи змогу експлуатувати системи (зокрема, невеликі чарункові агрегати) у якості сухих систем протягом періодів, коли температура навколишнього повітря низька, можна скоротити річне споживання води і зменшити утворення видимого шлейфа.

3.4 Когенерація

[65, Нуутіла (Nuutila), 2005], [97, Крейт, 1997].

Директива 2004/8/ЕС про сприяння когенерації дає таке визначення когенерації: *«одночасне виробництво теплової енергії та електричної і/або механічної енергії в одному технологічному процесі»*. Ця технологія також відома як «когенерація» (тобто комбіноване виробництво тепла та електроенергії). Когенерація викликає велику зацікавленість, і на рівні Європейської спільноти цьому посприяло прийняття Директиви 2003/96/ЕС про оподаткування енергоресурсів, яка створює сприятливі умови для когенерації (комбінованого виробництва тепла та електроенергії). Зелена книга ЄС про енергоефективність звертає особливу увагу на втрати у виробництві та передаванні електроенергії та на регенерацію тепла і місцеву когенерацію як способи подолання цієї проблеми.

У цьому розділі розглядаються різні варіанти застосування когенерації: зокрема, окреслена їх придатність у різних випадках. На сьогодні можливі такі варіанти застосування когенерації, які будуть економічно ефективними навіть у малих масштабах.

3.4.1 Різні типи когенерації

Опис

Когенераційні установки – це установки, які одночасно виробляють тепло та електроенергію.У Таблиці 3.20 перелічені різні технології когенерації з їх стандартним співвідношенням електричної та теплової енергії.

Технологія когенерації	**Стандартне співвідношення електричної та теплової енергії**
Парогазові установки (газові турбіни, об'єднані з котлами-утилізаторами відхідного тепла та однією зі згаданих нижче парових турбін)	0,95
Паротурбінні установки (з протитиском)	0,45
Пароконденсаційні турбіни з відбором пари (з протитиском, конденсаційні турбіни з нерегульованим відбором пари та конденсаційні турбіни з відбором пари)	0,45
Газові турбіни з котлами-утилізаторами	0,55
Двигуни внутрішнього згорання (двигуни, що працюють за циклом Отто, або дизельні (поршневі) двигуни з утилізацією тепла)	0,75
Мікротурбіни	
Двигуни Стірлінга	
Паливні елементи (з утилізацією тепла)	
Парові двигуни	
Органічні цикли Ренкіна	
Інші типи	

Таблиця 3.20. Перелік технологій когенерації і співвідношення електричної та теплової енергії
[146, Європейська комісія, 2004]

Кількість виробленої електроенергії порівнюється з кількістю виробленого тепла і зазвичай виражається у вигляді співвідношення електричної та теплової енергії. Це співвідношення менше 1, якщо кількість виробленої електроенергії менша, ніж кількість виробленого тепла. Співвідношення електричної та теплової енергії слід визначати за фактичними даними.

Для вибору типу та розміру установки з комбінованого виробництва тепла та електроенергії можна використовувати криву річного навантаження залежно від часу.

Енергетичні установки, що працюють на відходах (W-t-E)

Для енергетичних установок, що працюють на відходах, еквівалентні коефіцієнти та значення наведені як у Довідковому документі з НДТМ для спалювання відходів (WI), так і в Рамковій директиві про відходи (WFD)[24]. Ці дані можна використовувати з такою метою:

- для розрахунку коефіцієнтів ефективності регенерації (утилізації) енергії та/або ККД установки;
- якщо потрібно узагальнити різні властивості енергії – наприклад, для бенчмаркінгу.

Це дає змогу порівнювати та узагальнювати різні види енергії у вигляді вихідного енергетичного балансу, наприклад, тепла, пари та електроенергії. Таким чином, за допомогою цих коефіцієнтів перетворення можна порівнювати енергію, вироблену на самій енергетичній установці, яка працює на відходах, та енергію, вироблену за її межами. При цьому припускається, що середній загальноєвропейський ККД перетворення (також див. Додаток 7.10.3) становить 38 % для виробництва електроенергії на зовнішніх електростанціях та 91 % для її виробництва на зовнішніх теплових установках. У випадку використання енергії – наприклад, енергії, що міститься в паливі, або у вигляді пари – можливий коефіцієнт утилізації становить 100 %. При цьому можна враховувати порівняння різних одиниць вимірювання енергії – тобто МВт·год., $МВт_е$·год., $МВт_т$·год.

Електростанція з протитиском

Найпростішою когенераційною електростанцією є так звана «електростанція з протитиском», на якій комбіноване виробництво електроенергії та пари здійснюється у паровій турбіні (див. Рисунок 3.12). Електрична потужність паротурбінних установок, які працюють у процесі з протитиском, зазвичай складає кілька десятків мегават. Співвідношення електричної та теплової енергії зазвичай становить близько 0,3 – 0,5. Електрична потужність газотурбінних установок зазвичай трохи менша, ніж у паротурбінних установок, проте їх співвідношення електричної та теплової енергії часто близьке до 0,5.

Потужність протитиску на промислових установках залежить від споживання тепла у процесі та від властивостей пари високого тиску, середнього тиску і протитиску. Основним визначальним чинником у виробництві пари протитиску є співвідношення електричної та теплової енергії.

На теплоелектроцентралях пара конденсується у теплообмінниках, встановлених під паровою турбіною, і циркулює до споживачів у якості гарячої води. На промислових установках пара, що надходить від електростанції з протитиском, знову подається на завод, де віддає свою теплоту. На теплоелектроцентралі величина протитиску менша, ніж на промислових установках з протитиском. Саме тому співвідношення електричної та теплової енергії на промислових електростанціях з протитиском менше, ніж на теплоелектроцентралях.

[24] Рамкова директиви про відходи

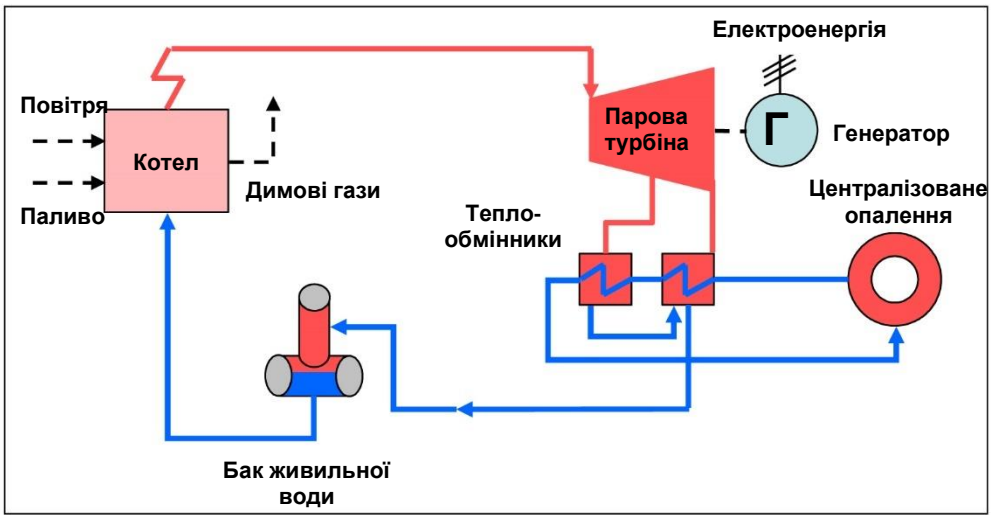


Рисунок 3.12. Електростанція з протитиском
[65, Нуутіла, 2005]

Конденсаційна електростанція з відбором пари

Конденсаційна електростанція виробляє лише електроенергію, у той час як на конденсаційній електростанції з відбором пари частина пари відбирається від турбіни для виробництва тепла (див. Рисунок 3.13). Про постачання пари розповідається у розділі 3.2.

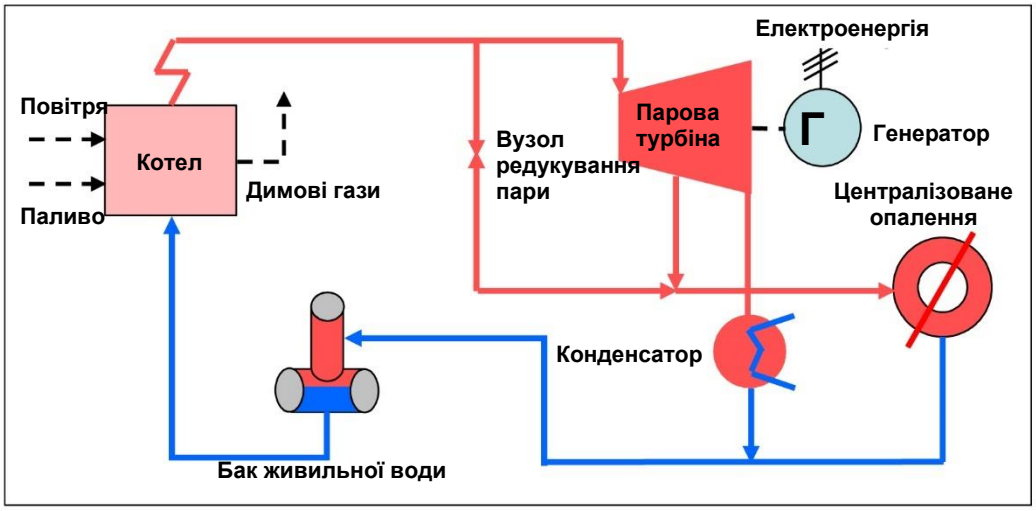


Рисунок 3.13. Конденсаційна електростанція з відбором пари
[65, Нуутіла, 2005]

Газотурбінна електростанція з котлом-утилізатором

На газотурбінній електростанції з котлом-утилізатором тепло виробляється за рахунок гарячих димових газів турбіни (див. Рисунок 3.14). У якості палива в більшості випадків використовується природний газ, мазут або їх поєднання. Газові турбіни також можуть працювати на газифікованому твердому або рідкому паливі.

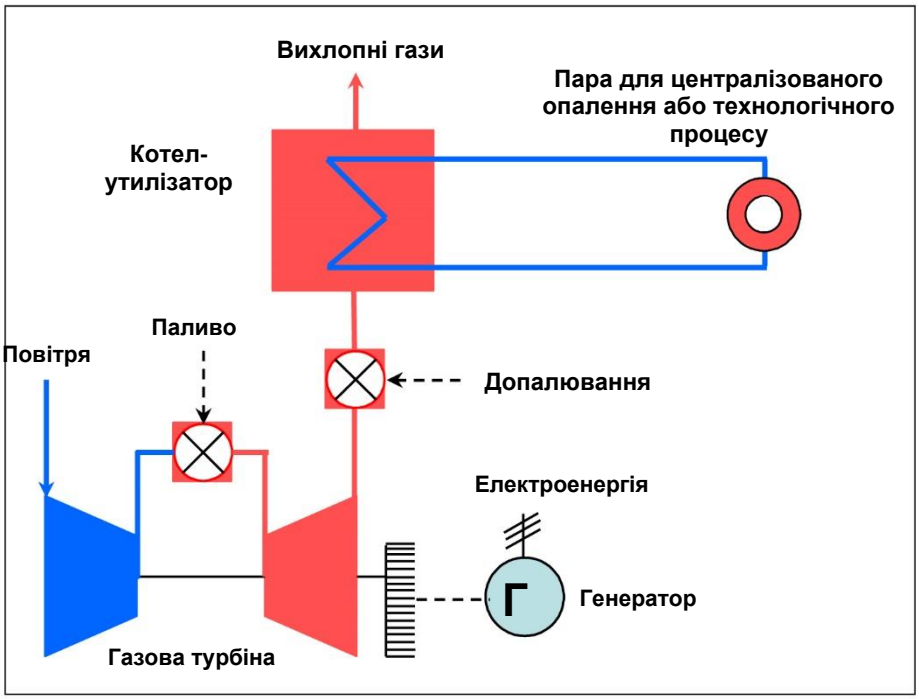


Рисунок 3.14. Газотурбінна електростанція з котлом-утилізатором [65, Нуутіла, 2005]

Електростанція комбінованого циклу

Електростанція комбінованого циклу складається з однієї або кількох газових турбін, сполучених з однією або кількома паровими турбінами (див. Рисунок 3.15). Електростанції комбінованого циклу часто використовуються для комбінованого виробництва тепла та електроенергії. Тепло відпрацьованих газів, що виходять із газової турбіни, регенерується для використання у процесі роботи парової турбіни. Регенероване тепло в багатьох випадках потім не використовується для нагрівання, а натомість перетворюється в додаткову електроенергію. Перевагами цієї системи є велике співвідношення електричної та теплової енергії та високий ККД. З електростанціями комбінованого циклу та когенерацією також пов'язана новітня розробка у технологіях спалювання – газифікація твердого палива. Технологія газифікації зменшує викиди оксидів сірки та азоти до значного нижчого рівня, ніж традиційні технології спалювання, за допомогою операцій очищення газів, які виконуються після процесу газифікації і перед комбінованим циклом газової турбіни.

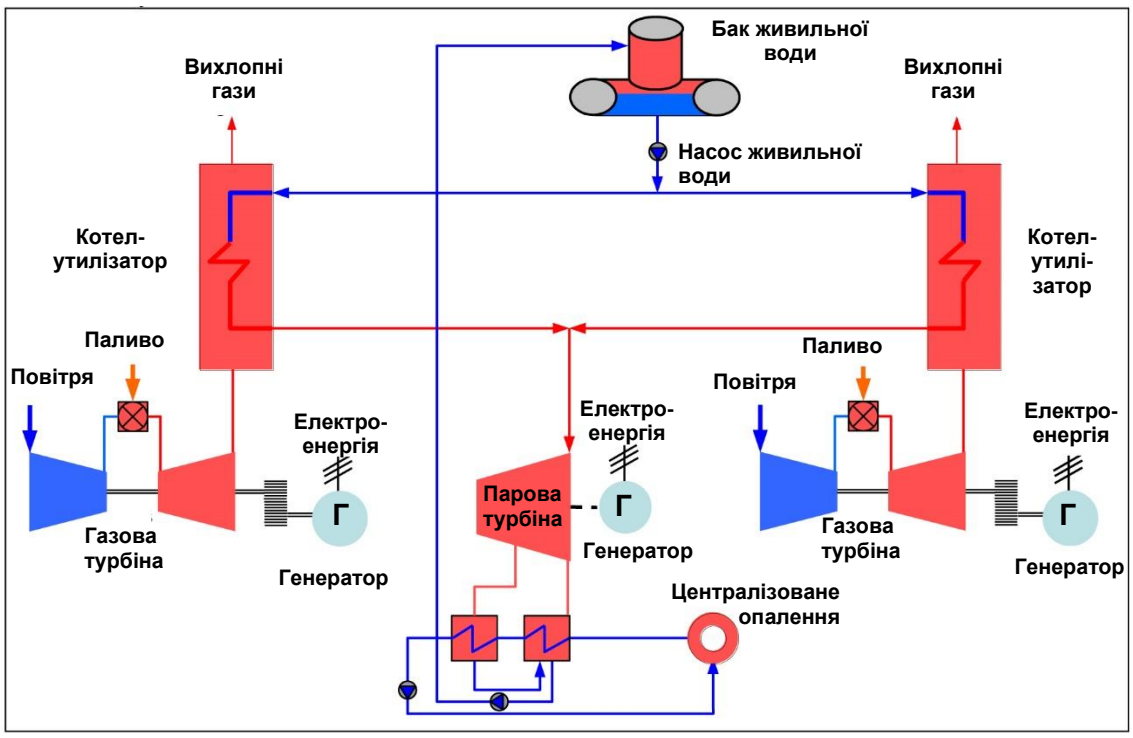


Рисунок 3.15. Електростанція комбінованого циклу [65, Нуутіла, 2005]

Двигуни внутрішнього згорання (поршневі двигуни)

У двигуні внутрішнього згорання, або поршневому двигуні, тепло можна регенерувати зі змащувальної оливи та охолоджувальної води двигуна, а також із вихлопних газів, як показано на Рисунку 3.16.

Двигуни внутрішнього згорання перетворюють хімічно зв'язану енергію, яка міститься в паливі, у теплову енергію шляхом спалювання палива. У циліндрі димові гази зазнають теплового розширення, змушуючи поршень рухатися. Механічна енергія руху поршня передається маховику через колінчастий вал і далі перетворюється в електроенергію за допомогою генератора змінного струму, під'єднаного до маховика. Таким чином, двигуни внутрішнього згорання напряму перетворюють високотемпературного теплового розширення у механічну енергію, а потім в електроенергію, і завдяки цьому мають найвищий термічний ККД (відношення виробленої електроенергії на одиницю спожитого палива) серед одноциклових первинних двигунів – а отже, і найнижчі питомі викиди CO_2.

Низькообертові (<300 об./хв.) двотактні двигуни доступні у типорозмірах до 80 МВт$_e$. Середньообертові (300 <n <1500 об./хв.) чотиритактні двигуни доступні у типорозмірах до 20 МВт$_e$. Середньообертові двигуни зазвичай вибирають у випадках, коли потрібно забезпечити безперервне виробництво електроенергії. Високообертові (>1500 об./хв.), чотиритактні двигуни доступні у типорозмірах до 3 МВт$_e$, використовуються переважно для покриття пікових навантажень.

Найбільш поширені типи двигунів можна, в свою чергу, поділити на дизельні двигуни, двигуни з іскровим / мікропілотним запалюванням та двопаливні двигуни. Двигуни працюють на великому розмаїтті альтернативних видів палива – від природного, попутного, звалищного, рудникового газу (газу з вугільних пластів), біогазу і навіть піролітичного газу та рідкого біопалива, дизельної оливи, сирої нафти, важкого мазуту і паливних емульсій до решток з нафтопереробних заводів.

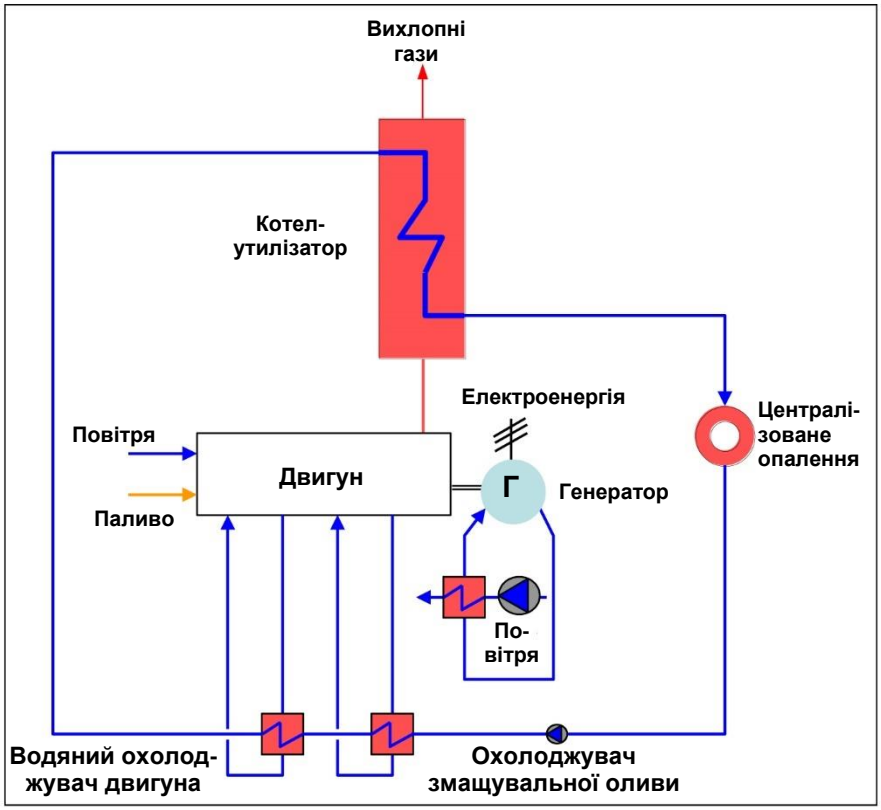


Рисунок 3.16. Двигун внутрішнього згорання або поршневий двигун [65, Нуутіла, 2005]

Установки на базі стаціонарних двигунів (тобто не пересувних генераторів) зазвичай складаються з кількох генераторних агрегатів, які приводяться в дію двигунами і працюють паралельно. Наявність кількох двигунів у поєднанні зі здатністю двигунів зберігати високий ККД під час роботи з неповним навантаженням забезпечує експлуатаційну гнучкість та чудовий коефіцієнт готовності і водночас дає змогу оптимально підлаштовуватися під різні потреби у навантаженні. Час пуску з холодного стану короткий у порівнянні з паротурбінними установками, котли яких працюють на вугіллі, мазуті або газі, або парогазовими установками. Працюючий двигун здатний швидко реагувати на зміни в мережі, тому його можна використовувати для швидкої стабілізації енергомережі.

Для цієї технології підходять замкнені радіаторні системи охолодження, з якими установки на базі стаціонарних двигунів споживають дуже мало води.

Завдяки своїй компактній конструкції установки на базі двигунів підходять для розподіленого комбінованого виробництва тепла та електроенергії (тобто використання у якості ТЕЦ) поруч зі споживачами електроенергії та тепла у міських та промислових зонах. Завдяки цьому зменшуються супутні втрати енергії у трансформаторах та лініях електропередачі і скорочуються трубопроводи для переносу тепла. Типові втрати на передачу електроенергії у випадку централізованого виробництва електроенергії складають у середньому від 5 до 8 % виробленої електроенергії, а відповідні втрати теплової енергії у міських мережах централізованого теплопостачання можуть бути меншими, ніж 10 %. Слід пам’ятати, що найбільші втрати на передачу електроенергії зазвичай спостерігаються у низьковольтних мережах та у з’єднаннях на об’єктах-споживачах. З іншого боку, виробництво електроенергії на великих установках зазвичай більш ефективне.

Оскільки для двигунів внутрішнього згорання характерний високий ККД одного циклу у поєднанні з високими температурами вихлопних газів та охолоджувальної води, вони ідеально підходять для комбінованого виробництва тепла та електроенергії. Як правило, близько 30 % енергії, що виділяється у процесі згорання палива, міститься у вихлопних газах, і ще 20 % – у потоках охолоджувальної води. Енергію вихлопних газів можна регенерувати, під'єднавши за двигуном котел, який буде виробляти пару, гарячу воду чи гарячу оливу. Гарячі вихлопні гази також можна використати, наприклад, у процесах сушіння – безпосередньо або опосередковано, через теплообмінники. Потоки охолоджувальної води можна розділити на низькотемпературний та високотемпературний контури, і потенційний ступінь регенерації буде залежати від найнижчої температури, яку може використати споживач тепла. Весь енергетичний потенціал охолоджувальної води можна використати в мережах централізованого опалення з низькими температурами зворотного потоку. У цьому випадку джерела тепла, відібраного при охолодженні двигуна, у поєднанні з котлом-утилізатором тепла вихлопних газів та економайзером забезпечать високу ефективність використання палива (електроенергія + регенерація тепла): до 85 % у випадку рідкого палива та до 90 % у випадку газоподібного палива.

Теплову енергію можна подавати кінцевим користувачам у вигляді пари (зазвичай перегрітої, з тиском до 20 бар), гарячої води або гарячої оливи – залежно від потреб кінцевого користувача. Тепло також можна використовувати у процесі абсорбційного чилера для виробництва охолоджувальної води.

Також можна використовувати абсорбційні теплові насоси для перетворення енергії з низькотемпературного охолоджувального контура двигуна в енергію з вищою температурою, яку можна буде використати у мережах централізованого опалення з високою температурою зворотного потоку. Див. розділ 3.4.3.

Для стабілізації короткочасного дисбалансу між потребами в електроенергії та обігріванні / охолодженні можна використовувати акумулятори гарячої та охолодженої води.

Паливний ККД двигунів внутрішнього згорання, або поршневих двигунів, зазвичай знаходиться в межах 40 – 48 % у випадку виробництва електроенергії, а у циклах комбінованого виробництва тепла та електроенергії, коли тепло можна ефективно використати, паливні ККД можуть досягати 85 – 90 %. Гнучкість тригенерації можна покращити шляхом зберігання запасу гарячої та охолодженої води, а також шляхом встановлення компресорних чилерів і допоміжних котлів з прямим нагріванням, які дадуть змогу керувати доповненням потужності до існуючої потреби.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Від комбінованого виробництва тепла та електроенергії можна отримати ряд суттєвих економічних та екологічних вигод. Установки комбінованого циклу максимально повно використовують енергію палива, виробляючи як електроенергію, так і тепло з мінімальними втратами енергії. Паливний ККД таких установок досягає 80 – 90 %, у той час як для традиційних пароконденсаційних установок ККД залишаються на рівні 35 – 45 %, і навіть для установок комбінованого циклу не перевищують 58 %.

Високий ККД, характерний для процесів комбінованого виробництва тепла та електроенергії, суттєво заощаджує енергію і скорочує викиди. На Рисунку 3.17 показані типові значення установки з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії, яка працює на вугіллі, у порівнянні з процесом в окремому котлі, який працює лише на нагрівання, та на електростанції, яка працює на вугіллі; втім, аналогічні результати можна отримати й з іншими видами палива. Цифри на Рисунку 3.17 виражені у безрозмірних одиницях енергії. У цьому прикладі установки з окремим виробництвом та установки з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії виробляють однакову корисну вихідну потужність. Проте при окремому виробництві загалом втрачається 98 одиниць енергії, а при комбінованому виробництві тепла та електроенергії – лише 33. Паливний ККД при окремому виробництві становить 55 %, а у випадку комбінованого виробництва

тепла та електроенергії паливний ККД досягає 78 %. Таким чином, при комбінованому виробництві тепла та електроенергії потрібно підвести приблизно на 30 % менше палива, щоб виробити ту ж саму кількість корисної енергії. Відповідно, комбіноване виробництво тепла та електроенергії здатне знизити викиди в атмосферу на еквівалентну величину. Проте це буде залежати від місцевої структури енергоресурсів для електроенергії та/або тепла (виробництва пари).

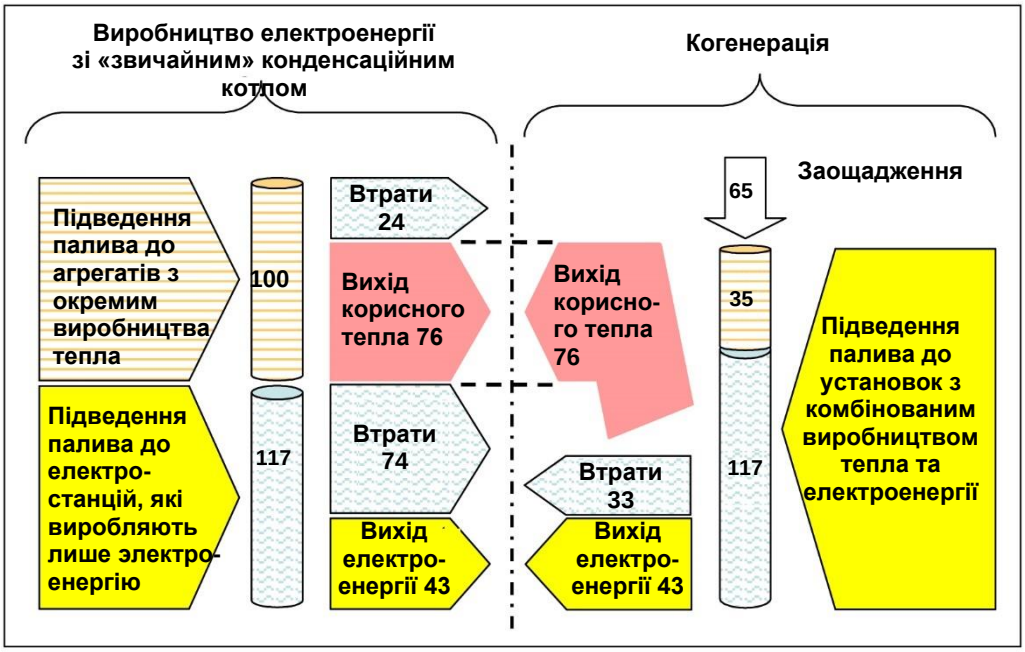


Рисунок 3.17. Порівняння ефективності конденсаційної електростанції та установки з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії [65, Нуутіла, 2005]

Як і для виробництва електроенергії, для когенерації можна використовувати широкий спектр видів палива – наприклад, відходи, паливо з відновлюваних джерел, як-от біомаса, та викопне палива, як-от вугілля, мазут і газ.

Міжсередовищні наслідки

Якщо установка була оптимізована з точки зору регенерації тепла, виробництво електроенергії на ній може зменшитися (наприклад, на енергетичних установках, що працюють на відходах, – див. Довідковий документ з НДТМ для спалювання відходів (WI)). Наприклад, можна показати (з використанням еквівалентних коефіцієнтів, наведених у Довідковому документі з НДТМ для спалювання відходів (WI) та в Рамковій директиві про відходи (WFD)), що енергетична установка, яка працює на відходах, з часткою виробництва електроенергії, скажімо, 18 % (еквівалентний коефіцієнт за WFD – 0,468) рівнозначна енергетичній установці, яка працює на відходах, з часткою централізованого теплопостачання 42,5 % (еквівалентний коефіцієнт за WFD – 0,468) або установці з часткою комерційного використання пари 42,5 % (еквівалентний коефіцієнт за WFD – 0,468).

Експлуатаційні параметри

Див. описи різних технологій когенерації вище.

Застосовність
Вибір принципу комбінованого виробництва тепла та електроенергії базується на ряді чинників, і для жодних двох об'єктів ситуація не буде однаковою, навіть якщо однакова їх потреба в енергії. Початковий вибір установки для комбінованого виробництва тепла та електроенергії часто диктується такими чинниками:

- вирішальним чинником є наявність достатньої потреби в теплі – з точки зору кількості, температури, тощо, – яку можна було б задовольнити за рахунок тепла від установки для комбінованого виробництва тепла та електроенергії;
- потреба об'єкта в електроенергії за базового навантаження – тобто рівень, нижче якого потреба в електроенергії рідко падає;
- потреба в теплі та електроенергії існує одночасно;
- сприятливе відношення ціни палива до ціни електроенергії;
- велика річна тривалість експлуатації (бажано понад 4 000 – 5 000 годин під повним навантаженням).

Загалом агрегати для комбінованого виробництва тепла та електроенергії можна застосовувати на установках, у яких є суттєва потреба в теплі з температурами в діапазоні, характерному для пари середнього або низького тиску. Оцінка потенціалу для когенерації на об'єкті повинна гарантувати, що в майбутньому не очікується суттєвих знижень потреби в теплі, інакше схема когенерації буде розрахована на надто велику потребу в теплі, і когенераційна установка буде працювати неефективно.

Станом на 2007 рік рентабельними можуть виявитися порівняно малопотужні установки для комбінованого виробництва тепла та електроенергії (див. приклад лікарні Atrium, Додаток 7.7, Приклад 2). У наступному пункті пояснюється, які типи комбінованого виробництва тепла та електроенергії зазвичай підходять для різних випадків. Проте цифри, які характеризують обмеження, наведені лише для прикладу і можуть залежати від місцевих умов. У міру того, як потреба на об'єкті коливається, надлишок електроенергії зазвичай можна продавати в національну мережу. Моделювання засобів інженерного забезпечення (див. розділ 2.15.2) допоможе оптимізувати системи виробництва енергоресурсів та регенерації тепла, а також керувати продажем та купівлею надлишкової енергії.

Вибір типу установки для комбінованого виробництва тепла та електроенергії
Парові турбіни можуть підійти для тих об'єктів, де:

- базове електричне навантаження перевищує 3 – 5 МВт$_е$;
- потреба у технологічній парі низька, і співвідношення потреб в електричній та тепловій енергії перевищує 1:4;
- доступне дешеве паливо нижчої категорії вищого сорту;
- є достатньо місця під розташування обладнання;
- доступне високопотенційне відхідне тепло від технологічного процесу (наприклад, з печей чи спалювальних установок);
- існуюча котлова установка потребує заміни;
- потрібно мінімізувати співвідношення електричної та теплової енергії. На установках з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії рівень протитиску необхідно мінімізувати, а рівень високого тиску необхідно максимізувати, щоб забезпечити максимальне співвідношення електричної та теплової енергії, особливо якщо використовується паливо з відновлюваних джерел.

Газові турбіни можуть підійти, якщо:

- співвідношення електричної та теплової енергії планується мінімізувати;
- потреба в електроенергії постійна і перевищує 3 МВт$_е$ (на момент укладання цього документа невеликі газові турбіни щойно почали з'являтися на ринку);
- доступний природний газ (хоча це не обмежувальний чинник);

- існує велика потреба у парі середнього / високого тиску або гарячій воді, особливо з температурами понад 500 °C;
- є потреба в гарячих газах з температурою 450 °C або вище – щоб охолодити вихлопні гази, їх можна розбавити навколишнім повітрям або пропустити крізь повітряний теплообмінник. (Також слід розглянути можливість використання газової турбіни у комбінованому циклі з паровою турбіною).

Двигуни внутрішнього згорання, або поршневі двигуни, можуть підійти для об'єктів, де:

- споживання електроенергії або технологічні процеси циклічні або не постійні;
- потрібна пара низького тиску або гаряча вода з середньою чи низькою температурою;
- присутнє високе співвідношення електричної та теплової енергії;
- природний газ доступний – краще використовувати двигуни внутрішнього згорання, які працюють на газі;
- природний газ недоступний – можуть підійти дизельні двигуни, які працюють на мазуті або на зрідженому нафтовому газі;
- електричне навантаження менше 1 $МВт_е$ – іскрове запалювання (доступні агрегати від 0,003 до 10 $МВт_е$);
- електричне навантаження перевищує 1 $МВт_е$ – запалювання від стиснення (доступні агрегати від 3 до 20 $МВт_е$).

Економіка

- Економічна ситуація залежить від співвідношення між цінами на паливо та електроенергію, ціни на тепло, коефіцієнта завантаження та ККД.
- Економічна ситуація суттєво залежить від довготермінового постачання тепла та електроенергії.
- Суттєво впливають політична підтримка та ринкові механізми, як-от вигідний режим оподаткування енергоресурсів та лібералізація ринків енергоресурсів.

Рушій для впровадження

Політична підтримка та ринкові механізми (див. пункт «Економіка» вище).

Приклади:

- ТЕЦ у місті Еенекоскі, Фінляндія;
- ТЕЦ у місті Раухалахті (Rauhalahti), Фінляндія;
- використовується на заводах із виробництва кальцинованої соди, див. Довідковий документ з НДТМ для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S);
- Bindewald Kupfermuhle, Німеччина:
  - борошномельний завод: 100000 т пшениці та жита/рік;
  - солодовий завод: 35000 т солоду/рік;
- Dava KVV, енергетична установка, що працює на відходах, з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії, місто Умео, Швеція;
- Sysav, енергетична установка, що працює на відходах, з комбінованим виробництвом тепла та електроенергії, місто Мальме, Швеція.

Довідкова інформація

[65, Нуутіла, 2005], [97, Крейт, 1997] [127, ТРГ, 128, EIPPCB, 140, Європейська комісія, 2005, 146, Європейська комісія, 2004]

3.4.2 Тригенерація

Опис

Під тригенерацією зазвичай мають на увазі одночасне перетворення палива у три корисні енергетичні продукти: електроенергію, гарячу воду або пару та охолоджену воду. Тригенераційна система – це, по суті, когенераційна система (розділ 3.4) з абсорбційним чилером, який використовує частину тепла для виробництва охолодженої води (див. Рисунок 3.18).

На Рисунку 3.18 порівнюються два принципи виробництва охолодженої води: за допомогою компресорних чилерів, що працюють на електроенергії, та шляхом тригенерації з використанням регенерованого тепла в абсорбційному чилері з бромідом літію. Як показано на рисунку, теплота регенерується як з вихлопних газів, так і з високотемпературного контура охолодження двигуна. Гнучкість тригенерації можна покращити шляхом встановлення компресорних чилерів і допоміжних котлів з прямим нагріванням, які дадуть змогу керувати доповненням потужності до існуючої потреби.

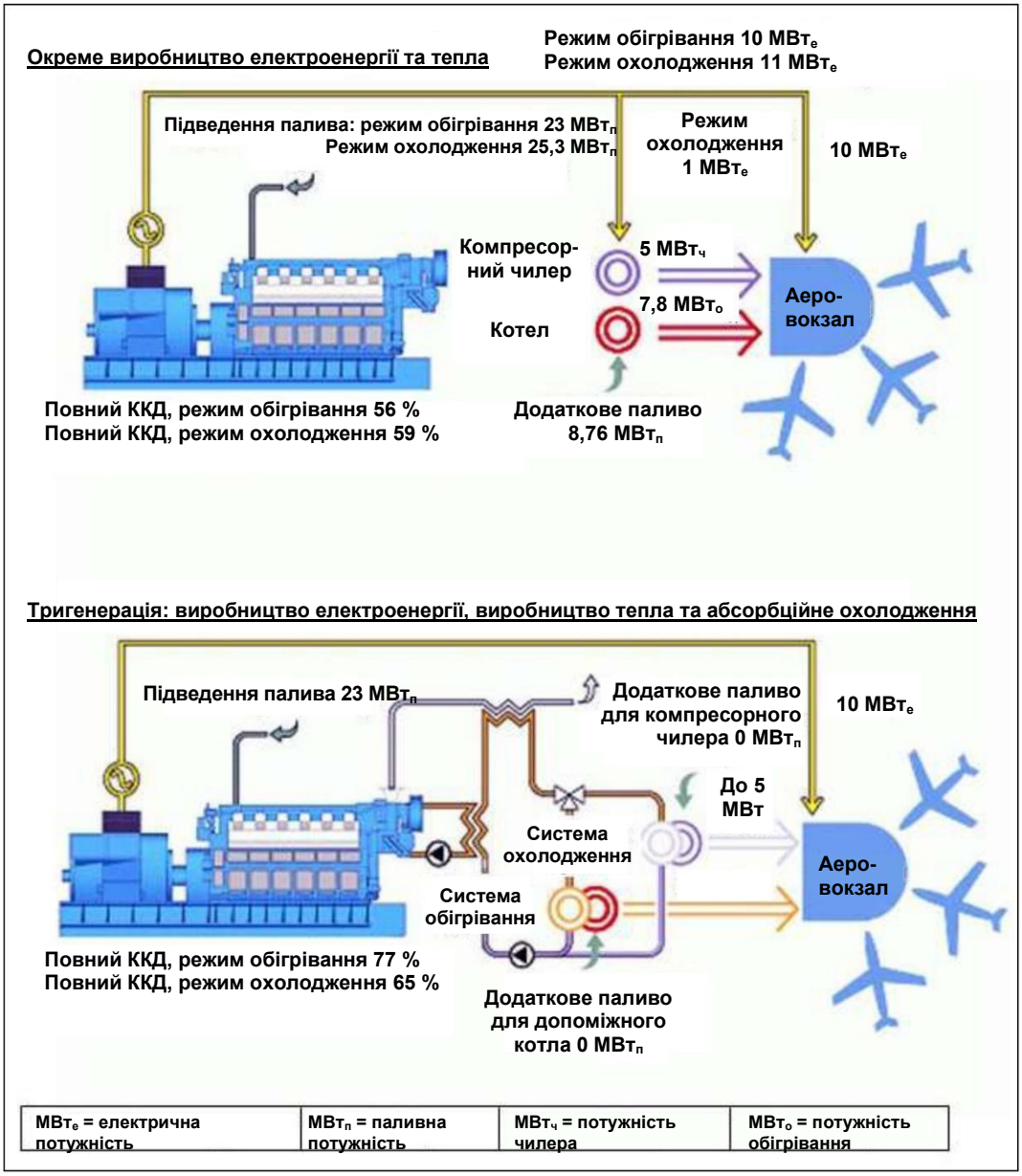


Рисунок 3.18. Тригенерація у порівнянні з окремим виробництвом енергії для великого аеропорту
[64, Лінде (Linde), 2005]

Одноступеневі абсорбційні чилери з бромідом літію здатні використовувати у якості джерела енергії гарячу воду з температурою всього 90 °C, у той час як двоступеневим абсорбційним чилерам з бромідом літію потрібна температура близько 170 °C: це означає, що вони, як правило, працюють на парі. Одноступеневий абсорбційний чилер з бромідом літію, який виробляє воду з температурою 6 – 8 °C, має коефіцієнт продуктивності (COP) близько 0,7, а двоступеневий чилер має COP близько 1.2. Це означає, що вони здатні працювати з холодопродуктивністю, яка у 0,7 або 1,2 перевищує потужність джерела тепла.

На установці для комбінованого виробництва тепла та електроенергії з приводом від двигуна можна використовувати як одноступеневі, так і двоступеневі системи. Проте, оскільки залишкове тепло двигуна поділяється на вихлопні гази та тепло від охолодження двигуна, одноступеневий чилер підійде краще, оскільки у цьому випадку можна буде регенерувати і передати в абсорбційний чилер більше тепла.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Основною перевагою тригенерації є досягнення такої ж вихідної потужності з підведенням значно меншої кількості палива, ніж у випадку окремого виробництва електроенергії та тепла.

Можливість гнучкого використання регенерованого тепла для обігрівання протягом одного сезону (взимку) та для охолодження протягом іншого сезону (влітку) – це ефективний спосіб максимізації часу роботи за високого повного ККД установки, який буде вигідним як для власника, так і для навколишнього середовища (див. Рисунок 3.19).

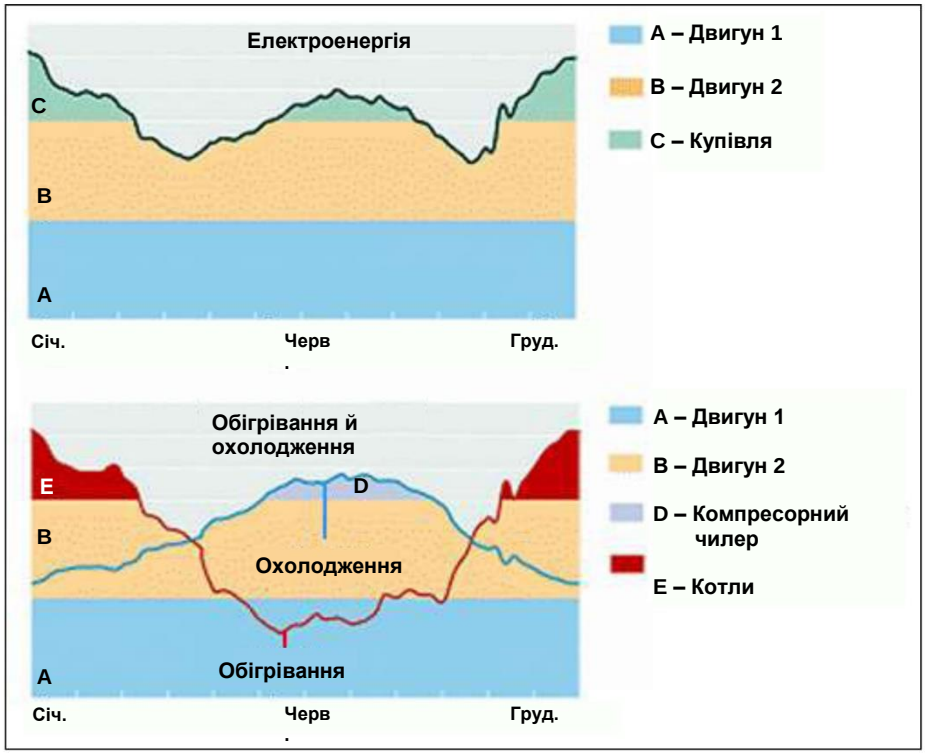


Рисунок 3.19. Тригенерація дає змогу оптимізувати роботу установки протягом року [64, Лінде, 2005]

Підхід до експлуатації та стратегія керування мають велике значення, і їх потрібно належним чином оцінити. Оптимальним рішенням рідко коли буває те, у якому вся потужність, потрібна для виробництва охолодженої води, виробляється абсорбційними чилерами. Наприклад, у випадку кондиціювання повітря більшу частину річних потреб в охолодженні можна на 70 % задовольнити за рахунок пікової холодопродуктивності, а решту 30 % доповнити компресійними чилерами.

Це дає змогу мінімізувати загальні інвестиційні витрати на чилери.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Тригенерація та розподілене виробництво електроенергії
Оскільки розподіляти гарячу чи охолоджену воду більш складно і витратно, ніж електроенергію, тригенерація автоматично призводить до розподіленого виробництва електроенергії, оскільки тригенераційна установка повинна бути розташована поблизу споживачів гарячої або охолодженої води.

Щоб максимізувати паливний ККД установки, принцип її влаштування слід визначити з урахуванням сукупної потреби у гарячій та холодній воді. У електростанції, розташованої поблизу споживачів гарячої та охолодженої води, також будуть нижчими втрати на розподіл електроенергії. Тригенерація – це когенерація, піднята на один щабель вверх завдяки додаванню чилера. Звісно, ці додаткові інвестиції не принесуть користі, якщо за час роботи установки можна ефективно використати все регенероване тепло.

Проте додаткові інвестиції починають окупатися, якщо є періоди, коли не все тепло можна використати, або коли потреби в теплі немає, але є вжиток для охолодженої води чи повітря. Наприклад, тригенерація часто використовується для кондиціювання повітря у будівлях – для обігрівання взимку та охолодження влітку або для обігрівання однієї зони та охолодження іншої зони.

На багатьох промислових об’єктах та в громадських будівлях також є належна сукупність потреб в обігріванні та охолодженні: чотирма прикладами таких об’єктів є пивоварні заводи, торгові центри, аеропорти та лікарні.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
- Аеропорт Мадрид-Барахас, Іспанія (див. Додаток 7.10.4);
- лікарня Atrium, Нідерланди (див. Додаток 7.7).

Довідкова інформація
[64, Лінде, 2005, 93, Толонен (Tolonen), 2005]

3.4.3 Централізоване охолодження

Опис
Централізоване охолодження – це ще один аспект когенерації, коли під час когенерації централізовано виробляється тепло, на якому працюють абсорбційні чилери, а електроенергія продається в мережу. Когенерація також може забезпечувати централізоване охолодження (ЦО) шляхом централізованого виробництва та розподілу холодильної енергії. Холодильна енергія постачається споживачам у вигляді охолодженої води, що транспортується по окремій розподільній мережі.

Централізоване охолодження може забезпечуватися у різні способи залежно від сезону та температури надворі. Взимку – як мінімум у північних країнах – охолодження може здійснюватися за допомогою холодної води, взятої з моря (див. Рисунок 3.20). Влітку

централізоване охолодження може забезпечуватися за допомогою абсорбційної технології (див. Рисунок 3.21 та розділ 3.3.2). Централізоване охолодження використовується для кондиціювання повітря, для охолодження офісних та комерційних будівель, а також житлових будинків.

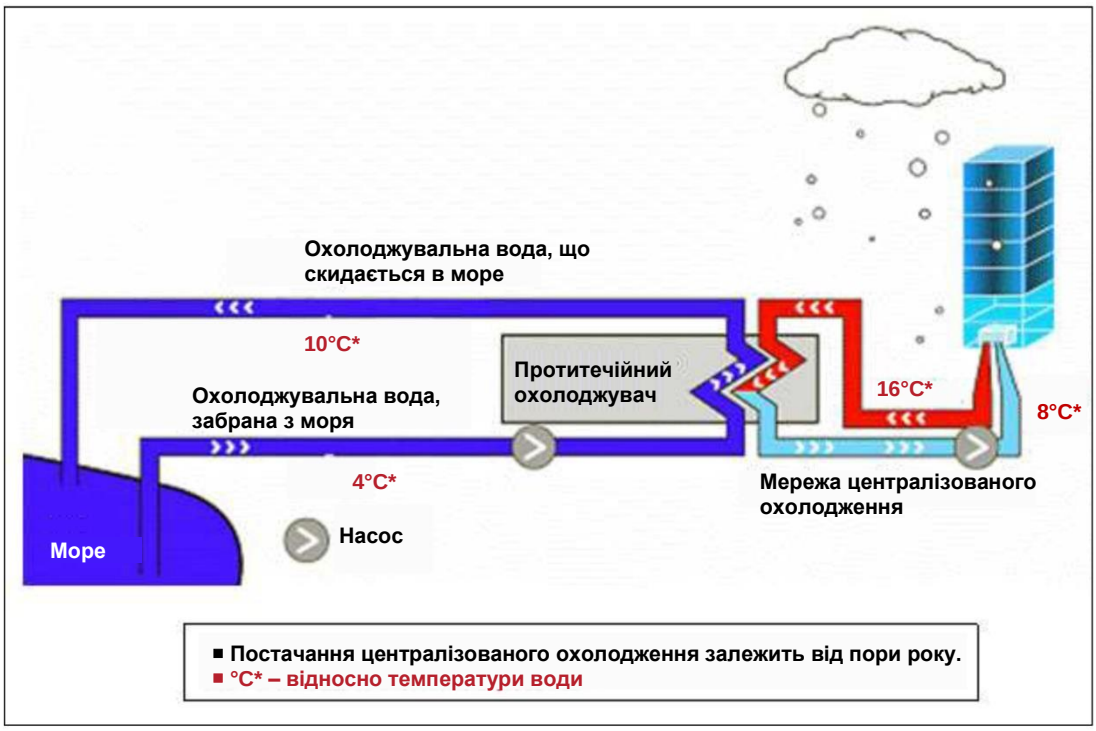


Рисунок 3.20. Централізоване охолодження взимку за допомогою технології природного охолодження (фрікулінгу)
[93, Толонен, 2005]

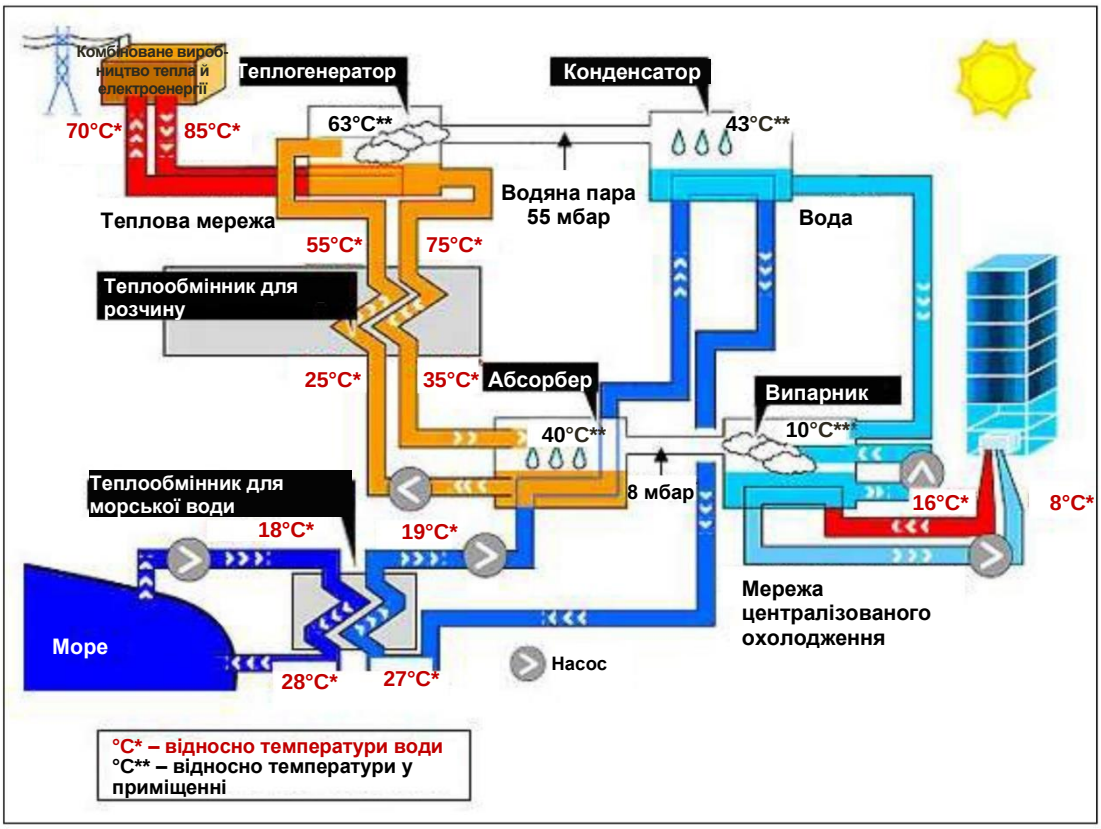


Рисунок 3.21. Централізоване охолодження влітку за допомогою абсорбційної технології
[93, Толонен, 2005]

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Завдяки підвищенню екологічної ефективності централізованого теплопостачання (ЦТ) та централізованого охолодження (ЦО) у місті Хельсінкі, Фінляндія, було досягнуто багатьох цілей сталого розвитку, які перелічено нижче:

- значно знизилися викиди парникових газів та інших речовин – наприклад, оксидів азоту, діоксиду сірки та твердих часток;
- скорочення споживання електроенергії також призвело до зниження піків у споживанні електроенергії, зумовлених роботою охолоджувальних агрегатів в окремих будівлях у теплі дні;
- з жовтня по травень уся енергія, що витрачається на централізоване охолодження, береться з відновлювального джерела – холодної морської води. Це 30 % від річного споживання енергії на потреби централізованого охолодження;
- у теплу пору року абсорбційні чилери використовують надлишкове тепло установок з комбінованого виробництва тепла та електроенергії, яке б інакше скидалося в море. Хоча споживання палива на установці з комбінованого виробництва тепла та електроенергії може збільшитися, загальне споживання палива у порівнянні з ситуацією, коли використовуються окремі системи охолодження, зменшиться;
- усунено шкідливий шум та вібрацію охолоджувального обладнання, яке забезпечує централізоване охолодження;
- місце, зарезервоване у будівлях для охолоджувального обладнання, звільнилося для інших цілей;
- також зникла проблема росту мікроорганізмів у воді веж-конденсаторів;
- на відміну від холодоагентів, що використовуються у процесі компресорного охолодження в окремих будівлях, у процесах централізованого охолодження не випаровуються шкідливі речовини (наприклад, сполуки ХФВ та ГХФВ);
- централізоване охолодження робить міський пейзаж більш естетичним, оскільки технологічні агрегати та трубопроводи не видно. Зникла потреба у великих конденсаторах на дахах будівель та численних охолоджувачах на вікнах;
- життєвий цикл систем централізованого теплопостачання та централізованого охолодження значно довший, ніж у систем, які використовуються в окремих будівлях: наприклад, термін служби охолоджувальної установки вдвічі перевищує термін служби окремих агрегатів. Технічний термін служби магістральних трубопроводів систем централізованого теплопостачання та централізованого охолодження перевищує сто років.

Міжсередовищні наслідки
Наслідки встановлення розподільної системи.

Експлуатаційні параметри
Технологія надійна.

Застосовність
Цю технологію можна широко застосовувати, проте це залежить від місцевих обставин.

Економіка
Потрібні великі інвестиції в розподільні системи.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
- Helsinki Energy, місто Хельсінкі, Фінляндія;
- у Амстердамі, Нідерланди, здійснюється централізоване охолодження водою з глибоких озер, розташованих поблизу об’єктів.

Довідкова інформація
[93, Толонен, 2005], [120, Helsinki Energy, 2004]

3.5 Електропостачання

Вступ
Електроенергія загального користування постачається через високовольтні мережі, у яких напруга та струм змінюються за синусоїдними циклами з частотою 50 Гц (у Європі) у трьох фазах, зміщених одна відносно одної 120°. Висока напруга потрібна для того, щоб мінімізувати втрати струму під час передавання електроенергії. Залежно від того, яке обладнання використовується, напруга понижується при надходженні електроенергії на об'єкт або поблизу конкретного обладнання – як правило, до 440 В для промислового вжитку та 240 В для офісів, тощо.

На постачання та споживання енергії впливають різні чинники – зокрема, опір у системах постачання та вплив деяких видів обладнання і способів використання на мережу живлення. Вкрай бажано, щоб напруги в енергосистемах були стабільними, а форма кривої – не спотвореною.

У 2002 році споживання електроенергії у країнах ЄС-25 склало 2641 ТВт·год., і ще 195 ТВт·год. припадали на втрати в мережі. Найбільшим споживачем серед усіх секторів була промисловість зі споживанням 1168 ТВт·год. (44 %), за якою йшли домашні господарства з 717 ТВт·год. (27 %) та сфера послуг з 620 Вт·год. (23 %). На ці три сектори разом припадало близько 94 % всієї спожитої електроенергії.

3.5.1 Компенсація коефіцієнта потужності

Опис
У багатьох електричних пристроях є індуктивні навантаження, як-от:

- однофазні та трифазні двигуни змінного струму (див. розділ 3.6);
- частотно-регульовані приводи (див. розділ 3.6.3);
- трансформатори (див. розділ 3.5.4);
- високоінтенсивні розрядні лампи (див. розділ 3.10).

Усі вони потребують як активної, так і реактивної електричної потужності. Активна електрична потужність перетворюється у корисну механічну потужність, а реактивна електрична потужність використовується для підтримання магнітних полів пристрою. Ця реактивна електрична потужність періодично передається між генератором та навантаженням в обох напрямках (з тією ж частотою, що й у струму живлення). Конденсаторні батареї та підземні кабелі також поглинають реактивну потужність.

Векторна сума дійсної (активної) електричної потужності та реактивної електричної потужності – це повна потужність. Електрогенеруючі установки та оператори мереж повинні надавати цю повну потужність і передавати її. Це означає, що розміри генераторів, трансформаторів, ліній електропередач, розподільних пристроїв, тощо повинні бути розраховані на більшу номінальну потужність, ніж якби навантаження споживало лише активну електричну потужність.

Електрогенеруючі установки (як на самому об'єкті, так і за його межами) змушені витрачати додаткові кошти на обладнання і зазнають додаткових втрат потужності. Тому зовнішні постачальники стягують додаткову плату за реактивну потужність, якщо вона перевищує певне порогове значення. Зазвичай вказується певний цільовий коефіцієнт

потужності у вигляді cos ϕ від 1,0 до 0,9 (зсув фази), починаючи з якого потреба у реактивній потужності суттєво знижується. Просте пояснення наведене у Додатку 7.17.

$$\text{(Електричний) коефіцієнт потужності} = \frac{\text{Активна потужність}}{\text{Повна потужність}}$$

Наприклад, використовуючи трикутник потужностей, зображений на Рисунку 3.22 нижче, якщо:

- дійсна потужність = 100 кВт, і повна потужність = 142 кВА,
- то коефіцієнт потужності = 100/142 = 0,70.

Це означає, що лише 70 % струму, який надається енергетичною компанією, використовується для виконання корисної роботи (детальніші пояснення наведені у Додатку 7.17).

Рисунок 3.22. Реактивна та повна потужність

Якщо коефіцієнт потужності скомпенсований – наприклад, шляхом встановлення конденсатора на навантаженні, – це повністю або частково усуває забір реактивної потужності в енергопостачальної компанії. Компенсація коефіцієнта потужності найбільш ефективна, коли вона виконується поблизу навантаження з використанням сучасних технологій.

Коефіцієнт потужності з часом змінюється, тому його потрібно періодично перевіряти (залежно від конкретного об’єкта і споживання електроенергії, інтервал між цими перевірками може становити від 3 до 10 років), оскільки тип обладнання і перелічені (вище) види постачання змінюються з часом. Крім того, оскільки конденсатори, які використовуються для компенсації коефіцієнта потужності, з часом зношуються, їх також потрібно періодично випробовувати (найлегший спосіб це зробити – перевірити, чи не нагріваються конденсатори під час роботи).

Потрібно вживати й інших заходів, зокрема:

- звести до мінімуму роботу двигунів, які працюють на холостому ходу або під малим навантаженням (див. розділ 3.6);
- слідкувати, щоб обладнання не працювало з перевищенням його номінальної напруги;
- у міру того, як стандартні двигуни перегорають, заміняти їх енергоефективними двигунами (див. розділ 3.6);
- навіть у випадку енергоефективних двигунів на коефіцієнт потужності суттєво впливають коливання у навантаженні. Двигун слід експлуатувати на потужності, близькій до номінальної, щоб реалізувати вигоди від його конструкції з великим коефіцієнтом потужності (див. розділ 3.6).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії з боку як постачальника, так і споживача.

У Таблиці 3.21 підсумовано ефект, якого вдалося досягти в промисловості ЄС у цілому завдяки застосуванню коефіцієнта потужності у 0,95 (зі зсувом фаз).

Коефіцієнт потужності у промисловості країн ЄС-25	Активна енергія, ТВт·год.	cos φ	Реактивна енергія, ТВАр·год.	Повна енергія, ТВА·год.
Розрахунковий коефіцієнт потужності	1168	0,70	1192	1669
Цільовий коефіцієнт потужності	1168	0,95	384	1229

Таблиця 3.21. Розрахункове споживання електроенергії в промисловості країн ЄС-25 у 2002 році
[131, ZVEI, 140, Європейська комісія, 2005]

Було підраховано, що, якби у промисловості на всій території ЄС було застосовано компенсацію коефіцієнта потужності, то вдалося б заощадити 31 ТВт·год. потужності, хоча частина цього потенціалу вже використана. Ця цифра розрахована з огляду на те, що в 2002 році загальне споживання електроенергії у промисловості та сфері послуг у країнах ЄС-25 склало 1788 ТВт·год., з яких 65 % припадало на промисловість[25].

Для окремої установки було підраховано, що, якби оператор з коефіцієнтом потужності у 0,73 компенсував його до 0,95, він би заощадив 0,6 % від свого споживання енергії (0,73 – це розрахункова цифра для промисловості та сфери послуг).

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
За відсутності компенсації електропостачання супроводжується втратами у розподільній системі установки. У міру того, як втрати потужності збільшуються, можуть виникати падіння напруги. Надмірні падіння напруги можуть призвести до перегрівання і передчасної відмови двигунів та інших індуктивних навантажень.

Застосовність
Усі об’єкти.

Економіка
Зовнішні постачальники можуть стягувати додаткову плату за надмірне споживання реактивної електричної потужності, якщо коефіцієнт потужності на установці менший, ніж 0,95 (див. Додаток 7.11).

Компенсація коефіцієнта потужності коштує дешево. Деяке нове обладнання (наприклад, високоефективні двигуни) компенсує коефіцієнт потужності.

Рушій для впровадження
- Заощадження електроенергії – як в межах установки, так і в зовнішній мережі електропостачання (якщо вона використовується).
- Збільшення потужності внутрішньої системи електропостачання.
- Підвищення надійності обладнання і скорочення періодів простоювання.

[25] 31 ТВт·год. відповідає більш ніж 8 мільйонам домашніх господарств, приблизно 2600 вітровим електрогенераторам, приблизно 10 газовим електростанціям та 2 – 3 атомним електростанціям. Це також більш ніж 12 Мт CO_2.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
Докладніша інформація наведена у Додатку 7.17.
[130, Міністерство енергетики США – Коефіцієнт потужності, 131, ZVEI]

3.5.2 Гармоніки

Опис
Деяке електричне обладнання з нелінійними навантаженнями призводить до появи гармонік у мережі електропостачання (тобто додавання спотворень до синусоїди). Прикладами нелінійних навантажень є випрямлячі, деякі види електричного освітлення, електродугові печі, зварювальні апарати, імпульсні джерела живлення, комп'ютери, тощо.

Для зменшення або усунення гармонік можуть застосовуватися фільтри. ЄС встановив граничні значення для гармонік у якості методу покращення коефіцієнта потужності, а крім того, існують стандарти, як-от EN 61000-3-2 та EN 61000-3-12, які вимагають, щоб в імпульсних джерелах живлення були встановлені фільтри для придушення гармонік.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Гармоніки можуть призвести до:

- помилкового спрацювання автоматичних вимикачів;
- виходу з ладу систем ДБЖ та генераторних систем;
- проблем з роботою лічильників;
- виходу з ладу комп'ютерів;
- проблем з перенапругою.

Гармоніки неможливо виявити за допомогою стандартних амперметрів – лише за допомогою вимірювальних пристроїв, які вимірюють «істинне середньоквадратичне значення».

Застосовність
Усі об'єкти повинні перевірити, чи немає на них обладнання, яке породжує гармоніки.

Економіка
Втрати через вихід обладнання з ладу.

Рушій для впровадження
- Підвищення надійності обладнання.
- Зменшення втрат, зумовлених простоюванням.
- За наявності гармонік зменшуються струми заземлення.
- Небезпечні відхилення від проєктних параметрів заземлення у випадку присутності гармонік.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація

[132, Вікіпедія – Гармоніки, 135, EUROELECTRICS, 136, Асоціація розвитку мідної промисловості (CDA)]

3.5.3 Оптимізація електропостачання

Опис
У кабелях виникають втрати на опір. Тому обладнання з великим споживанням потужності повинно бути розташоване якомога ближче до високовольтного джерела, від якого воно живиться, – наприклад, відповідний трансформатор повинен бути розташований якомога ближче.

Розмір кабелів обладнання повинен бути підібраний із запасом, щоб у них не виникло зайвого опору та втрат на нагрівання. Електропостачання можна оптимізувати шляхом використання високоефективного обладнання, як-от трансформатори.

Що стосується іншого високоефективного обладнання, то, наприклад, двигуни розглядаються у розділі 3.6, компресори – у розділі 3.7, а насоси – у розділі 3.8.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
- Усе велике обладнання, яке споживає електроенергію, потрібно запланувати так, щоб воно було розташоване поблизу трансформаторів живлення.
- Кабелі на об’єктах потрібно перевірити і за потреби підібрати їх розмір з запасом.

Застосовність
- Підвищення надійності обладнання.
- Зменшення втрат, зумовлених простоюванням.
- Врахування витрат протягом терміну експлуатації.

Економіка
Заощадження за рахунок скорочення простоювання та зменшення споживання електроенергії.

Рушій для впровадження
Витрати.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[135, EUROELECTRICS, 230, Асоціація розвитку мідної промисловості, 2007]

3.5.4 Енергоефективне керування трансформаторами

Опис
Трансформатори – це пристрої, які здатні перетворювати одну напругу електропостачання на іншу. Це необхідно через те, що електроенергія зазвичай розподіляється з вищою напругою, ніж та, що використовується машинами у промисловості, оскільки використання високих напруг у розподільній системі зменшує втрати енергії у розподільних лініях.

Трансформатори – це електростатичні машини, до складу яких входить осердя з кількох феромагнітних пластин, та первинна і вторинна обмотки, намотані навколо протилежних боків осердя. Коефіцієнт трансформації напруг виражається через відношення U_2/U_1 (див. Рисунок 3.23).

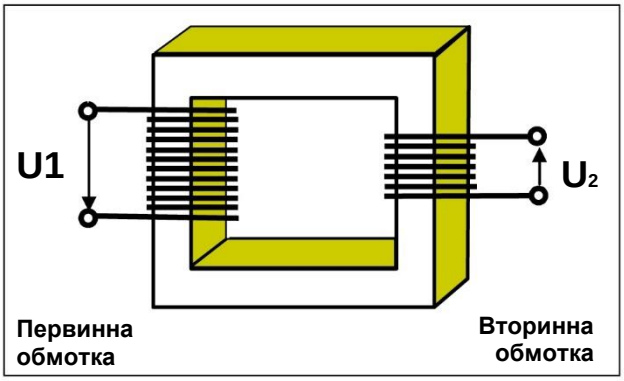


Рисунок 3.23. Схема трансформатора
[245, Ді Франко (Di Franco), 2008]

Якщо P_1 – це електрична потужність, що входить у трансформатор, P_2 – це потужність, що виходить із трансформатора, а $P_в$ – це втрати, то баланс потужності буде таким:

$$P_1 = P_2 + P_B \text{ Рівняння } \mathbf{3.10}$$

і ККД трансформатора можна записати так:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_B}{P_1} \text{ Рівняння } \mathbf{3.10}$$

Втрати бувають двох основних типів: втрати у залізних компонентах і втрати у мідних компонентах. Втрати у залізі зумовлені гістерезисом та вихровими струмами всередині феромагнітних пластин осердя; такі втрати пропорційні U^2 і становлять приблизно від 0,2 до 0,5 % номінальної потужності $P_{ном.}$ (= P_2). Втрати у міді зумовлені ефектом Джоуля у мідній обмотці; такі втрати пропорційні I^2 і за оцінками складають приблизно від 1 до 3 % номінальної потужності $P_{ном.}$ (За навантаження 100 %).

Оскільки трансформатор у середньому працює з коефіцієнтом завантаження *x*, меншим, ніж 100 %, ($P_{ефективна} = x\ P_{ном.}$), можна показати, що залежність між ККД трансформатора та коефіцієнтом завантаження описується кривою, зображеною на Рисунку 3.24 (для трансформатора потужністю 250 кВА). У цьому випадку максимальна точка на кривій ККД трансформатора відповідає значенню коефіцієнта завантаження приблизно 40 %.

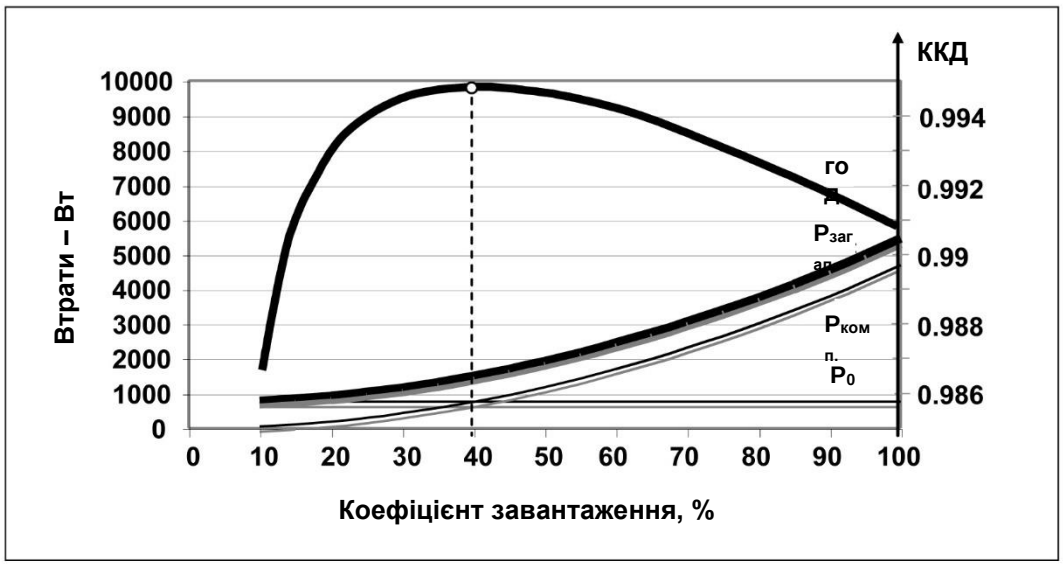


Рисунок 3.24. Зв'язок між втратами у залізі та міді, ККД та коефіцієнтом завантаження [245, Ді Франко, 2008]

Незалежно від потужності трансформатора, крива залежності між ККД та коефіцієнтом навантаження завжди буде мати максимум у точці, яка у середньому відповідає приблизно 45 % номінального навантаження.

Завдяки цій характерній поведінці можна оцінити можливість застосування на електричній (трансформаторній) підстанції таких варіантів оптимізації:

- якщо загальне електричне навантаження менше, ніж 40 – 50 % $P_{ном.}$, енергію можна заощадити, від'єднавши один або кілька трансформаторів, щоб збільшити навантаження на інші до оптимального коефіцієнта завантаження;
- у протилежній ситуації (загальне електричне навантаження перевищує 75 % $P_{ном.}$), слід розглядати лише можливість встановлення додаткової потужності;
- при технічному переобладнанні чи модернізації трансформаторної підстанції бажано встановлювати *трансформатори з низькими втратами*, для яких спостерігається зниження витрат на 20 – 60 %.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Зменшення споживання вторинних енергоресурсів.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
На трансформаторних підстанціях, як правило, є надлишок встановленого енергопостачального обладнання, тому середній коефіцієнт завантаження, як правило, низький. Історично склалося так, що керівники енергокомпаній підтримують цей надлишок, щоб забезпечити безперервне енергопостачання у випадку відмови одного чи кількох трансформаторів.

Застосовність
Ці критерії оптимізації можна застосовувати до всіх трансформаторних. Оцінка показує, що оптимізацію навантаження можна застосувати у 25 % випадків.

За оцінками, у промисловості щороку додається / замінюється 5 % встановленої трансформаторної потужності, і у цих випадках слід розглянути можливість встановлення нових трансформаторів / заміни на трансформатори з низькими втратами.

Економіка
У випадку встановлення трансформаторів з низькими втратами порівняно з трансформаторами «звичайної серії» або у випадку заміни низькоефективних трансформаторів, які наразі експлуатуються, період окупності зазвичай короткий – з урахуванням того, що трансформатори працюють протягом великої кількості годин/рік.

Рушій для впровадження
Рушієм для впровадження є заощадження енергії та коштів.

Приклади
У випадку переобладнання трансформаторної, яке передбачає встановлення чотирьох нових трансформаторів з електричною потужністю 200, 315, 500 та 1250 кВА, час окупності оцінюється в 1,1 року.

Довідкова інформація
[228, Петрекка (Petrecca), 1992, 229, Ді Франко]

3.6 Підсистеми з приводом від електродвигунів

Вступ
Енергоефективність систем з приводом від двигуна можна оцінити шляхом вивчення потреб (виробничого) процесу і того, як потрібно експлуатувати машину, що приводиться в дію. Це системний підхід, який забезпечує найбільший виграш в енергоефективності (див. розділи 1.3.5 та 1.5.1) і розглядається у відповідних розділах цієї частини. Заощадження, яких вдається досягти за допомогою системного підходу, будуть як мінімум дорівнювати тим, які досягаються шляхом врахування окремих компонентів, і можуть досягати 30 % або більше (див. розділ 1.5.1 та, наприклад, системи стисненого повітря у розділі 3.7).

Підсистема з приводом від електродвигуна перетворює електричну потужність у механічну потужність. У більшості випадків промислового застосування механічна робота передається машині, яка приводиться в дію, у вигляді механічного крутного моменту (через вал, який обертається). Електродвигуни – це первинні двигуни, які стоять за більшістю промислового обладнання, як-от насоси, вентилятори, компресори, мішалки, конвеєри, корообдиральні барабани, млини, пилки, екструдери, центрифуги, преси, стани гарячого прокату, тощо.

Електродвигуни – це одне з основних джерел споживання енергії в Європі. За оцінками, на двигуни припадає:

- близько 68 % електроенергії, що споживається у промисловості: у 1997 році це становило 707 ТВт·год.;
- 1/3 третинного споживання електроенергії.

Підсистема з приводом від електродвигуна
Це підсистема або агрегат із ряду послідовно з’єднаних компонентів, до складу якого входять:

- джерело живлення установки;
- пристрій керування – наприклад, привід змінного струму (див. *електродвигун* нижче);
- електродвигун – як правило, асинхронний двигун;
- механічна передатна муфта;
- машина, що приводиться в дію, – наприклад, відцентровий насос.

На Рисунку 3.25 зображені схеми традиційної та енергоефективної насосних систем.

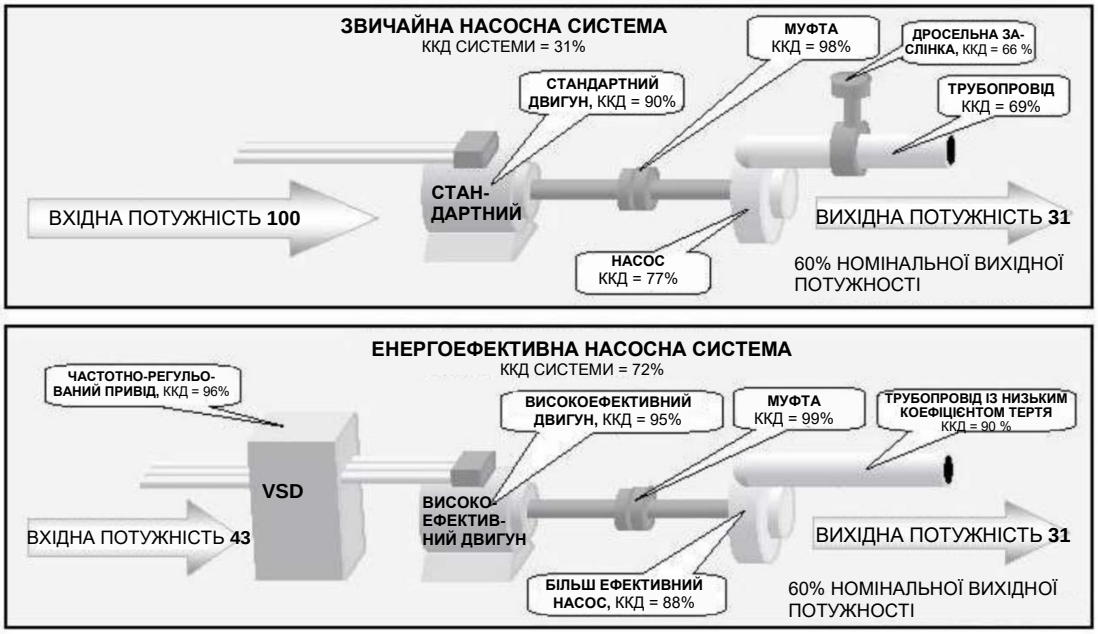


Рисунок 3.25. Схеми звичайних та енергоефективних насосних систем
[246, Вищий інститут охорони довкілля та наукових досліджень (ISPRA), 2008]

Машина, що приводиться в дію

Це машина – також відома як «машина навантаження», – яка виконує цінне завдання, пов'язане з кінцевою метою промислової установки. Завдання, які виконуються машинами, можна поділити на дві основні категорії, оскільки машина, що приводиться в дію, може:

- певним чином змінювати тиск (стиснення, накачування насосом), змінювати форму (дроблення, витягування дроту, розкочування металів, тощо). З-поміж цих функцій у цьому документі докладніше розглядається функція зміни тиску, яка використовується у великих системах:
  - насоси (20 %) – див. розділ 3.8;
  - вентилятори (18 %) – див. розділ 3.9;
  - повітряні компресори (17 %) – див. розділ 3.7;
  - охолоджувальні компресори (11 %) – див. розділ 3.4.2;

- або переміщати чи транспортувати матеріали / предмети (конвеєри, крани, підйомники, лебідки, тощо):
  - конвеєри (4 %) та інші застосування (30 %).

(де % означає частку енергії, що споживається двигунами у країнах ЄС-15 за типом системи)

На споживання електроенергії системами двигунів впливає багато чинників, як-от:

- ККД двигуна;
- правильно вибраний розмір;
- засоби керування двигуном: пуск / зупинка та регулювання швидкості;
- якість електричного живлення;
- система механічної передачі;
- практики технічного обслуговування;
- ефективність кінцевого використання пристрою.

Щоб реалізувати вигоди від наявного потенціалу для заощаджень, користувачі повинні намагатися оптимізувати всю систему, до складу якої входить підсистема двигуна, перш ніж розглядати секцію двигуна (див. розділи 1.4.2 та 1.5.1, а також розділи, присвячені окремим системам, у цій частині).

Механічна передача
Механічна передача механічно з'єднує машину, що приводиться в дію, з двигуном. Це може бути проста жорстка муфта, яка сполучає кінці валів машини та двигуна, редуктор, ланцюговий або пасовий привід чи гідравлічна муфта. Усі ці типи передачі – це джерело додаткових втрат потужності у привідній системі.

Електродвигун
Електродвигуни можна поділити на дві основні групи: двигуни постійного струму та двигуни змінного струму. У промисловості використовуються обидва типи, однак протягом останніх кількох десятиріч технології помітно схилялися в бік двигунів змінного струму.

Перевагами двигунів змінного струму є:

- міцність, проста конструкція, невимогливість до технічного обслуговування;
- високий ККД (особливо у двигунів високої потужність);
- порівняно низька ціна.

З огляду на ці переваги широко застосовуються асинхронні двигуни змінного струму. Проте вони працюють лише на одній швидкості обертання. Якщо навантаження нестабільне, швидкість потрібно змінити, і найбільш енергоефективно це можна зробити, встановивши перед двигуном привід.

Найпоширенішим типом промислових електродвигунів є однофазні електродвигуни. Вони мають один багатофазний набір обмоток, який бере активну участь у процесі перетворення енергії (тобто живлення подається лише на одну обмотку). Однофазні електричні машини працюють з одним із таких двигунів:

- асинхронні (індукційні) двигуни, які створюють пусковий крутний момент (хоча й неефективно) і можуть працювати як автономні машини. Технологія асинхронного двигуна добре підходить для двигунів потужністю до кількох мегават;
- синхронні двигуни, які, по суті, є одношвидкісними машинами. Вони не створюють корисних пускових крутних моментів, тому повинні бути оснащені допоміжним засобом для пуску та практичної експлуатації, як-от електронний регулятор. Синхронні двигуни часто розраховані на умови, в яких потрібна велика потужність – наприклад, компресори в нафтохімічній промисловості.

Двигун постійного струму – це синхронний двигун з постійними магнітами (PM), або безщітковий двигун, який підходить для випадків, коли потрібні менші швидкості обертання, ніж ті, які зазвичай досягаються з асинхронним двигуном. За такої більш тихохідної роботи (220 – 600 об./хв.) – наприклад, у так званих секціонованих приводах папероробних або картоноробних машин – двигуни з постійними магнітами часто дають змогу відмовитися від механічної передачі (редуктора), а це покращує повний ККД системи.

Рисунок 3.26. Двигун компресора з номінальною вихідною потужністю 24 МВт [95, Саволайнен (Savolainen), 2005]

Перевагою двигунів постійного струму традиційно є простота електричного регулювання швидкості. Крім того, у них великий пусковий крутний момент, а це в деяких випадках вигідно. Проте стрімкий розвиток силових електронних компонентів та алгоритмів керування зміцнив позиції технології змінного струму, тому технологія постійного струму більше не має принципових переваг за робочими характеристиками перед змінним струмом. Сучасні двигуни та приводи змінного струму багато в чому перевершують своїх конкурентів з постійним струмом. Іншими словами, на сьогодні навіть найскладніші вимоги, як-от регулювання швидкості та крутного моменту в накатах папероробних машин, можна задовольнити за допомогою двигунів та приводів змінного струму.

Пристрій керування

У найпростішому випадку це вимикач або контактор, який під'єднує та від'єднує двигун від мережі живлення. Ним можна керувати вручну або дистанційно за допомогою керівних сигналів напруги. У цих пристроях можуть бути передбачені функції захисту двигуна, і, зокрема, пускач двигуна – це вимикач з вбудованими запобіжними функціями.

Більш досконалим способом під'єднання двигуна до мережі є «пристрій плавного пуску» (також відомий як пусковий перемикач з зірки на трикутник). Цей пристрій дає змогу пом'якшити пуск двигуна змінного струму: він зменшує так звані «стрибки пускового струму» під час пуску і таким чином захищає механіку та плавкі запобіжники. Без функціональності плавного пуску двигун змінного струму після запуску різко розганяється до номінальної швидкості. Просте пристрій плавного пуску – це НЕ пристрій для енергозбереження, хоча з цього приводу є деякі помилкові уявлення та джерела, у яких таке стверджується.

Згадані вище пристрої можуть зробити внесок в енергоефективність лише одним способом: за їх допомогою двигун можна вимкнути, коли він не потрібен.

«Справжні» пристрої керування двигуном здатні регулювати вихідну потужність (швидкість і крутний момент) електродвигунів. Принцип роботи привода змінного струму полягає в тому, щоб перетворити частоту електроенергії, отриманої з енергосистеми, (у

Європі – 50 Гц) в іншу частоту, аби двигун змінив свою швидкість обертання. Пристрій керування двигунами змінного струму відомий під такими назвами:

- «частотний перетворювач»;
- «частотно-регульований привід» (VSD);
- «привід з регульованою частотою» (AFD);
- для позначення тих самих пристроїв часто використовуються комбінації цих абревіатур (ASD, VFD);
- реальні користувачі у промисловості використовують термін «інвертор двигуна» або просто «інвертор».

Системи з приводом від двигуна споживають близько 65 % енергії, що споживається промисловістю у Європейському Союзі. Згідно з дослідженнями, проведеними в рамках програми SAVE у країнах ЄС-15, потенціал для заощаджень енергії у тих галузях промисловості, в яких використовуються приводи змінного струму, в країнах ЄС-15 становить 43 ТВт·год./рік, а у випадку підвищення ККД самих електродвигунів – 15 ТВт·год./рік.

Існує принаймні два різні підходи до поняття енергоефективності в системах з приводом від двигуна. Один з них полягає в тому, щоб розглянути окремі компоненти та їх ККД і переконатися, що використовується лише високоефективне обладнання. Інший передбачає системний підхід, як описано у вступі до цього розділу, і у цьому випадку сукупні заощадження на системах можуть бути значно більшими.

3.6.1 Енергоефективні двигуни (ЕЕД)

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Енергоефективні двигуни (ЕЕД) та високоефективні двигуни (ВЕД) мають підвищений енергетичний ККД. Вартість їх початкового придбання може бути вищою на 20 – 30 % і більше для двигунів потужністю понад 20 кВт і на 50 – 100 % вищою для двигунів потужністю менше 15 кВт, залежно від категорії енергозбереження (а отже, кількості додатково використаної сталі та міді), тощо. Проте двигуни потужністю 1 – 15 кВт дають змогу заощадити енергію у розмірі 2 – 8 %.

Оскільки зменшення втрат означає, що температура у двигуні буде не так сильно зростати, збільшується термін служби ізоляції обмоток та підшипників двигуна. Тому, у багатьох випадках:

- підвищується надійність;
- скорочується час простоювання і витрати на технічне обслуговування;
- підвищується стійкість до теплових напружень;
- покращується здатність до роботи в умовах перевантаження;
- покращується стійкість до аномальних умов роботи – пониження напруги та перенапруги, асиметрії фаз, спотворень форми кривої напруги та струму (наприклад, гармонік), тощо;
- покращується коефіцієнт потужності;
- знижується рівень шуму.

Загальноєвропейська угода між Європейським комітетом виробників електричного обладнання та силової електроніки (CEMEP) та Європейською комісією гарантує, що на

більшості електродвигунів, виготовлених у Європі, буде чітко позначений їх рівень ККД. Схема класифікації європейських двигунів застосовна до двигунів потужністю <100 кВт і, по суті, встановлює три класи ККД, заохочуючи виробників двигунів випускати моделі з вищим ККД:

- EFF1 (двигуни з високим ККД);
- EFF2 (двигуни зі стандартним ККД);
- EFF3 (двигуни з низьким ККД).

Ці рівні ККД стосуються 2- та 4-полюсних трифазних асинхронних двигунів змінного струму з короткозамкненим ротором, розраховані на 400 В, 50 Гц, з класом режиму роботи S1 та вихідною потужністю від 1,1 до 90 кВт, на які припадає найбільший об'єм продажів на ринку.На Рисунку 3.27 показана залежність енергетичного ККД трьох типів двигунів від їх вихідної потужності.

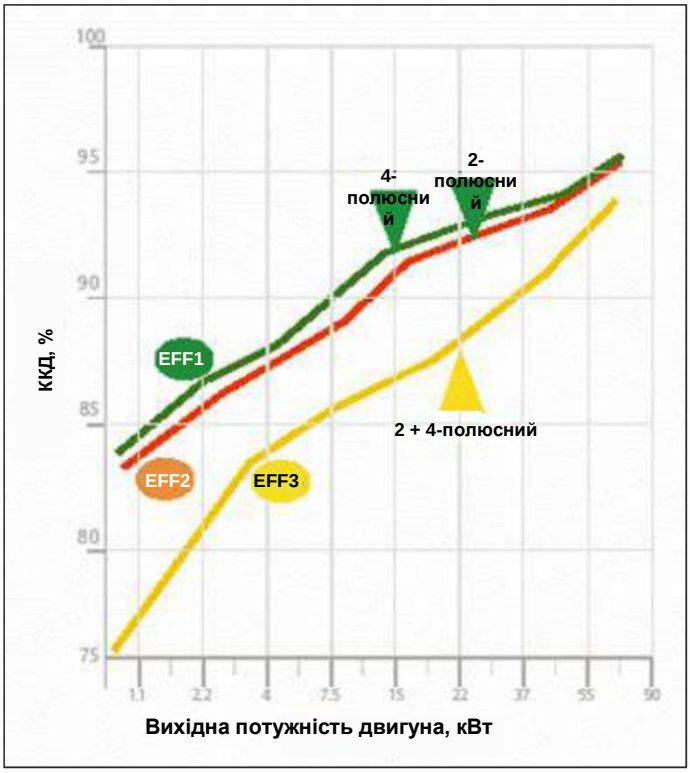


Рисунок 3.27. Енергетичний ККД трифазних асинхронних двигунів змінного струму

Директива про екологічно свідомий дизайн (EuP) з великою ймовірністю вилучить із вжитку двигуни класів EFF 3 та EFF 2 до 2011 року. На момент укладання цього документа Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) працює над впровадженням нової міжнародної схеми класифікації, у якій двигуни EFF 2 та EFF 3 будуть разом віднесені до нижчого класу, а двигуни EFF1 будуть новим вищим класом.

З вибором правильного двигуна може суттєво допомогти належне комп'ютерне програмне забезпечення, як-от програми Motor Master Plus[26] та EuroDEEM[27], що пропонуються у рамках проєкту EU-SAVE PROMOT.

[26] За підтримки Міністерства енергетики США

[27] За сприяння Європейської комісії (Загальна дирекція)

Належні рішення серед двигунів можна вибрати за допомогою бази даних EuroDEEM[28], у якій зібрані ККД більш ніж 3500 типів двигунів від 24 виробників.

3.6.2 Вибір належного розміру двигуна

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Розмір електродвигунів дуже часто вибирають завищеним порівняно з реальним навантаженням, яке вони повинні приводити в дію. Двигуни рідко працюють у точці повного навантаження. Польові випробування показали, що двигуни у Європейському Союзі в середньому працюють приблизно на 60 % від їх номінального навантаження.

Максимальний ККД досягається для тих двигунів, які працюють у діапазоні від 60 до 100 % повного навантаження. ККД асинхронного двигуна зазвичай має пік у районі 75 % повного навантаження і порівняно плавно опускається вниз до точки, що відповідає навантаженню 50 %. На рівні 40 % від повного навантаження двигун працює вже не в оптимальних умовах, і його ККД дуже швидко падає. Двигуни великих типорозмірів здатні працювати з досить високими ККД за нижчих навантажень – до 30 % номінального навантаження.

Правильний вибір розміру:

- покращує енергетичний ККД, даючи двигунам змогу працювати з піковим ККД;
- може зменшити втрати в лінії, зумовлені низькими коефіцієнтами потужності.

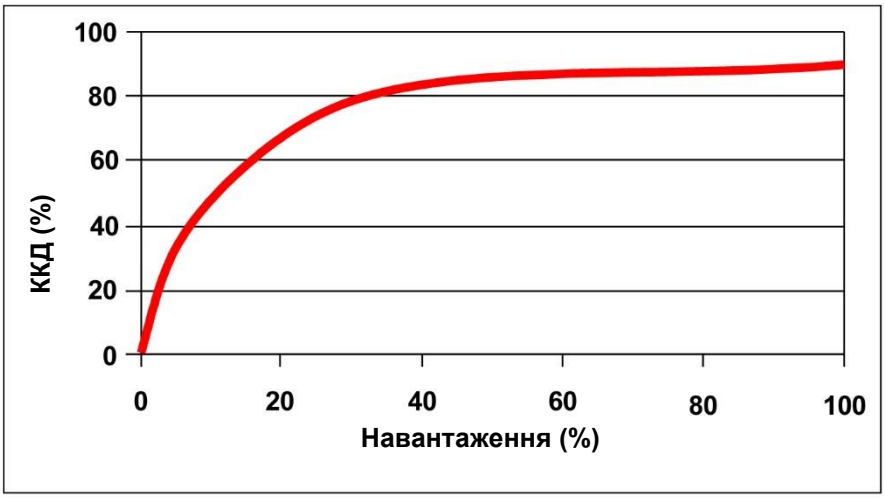


Рисунок 3.28. Залежність ККД від навантаження для електродвигуна

[28] Загальна дирекція з енергії та транспорту (TREN), опубліковано Європейською комісією

3.6.3 Частотно-регульовані приводи

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Регулюючи швидкість двигуна за допомогою частотно-регульованих приводів (VSD), можна суттєво заощадити енергію завдяки кращому керуванню технологічним процесом, меншому зношуванню механічному обладнання та зменшенню рівня акустичного шуму. За змінних навантажень частотно-регульовані приводи можуть зменшувати споживання енергії, особливо у відцентрових насосах, компресорах та вентиляторах, – як правило, у діапазоні від -4 до 50 %. Використання частотно-регульованих приводів може бути вигідним – з точки зору як споживання енергії, так і загальних робочих показників – у випадку обладнання для обробки матеріалів, як-от відцентрові машини, млини і металорізальні верстати, та обладнання для переміщення матеріалів, як-от мотальні пристрої, конвеєри та елеватори.

Використання частотно-регульованих приводів може принести й інші вигоди, зокрема:

- розширення корисного робочого діапазону обладнання, яке приводиться в дію двигуном;
- ізолювання двигунів від лінії живлення, що може зменшити напруження у двигуні і послабити прояви неефективності;
- точна синхронізація кількох двигунів;
- покращення швидкості та надійності реагування на зміну умов роботи.

Частотно-регульовані пристрої можна застосовувати не у всіх випадках – зокрема, вони не підходять для випадків, коли навантаження стале (наприклад, вентилятори для подавання повітря у киплячий шар, компресори повітря, що подається для окиснення, тощо), оскільки у частотно-регульованому приводі буде втрачатися 3 – 4 % підведеної енергії (на випрямлення та узгодження фаз струму).

3.6.4 Втрати на силову передачу

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Передатне обладнання – зокрема, вали, паси, ланцюги та зубчаті колеса – має бути належним чином встановлене і отримувати належне технічне обслуговування. Система передачі між двигуном та навантаженням є джерелом втрат. Ці втрати можуть суттєво варіюватися – від 0 до 45 %. Якщо це можливо, замість клинових пасів слід використовувати синхронні паси. Зубчаті клинові паси більш ефективні, ніж звичайні клинові паси. Косозубі зубчаті передачі набагато ефективніші, ніж черв'ячні передачі. Найкращим варіантом є безпосереднє зчеплення (якщо це технічно можливо), а клинових пасів слід уникати.

3.6.5 Ремонт двигуна

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Двигуни потужністю понад 5 кВт можуть відмовляти, і їх часто доводиться ремонтувати кілька разів за термін служби. Лабораторні випробування підтвердили, що неналежне виконання ремонту двигуна скорочує ККД двигуна, як правило, на 0,5 – 1 %, а іноді на величину до 4 % або навіть більше у старих двигунах.

Вирішуючи, ремонтувати двигун чи замінити, потрібно враховувати витрати/кВт·год. електроенергії, потужність двигуна, середні коефіцієнти навантаження та кількість годин роботи на рік. Необхідно звертати увагу на процес ремонту та компанію, яка виконує ремонт: вона повинна бути визнана початковим виробником (тобто бути так званим виконавцем енергоефективного ремонту двигунів – EEMR).

Як правило, заміна двигуна, що відмовив, шляхом придбання нового енергоефективного двигуна може бути хорошим варіантом для двигунів, які напрацювали велику кількість годин роботи. Наприклад, на об’єкті з 4000 годин роботи на рік та вартістю електроенергії 0,06 євро/кВт·год. заміна двигунів потужність від 20 до 130 кВт окупиться менш ніж за 3 роки.

3.6.6 Перемотування

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на електродвигуни, наведена у розділі 3.6.7).

Перемотування двигунів широко застосовується у промисловості. Це дешевше, ніж придбати новий двигун, і також може бути швидше. Проте у разі перемотування двигуна його ККД може назавжди знизитися на більш ніж 1 %. Необхідно звертати увагу на процес ремонту та компанію, яка виконує ремонт: вона повинна бути визнана початковим виробником (тобто бути так званим виконавцем енергоефективного ремонту двигунів – EEMR). Додаткові витрати на новий двигун можуть швидко компенсуватися його кращим енергетичним ККТ, тож перемотування виявитися економічно невигідним, якщо враховувати витрати за весь термін служби.

Вартість нового двигуна у порівнянні з вартістю його перемотування залежно від потужності показано на Рисунку 3.29.

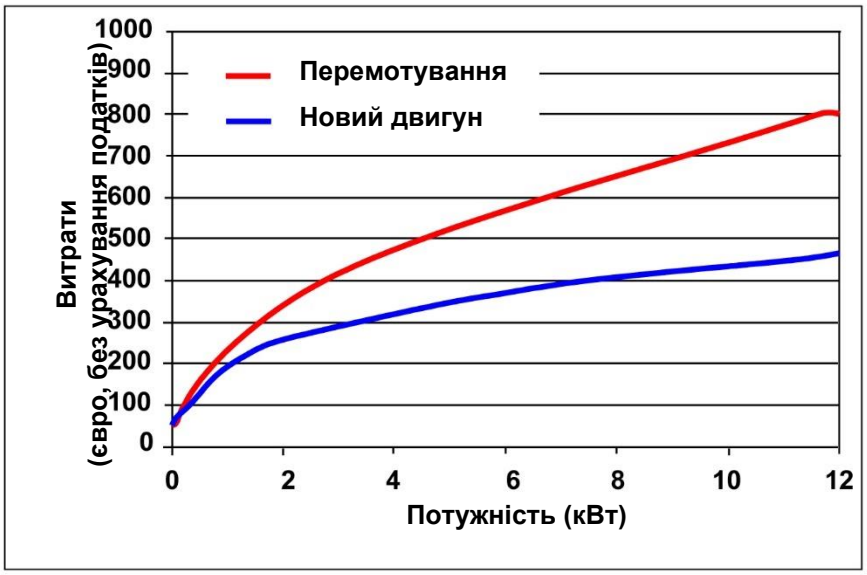


Рисунок 3.29. Вартість нового двигуна у порівнянні з перемотуванням

3.6.7 Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти, міжсередовищні наслідки, застосовність та інші міркування для технологій підвищення енергоефективності електричних двигунів

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У Таблиці 3.22 наведено потенційно суттєві заходи з заощадження енергії, які можуть підходити для підсистеми з приводом від двигуна. Хоча значення, наведені у таблиці, є типовими, застосовність заходів буде залежати від конкретних характеристик установки.

Захід із заощадження енергії у підсистемі з приводом від двигуна	**Типовий діапазон заощаджень (%)**
Встановлення або модернізація системи	
Енергоефективні двигуни (ЕЕД)	2 – 8
Правильний вибір розміру	1 – 3
Енергоефективний ремонт двигуна (EEMR)	0,5 – 2
Частотно-регульовані приводи (VSD)	-4 – 50
Системи передачі / редуктори з високим ККД	2 – 10
Контроль якості електроенергії	0,5 – 3
Експлуатація та технічне обслуговування системи	
Змащування, регулювання, налагодження	1 – 5

Таблиця 3.22. Заходи з заощадження електроенергії у підсистемах з приводом від двигуна

Міжсередовищні наслідки

Гармоніки, породжені регуляторами частоти обертання, тощо, призводять до втрат у двигунах і трансформаторах (див. розділ 3.5.2). На виробництво енергоефективного двигуна витрачається більше природних ресурсів (міді та сталі).

Застосовність

Приводи від електродвигунів існують практично на всіх промислових установках, де є електроенергія.

Застосовність конкретних заходів і те, наскільки вони можуть заощадити кошти, залежить від розміру та специфіки установки. Визначити, які з заходів застосовні і при цьому рентабельні, можна шляхом оцінки потреб усієї установки та системи. Робити це повинен кваліфікований постачальник послуг для привідних систем або кваліфікований штатний інженерний персонал. Це, зокрема, важливо для частотно-регульованих приводів та енергоефективних двигунів, з якими є ризик спожити більше енергії, ніж заощадити. Нові проєкти застосування приводів необхідно розглядати окремо від заміни деталей на існуючих установках. У висновках за результатами оцінки будуть визначені заходи, які можна застосувати до системи, а також буде наведено оціночні розрахунки заощаджень, вартість заходів та період окупності.

Наприклад, енергоефективні двигуни містять більше матеріалу (міді та сталі), ніж двигуни з нижчим ККД. Як наслідок, енергоефективний двигун має вищий ККД, але при цьому має нижчу частоту ковзання (а отже, більшу частоту обертання) і споживає більший пусковий струм із джерела живлення, ніж двигун зі стандартним ККД. У наведених нижче прикладах описано випадки, коли використання енергоефективного двигуна не буде оптимальним рішенням:

- якщо система ОВіК працює в умовах повного навантаження, заміна двигуна на енергоефективний двигун призведе до збільшення швидкості обертання вентиляторів (через менше ковзання) і, як наслідок, до збільшення навантаження від крутного моменту. У цьому випадку використання енергоефективного двигуна призведе до більшого споживання енергії, ніж використання двигуна зі стандартним ККД. Проєкт не повинен бути спрямований на збільшення остаточної частоти обертання;
- якщо обладнання напрацьовує менше 1000 – 2000 годин на рік (приводи переривчастої дії), енергоефективний двигун може не справити суттєвого впливу на заощадження енергії (див. пункт «Економіка» нижче);
- якщо обладнання повинне часто запускатися і зупинятися, заощадження можуть бути нівельовані вищим пусковим струмом енергоефективного двигуна;
- якщо обладнання працює переважно під неповним навантаженням (наприклад, насоси), але протягом тривалого часу, заощадження, досягнуті завдяки використанню енергоефективного двигуна, будуть незначними, а частотно-регульований привід збільшить заощадження енергії.

Економіка

Ціна на енергоефективний двигун приблизно на 20 % вища, ніж на звичайний. Приблизні витрати на експлуатацію двигуна за весь термін його служби показані на Рисунку 3.30:

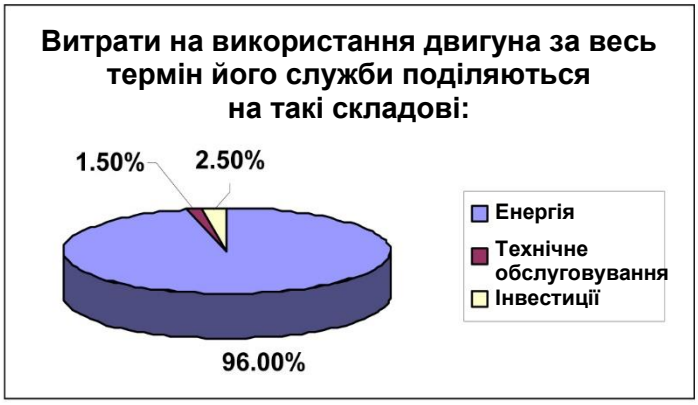


Рисунок 3.30. Вартість життєвого циклу електродвигуна

Під час купівлі чи ремонту двигуна дійсно важливо враховувати споживання енергії і мінімізувати його у такий спосіб:

- у випадку приводів змінного струму період окупності може становити всього 1 рік або менше;
- високоефективні двигуни будуть довше окупатися за рахунок заощаджень енергії.

Розрахувати період окупності для цієї енергоефективної технології – наприклад, у випадку купівлі двигуна з вищим ККД замість перемотування стандартного двигуна, що відмовив, можна за такою формулою:

$$\text{Період окупності (у роках)} = \frac{\text{Витрати}_{\text{ВЕД}} - \text{Витрати}_{\text{старий}}}{\text{кВт} \times \text{Н} \times \text{Витрати}_{\text{електроенергія}} \times \left[\frac{1}{\eta_{\text{перемотаний}}} - \frac{1}{\eta_{\text{ВЕД}}}\right]} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.11}$$

де:

- $\text{Витрати}_{\text{ВЕД}}$ = витрати на новий високоефективний двигун (ВЕД)
- $\text{Витрати}_{\text{старий}}$ = витрати на перемотування старого двигуна
- $\text{Витрати}_{\text{електроенергія}}$ = витрати на електроенергію
- кВ = середня потужність, яку споживає двигун під час роботи.

Рушії для впровадження

- Приводи змінного струму часто встановлюються для покращення керування машиною.
- У виборі двигунів велике значення мають інші чинники: наприклад, безпека, якість і надійність, реактивна потужність, періодичність обслуговування.

Приклади

- LKAB (Швеція) – ця гірничодобувна компанія споживає 1700 гігават-годин електроенергії на рік, 90 відсотків з яких використовується для живлення 15 000 двигунів. Завдяки переходу на високоефективні двигуни компанія LKAB зменшила свій річний рахунок за електроенергію на кілька сотень тисяч доларів (дата не вказана).
- Фабрика обробки харчових продуктів Heinz (Велика Британія) – новий центр енергопостачання буде на 14 % ефективнішим завдяки тому, що вентиляторами, які подають повітря для згорання, будуть керувати приводи змінного струму. У центрі енергопостачання є чотири котли, і існуюча котлова установка була замінена.

Довідкова інформація

[137, Європейська комісія, 139, Міністерство енергетики США, 231, Програма з підвищення енергоефективності двигунів, 232, 60034-30]

3.7 Системи стисненого повітря (ССП)

Опис

Стиснене повітря – це повітря, яке зберігається і використовується під тиском, що перевищує атмосферний тиск. Системи стисненого повітря забирають певну масу повітря, яка займає певний об’єм простору, і стискають її до меншого об’єму.

На стиснене повітря припадає аж 10 % споживання енергії у промисловості, або понад 80 ТВт·год. на рік у країнах ЄС-15.

Стиснене повітря використовується у два способи:

- як невід'ємна складова промислових процесів, наприклад:
  - постачання азоту низької чистоти для створення інертної технологічної атмосфери;
  - постачання кисню низької частоти у процеси окиснення – наприклад, для очищення стічних вод;
  - прибирання приміщень, захисту від забруднюючих речовин, тощо;
  - перемішування – наприклад, сталі та скла – у високотемпературних процесах;
  - видування безперервних ниток скловолокна та скляної тари;
  - лиття пластмас;
  - пневматичне сортування;

- у якості енергоносія, наприклад:
  - приведення в дію пневматичних інструментів;
  - приведення в дію пневматичних приводів (наприклад, циліндрів).

У сферах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, стиснене повітря переважно використовується як невід'ємна складова промислових процесів. Тиск, ступінь чистоти стисненого повітря та профіль потреби визначаються самим технологічним процесом.

Стиснене повітря по своїй суті чисте та безпечне, оскільки воно практично не загрожує зайнятися чи вибухнути внаслідок безпосередньої взаємодії з полум'ям чи внаслідок контакту з деталями, у яких накопичилося тепло, тому воно широко застосовується в небезпечних зонах у хімічній промисловості та супутніх галузях. На відміну від електроенергії, для нього не потрібен «зворотний» трубопровід / кабель, а у разі використання для приведення в дію інструментів воно забезпечує високу густину потужності та – у випадку інструментів з об'ємним витісненням – сталий крутний момент за сталого тиску навіть на низьких швидкостях обертання. Це у багатьох випадках є перевагою порівняно з електричними інструментами. Крім того, стиснене повітря легко пристосувати до змін у потребах виробництва (часто – у випадках масового виробництва), і його можна застосовувати з власними пневматичними логічними керівними пристроями. Ці пристрої легко встановлюються (хоча вони вже виходять з ужитку, оскільки з'явилися дешевші електронні керівні пристрої).

Пневматичні механічні пристрої часто використовуються для виконання коротких і швидких лінійних рухів з невеликим зусиллям або прикладання великих зусиль з низькою швидкістю, як-от приведення в рух монтажних інструментів та процесів (ручних або автоматизованих). Існують електричні пристрої, які виконують ті самі функції: ходові магніти для коротких і швидких рухів та двигуни з приводом через різьбовий штифт для створення великих зусиль. Проте пневматичні інструменти зручні з огляду на своє мале відношення маси до потужності: завдяки цьому вони здатні довгий час працювати без перегрівання, а їх технічне обслуговування обходиться дешево.

Однак, якщо інших причин використовувати стиснене повітря немає, слід розглянути можливість застосування інших альтернатив.

Постачання стисненого повітря часто є невід'ємною складовою проєкту установки, і його потрібно аналізувати паралельно з загальними потребами об'єкта у стисненому повітрі. У сферах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, ССП є важливим споживачем енергії, і їх частка у повній енергії, яка споживається на об'єктах, може варіюватися від 5 до 25 %. Взявши до уваги зацікавленість в енергоефективності, виробники компресорів та супутнього обладнання розробили технології та інструменти для оптимізації існуючих ССП і проєктування нових та більш ефективних альтернатив.

У наш час інвестиції здійснюють, керуючись аналізом вартості життєвого циклу, особливо у випадку придбання нових ССП. Енергоефективність вважається важливим параметром у

проєктування ССП, і в існуючих ССП все ще є потенціал для оптимізації. Термін служби великого компресора за оцінками становить від 15 до 20 років. За цей час профіль потреби на об'єкті може змінитися, і його може бути потрібно повторно оцінити, а крім того, з'являються нові технології для покращення енергоефективності існуючих систем.

Загалом вибір енергоносія (наприклад, ССП) залежить від багатьох параметрів застосування, і це питання потрібно аналізувати окремо для кожного випадку.

Енергоефективність у ССП

У більшості основних випадків, коли стиснене повітря використовується в переробній промисловості, воно є невід'ємною складовою промислового процесу. У більшості таких випадків це єдина технологія, яку можна з легкістю застосувати для виконання процесу в його поточному вигляді, тобто без значної реконструкції. У таких ситуаціях енергоефективність ССП головним чином або повністю залежить від ефективності виробництва, обробки та розподілу стисненого повітря.

Енергоефективність виробництва, обробки та розподілу стисненого повітря визначається якістю планування, виготовлення та технічного обслуговування системи. Мета експертного проєктування полягає в тому, щоб забезпечити постачання стисненого повітря, яке буде придатним для потреб відповідного завдання. Перш ніж впроваджувати одну або кілька технологій підвищення енергоефективності, необхідно належним чином зрозуміти завдання і визначити потребу у стисненому повітрі. Ці технології доцільно внести у систему енергетичного менеджменту, у якій надійний аудит системи стисненого повітря буде спиратися на високоякісну базу даних (див. розділ 2.1 та 2.15.1).

У 2000 році в рамках європейської програми SAVE було проведено дослідження, метою якого було проаналізувати потенціал для підвищення енергоефективності, присутній у ССП. Хоча воно охоплює всі можливі випадки застосування, і ССП на об'єктах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, зазвичай більші, ніж усереднена ССП у промисловості, воно дає хороше загальне уявлення про заходи, яких можна вжити для покращення енергоефективності ССП.

Їх підсумок наведено у Таблиці 3.23:

Захід із заощадження енергії	% застосовності (1)	% виграшу (2)	% потенційного внеску (3)	Зауваження
Встановлення або модернізація системи				
Удосконалення приводів (високоефективні двигуни)	25	2	0,5	Найбільш рентабельно у невеликих системах (<10 кВт)
Удосконалення приводів (регулювання швидкості)	25	15	3,8	Можна застосовувати у системах зі змінним навантаженням На установках з кількома машинами частотно-регульованим приводом потрібно обладнати лише одну машину. Розрахунковий виграш стосується загального вдосконалення систем – незалежно від того, складаються вони з однієї чи кількох машин.
Модернізація компресора	30	7	2,1	
Використання високотехнологічних систем керування	20	12	2,4	
Регенерація відхідного тепла для використання з іншою метою	20	20 – 80	4,0	Зверніть увагу, що вказаний виграш – це виграш в енергії, а не споживанні електроенергії, оскільки електроенергія перетворюється у корисне тепло
Удосконалене охолодження, сушіння та фільтрування	10	5	0,5	Без урахування більш частої заміни фільтра (див. нижче)
Проєкт системи у цілому, у тому числі для систем з кількома тисками	50	9	4,5	
Зменшення втрат тиску на тертя (наприклад, шляхом збільшення діаметру трубопроводу)	50	3	1,5	
Оптимізація деяких пристроїв, які є кінцевими споживачами	5	40	2,0	
Експлуатація та технічне обслуговування системи				
Зменшення витоків повітря	80	20	16,0	Найбільший потенційний виграш
Частіша заміна фільтра	40	2	0,8	
УСЬОГО			**32,9**	

Пояснення до таблиці:
1) % ССП, у який цей захід застосовний і рентабельний
2) % зниження річного споживання енергії
3) Потенційний внесок = застосовність * зниження

Таблиця 3.23. Заходи з заощадження енергії у ССП [168, PNEUROP, 2007]

Якщо стиснене повітря використовується для приведення в дію інструментів, слід враховувати, що «механічний ККД» – це, за визначенням, «потужність на валу інструмента, розділена на повну електричну вхідну потужність, потрібну для виробництва стисненого повітря, що споживається інструментом»; цей показник зазвичай становить 10 – 15 %.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Більшість технологій, що використовуються для проєктування чи модифікації ССП, націлені на підвищення енергоефективності цієї системи. Серед вигод, які принесе покращення енергоефективності ССП, може бути зменшення шумового випромінювання і скорочення споживання охолоджувальної води. Очікуваний термін служби ССП та компресорів порівняно великий, тому витрата матеріалів на замінне обладнання низька.

Міжсередовищні наслідки
Викиди обмежуються шумом та оливним туманом. Інші чинники впливу ССП на навколишнє середовище незначні у порівнянні зі споживанням енергії.

На більшості об’єктів ССП – це незалежна підсистема. Більшість можливих модифікацій у цих системах не впливають на інші системи або процеси. У разі використання ССП в інших процесах потрібно враховувати споживання нею енергії – див. розділ 1.3.

Експлуатаційні параметри
Компоненти ССП
ССП – це, незалежно від випадку застосування, поєднання чотирьох підсистем:

- виробництво стисненого повітря;
- зберігання стисненого повітря;
- обробка стисненого повітря;
- розподіл стисненого повітря.

Крім цього, можуть бути присутні допоміжні системи, як-от система регенерації тепла чи очищення конденсату.

Типові компоненти підсистем наведені у Таблиці 3.24:

Виробництво пари	Зберігання	Обробка	Розподіл	Допоміжні системи
Компресор	Ресивер	Осушувач	Трубопроводи	Регенерація тепла
Контролер		Фільтр	Клапани	Лінії відведення конденсату
Охолоджувач				

Таблиця 3.24. Типові компоненти ССП
[168, PNEUROP, 2007]

Схема типових компонентів системи стисненого повітря зображена на Рисунку 3.31.

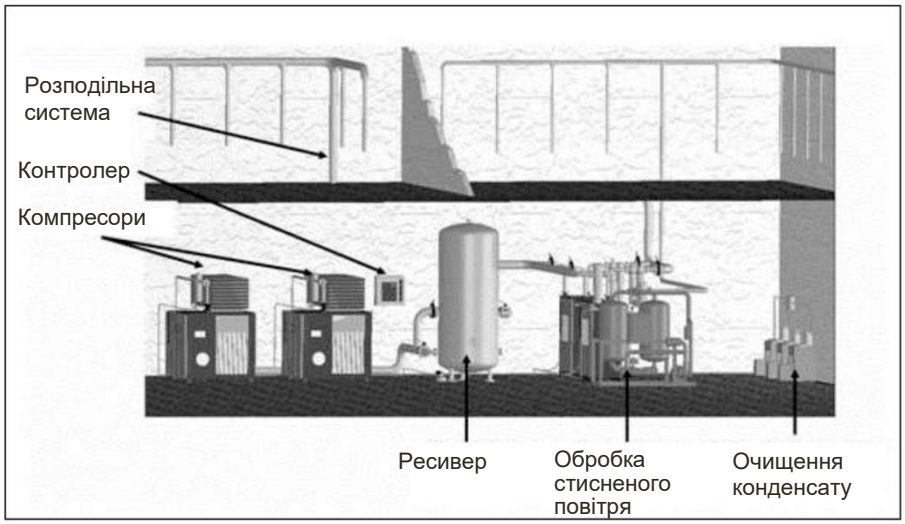


Рисунок 3.31. Типові компоненти системи стисненого повітря (ССП)
[168, PNEUROP, 2007]

На більшості об'єктів є багатокомпресорна станція з централізованою обробкою стисненого повітря та великою розподільною системою. Крім того, у таких машинах, як ткацькі верстати чи обладнання для виготовлення скла, часто є спеціальна вбудована система стисненого повітря. Не існує стандартного проєкту системи для конкретного випадку застосування. Тому вибирати належні компоненти і керувати їх взаємодією потрібно з огляду на конкретний технологічний процес та його параметри.

Типи компресорів
ККД компресорів різниться залежно від типу компресора та його конструкції. ККД, а отже, і поточні витрати – це головні критерії у виборі компресора, проте вибір також може визначатися необхідною якістю та кількістю стисненого повітря.

Серед технологій повітряних компресорів є, зокрема, дві основні групи: об'ємні та динамічні компресори. Вони, у свою чергу, поділяються на кілька типів компресорів, як показано на Рисунку 3.32 і описано в тексті нижче:

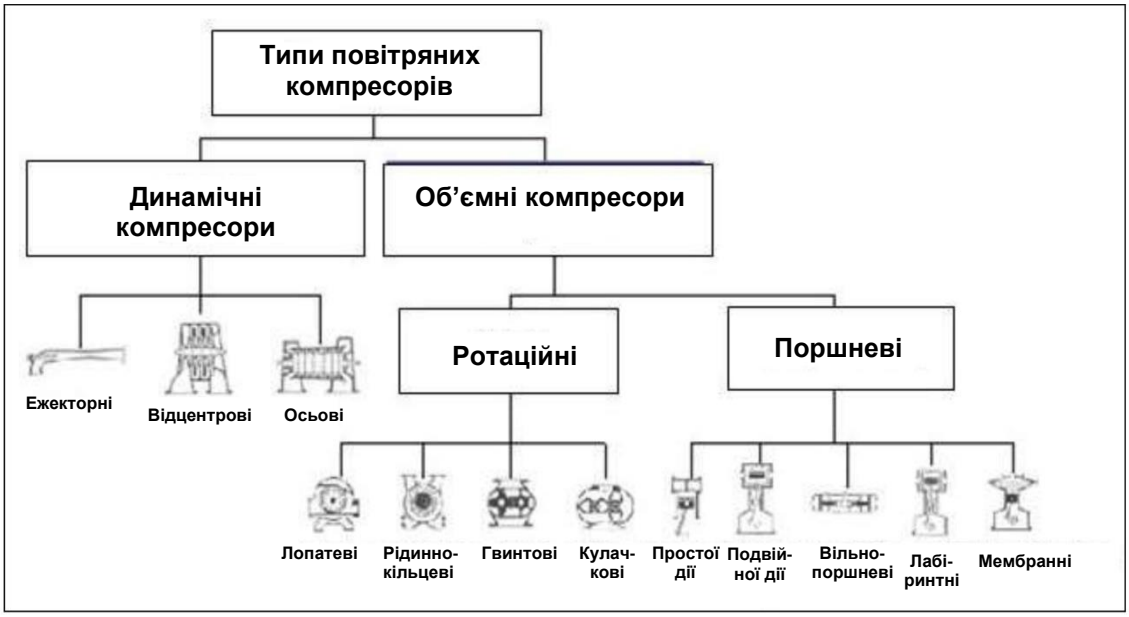


Рисунок 3.32. Типи компресорів
[168, PNEUROP, 2007]

- **об'ємні компресори** збільшують тиск певної кількості повітря шляхом зменшення об'єму, який повітря займало за початкового тиску. Компресори цього типу існують у двох базових виконаннях: поршневі та ротаційні. Обидва ці базові виконання, у свою чергу, класифікуються за різними технологіями:
  - у *поршневих компресорах* усередині циліндра рухається поршень, який стискає повітря під низьким тиском, створюючи в ньому високий тиск. Ці компресори можуть бути простої дії або подвійної дії;
  - *гвинтові компресори* – це найбільш поширені промислові компресори, доступні у діапазоні потужностей від 40 к.с. (30 кВт) до 500 к.с. (373 кВт). Вони можуть бути як змащуваними, так і безоливними. Популярність ротаційних компресорів обумовлена порівняно простою конструкцією, простотою монтажу, малою потребою у плановому технічному обслуговуванні, простотою технічного обслуговування, тривалим терміном служби та прийнятною вартістю;

- **динамічні компресори** – це обертові машини з безперервною течією, у яких обертовий елемент, обертаючись із великою швидкістю, розганяє повітря, яке проходить через елемент, а швидкісний напір перетворюється в тиск – частково в обертовому елементі, і частково у стаціонарних дифузорах або на лопатях. Продуктивність динамічного компресора суттєво варіюється залежно від робочого тиску.

Застосовність

Кожна система стисненого тиску – це складне рішення, для проєктування якого і застосування певних технологій потрібно мати експертні знання. Проєкт залежить від багатьох параметрів, як-от:

- профіль потреби (включно з піковою потребою);
- потрібна якість стисненого повітря;
- тиск;
- просторові обмеження, що накладаються будівлею та/або установкою.

Наприклад, стандарт ISO 8573-1 класифікує якість стисненого повітря за трьома типами забруднюючих речовин. Існує кілька класів із широким розкидом ступенів чистоти, потрібних за кожною забруднюючою речовиною у різних випадках застосування:

- тверді частки 8 класів
- вологість та рідка вода 10 класів
- загальний вміст оливи 5 класів.

Крім того, застосування технологій підвищення енергоефективності неможливо одночасно оцінити для зовсім різних систем. Це можна проілюструвати двома профілями потреби, як показано на Рисунку 3.33.

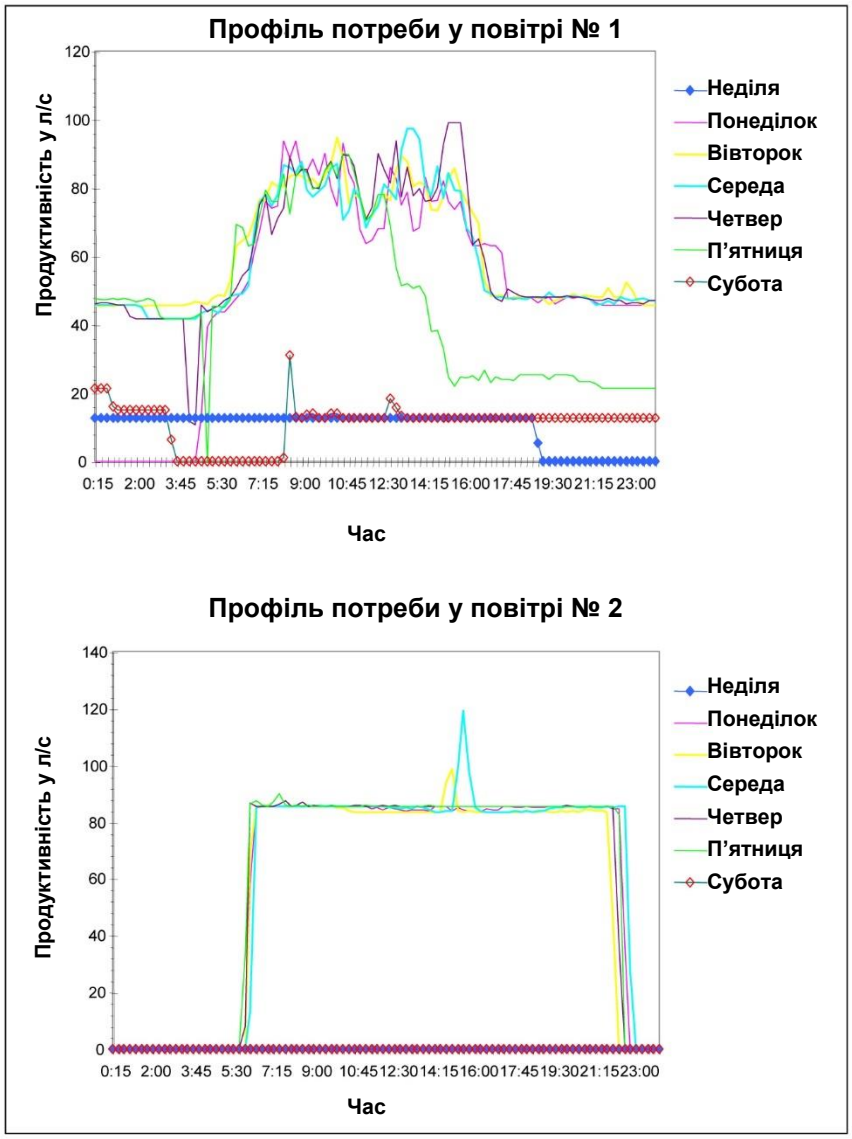


Рисунок 3.33. Різні профілі потреби
[168, PNEUROP, 2007]

Описи викладених нижче технологій (див. розділи з 3.7.1 по 3.7.10) надають стислий огляд можливостей. Необхідною передумовою для розробки нового проєкту або оптимізації ССП є наявність експертної системи та аналіз потреб.

Як описано у частині 2, зміни, що вносяться у комплексні системи, потрібно оцінювати окремо для кожного випадку.

Економіка

Ціна на стиснене повітря у Європі дуже різниться у різних компаній: від 0,006 до 0,097 євро за $м^3$ н.у. (враховуючи, що у 2006 році ціна на електроенергію варіювалася від 0,052 євро/кВт·год. у Фінляндії до 0,1714 євро/кВт·год. у Данії: консультаційне дослідження цін на електроенергію, виконане компанією NUS). Підраховано, що 75 % цих сум припадає на енергію – і лише 13 % на інвестиції та 12 % на технічне обслуговування (розрахунок базується на споживанні протягом 6000 годин/рік за п'ять років). Розкид у його вартості зумовлений головним чином відмінностями між оптимізованою установкою та установкою, яка не була оптимізована. Цей ключовий параметр необхідно враховувати як при проєктуванні установки, так і під час експлуатації існуючої установки.

Вартість енергії, що витрачається на стиснене повітря, виражається через питому витрату енергії (ПВЕ) у Вт·год./м^3 н.у. Для установки правильно підібраного розміру, керування якою здійснюється ефективно, і яка працює за номінальної витрати та тиску 7 бар, у якості орієнтира можна прийняти таку нерівність (у ній враховані різні технології компресорів):

85 Вт·год./м^3 н.у. < ПВЕ < 130 Вт·год./м^3 н.у. [194, ADEME, 2007]

Це відношення відображає якість проєктування та керування установкою стисненого повітря. Його важливо знати і відстежувати (див. «Бенчмаркінг» у розділі 2.16), оскільки воно може погіршитися, внаслідок чого ціна на повітря суттєво зросте.

Організації та виробники у країнах-членах ЄС вже впровадили ініціативи у сфері підвищення енергоефективності. Такі програми показали, що інвестиції в реалізацію описаних технологій добре окупаються.

Рушій для впровадження
До впровадження описаних технологій заохочує підвищення енергоефективності у поєднанні з короткими періодами амортизації (звичайні ринкові сили).

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[190, Druckluft, 191, Druckluft, 193, Druckluft], [168, PNEUROP, 2007, 169, Європейська комісія, 1993, 194, ADEME, 2007], [189, Радген та Блауштайн (Blaustein), 2001, 196, Вікіпедія]

3.7.1 Проєктування системи

Опис
На сьогодні у багатьох існуючих ССП не оновлені їх загальні проєктні рішення. Встановлення додаткових компресорів та впровадження різних завдань, що виконуються у кілька етапів, протягом терміну служби установки без одночасного перепроєктування початкової системи часто призводить до того, що ССП працює неоптимальним чином.

Одним із основоположних параметрів у ССП є значення тиску. Існує ряд споживачів тиску – залежно від випадку застосування, – для яких зазвичай потрібно віднайти компроміс між низькими тисками, які забезпечують вищу енергоефективність, та високими тисками, за яких можна використовувати менші і дешевші пристрої. Більшість споживачів використовують тиск приблизно у 6 бар (надл.), проте іноді потрібні тиски до 13 бар (надл.). Тиск часто вибирають таким, щоб забезпечити максимальний тиск з-поміж тих, які потрібні кожному пристрою.

Важливо враховувати, що надто низький тиск призведе до виходу деяких машин з ладу, а вищий, ніж потрібно, тиск – ні, зате він знизить ККД. У багатьох випадках тиск у системі становить 8 чи 10 бар (надл.), проте для більшої частини повітря тиск знижується до 6 бар (надл.) за допомогою клапанів скидання тиску.

Сучасний підхід полягає в тому, щоб вибрати тиск, який задовольнить 95 % усіх потреб, а для решти використовувати невеликий пристрій підвищення тиску. Оператори намагаються позбутися пристроїв, які потребують тиску понад 6 бар (надл.), або передбачити дві системи з різними тисками – одна з вищим тиском, а інша на 6,5 бар (надл.).

Ще одним базовим параметром є вибір об’єму резервуара для зберігання. Оскільки потреба у стисненому повітрі зазвичай є у багатьох різних пристроїв, які переважно працюють

періодично, потреба у повітрі нерівномірна. Резервуар для зберігання допомагає згладити коливання потреби і задовольнити короткочасні пікові потреби (див. розділ 3.7.10).

Зі згладженою потребою невеликі компресори будуть працювати стабільніше, час роботи на холостому ходу буде меншим, і зменшиться потреба в електричній енергії. У системах може бути більше одного ресивера повітря. Ефективним також може виявитися стратегічне розташування ресиверів повітря поблизу джерел короткочасних великих потреб: це допомагає задовольнити пікову потребу пристроїв і дає змогу знизити тиски в системі.

Третім основоположним питанням у проєктуванні системи стисненого повітря є вибір розміру трубопроводу та розташування компресорів. Будь-які перешкоди, звуження чи шорсткості у системі, як і довгі траси трубопроводів, будуть чинити опір повітряному потоку і призводити до падіння тиску. У розподільній системі найбільші падіння тиску зазвичай спостерігаються у точках споживання – у тому числі в надто вузьких шлангах, трубках, з'єднувачах для посадки вручну, фільтрах, регуляторах та маслянках. Крім того, використання зварних трубопроводів може зменшити втрати на тертя.

Іноді потреба у повітрі з роками зростає «природнім чином», і через відгалуження трубопроводу, яке раніше було бічним, – невеликого діаметру – доводиться пропускати збільшені об'ємні витрати, що призводить до втрати тиску. У деяких випадках обладнання установки виходить з ужитку. Потік повітря до цього обладнання, яке не використовується, слід перекрити вище по течії у розподільній системі – якомога далі, але так, щоб це не впливало на працююче обладнання.

У правильно спроєктованій системі падіння тиску на шляху до точки споживання повинно бути меншим, ніж 10 % від тиску нагнітання компресора. Цього можна досягати шляхом регулярного моніторингу втрати тиску, вибору осушувачів, фільтрів, шлангів та з'єднувачів для ручної посадки з низьким падінням тиску за номінальних умов, зменшення відстані, яку проходить повітря у розподільній системі, та перерахунку діаметрів труб у випадку появи нових потреб у повітрі.

У пункті «проєкт системи у цілому» часто узагальнюють інформацію, яка насправді описує проєктну мету використання стисненого повітря. Це може призвести до неналежного використання системи – наприклад, перевищення тиску з наступним розширенням для пониження тиску до потрібно рівня, – проте такі ситуації трапляються нечасто. У сучасній промисловості більшість людей усвідомлюють, що стиснене повітря – це фактор, який суттєво впливає на витрати.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Підтримання проєкту системи стисненого повітря в актуальному стані, оскільки це знизить споживання електроенергії.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Для кращої ефективності може знадобитися краще обладнання у більшій кількості (кращі труби у більшій кількості, фільтри, тощо).

Застосовність
Існує багато систем стисненого повітря – за оцінками, аж 50 % усіх систем, – які можна було б удосконалити шляхом перегляду їх проєкту у цілому, заощадивши 9 % енергії за рахунок зниження тиску та більш вдалого вибору розміру резервуарів (у 50 % систем) та ще 3 % за рахунок зменшення втрат тиску у трубопроводах (у 50 % систем), тобто у сумі 6 % = 0,5 x (0,09 + 0,03).

Проєктування системи також може передбачати оптимізацію певних пристроїв, які є кінцевими споживачами: у 5 % усіх систем потребу можна знизити, як правило, десь на 40 %, і таким чином заощадити 2 % енергії (тобто 0,05 x 0,4).

Економіка та рушій для впровадження
Вартість перегляду системи стисненого повітря з наступним переналаштуванням тиску та оновленням трубопроводів нелегко розрахувати; вона дуже залежить від обставин на конкретній установці. Заощадження у системі середнього розміру потужністю 50 кВт можна підрахувати так:

50 кВт x 3000 год./рік x 0,08 євро/кВт x 10 % = 1200 євро/рік

Вартість глибокого перегляду такої системи – з додаванням 90-літрового резервуара біля відповідального споживача та відсічного клапана на відгалуженні, яке рідко використовується, заміною 20 метрів трубопроводу, 10 шлангів та роз'єднувачів – складе близько 2000 євро з вигідним періодом окупності у 1,7 року. Витрати часто бувають меншими, якщо потрібно лише виконати деякі переналаштування тиску, проте в будь-якому випадку потрібно ретельно проаналізувати, який найнижчий допустимий тиск міг би задовольнити потреби.

Економічні міркування є рушієм для перегляду систем стисненого повітря. Основною перешкодою є нестача знань та/або кваліфікованих кадрів, відповідальних за системи стисненого повітря. Технічний персонал може усвідомлювати, що стиснене повітря дороге, однак прояви неефективності не очевидні, і оператору може бракувати кадрів з достатнім ґрунтовним досвідом.

Ініціативи з поширення знань про стиснене повітря, які діють у багатьох країнах ЄС, суттєво посприяли впровадженню таких заходів, забезпечивши «потрійний виграш»: власник систем стисненого повітря виграє за рахунок зниження сукупних витрат, постачальник компресорів та інших пристроїв – за рахунок збільшення доходу, а навколишнє середовище – за рахунок менших викидів з електростанції.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007]

3.7.2 Частотно-регульовані приводи (VSD)

Опис
Частотно-регульовані приводи (VSD, див. розділ 3.6.3) застосовуються у компресорах головним чином у тих випадках, коли потреби споживачів у технічному повітрі коливаються залежно від часу доби та дня тижня. Традиційні системи керування компресорами, як-от системи навантаження / розвантаження, плавного регулювання, регулювання продуктивності та інші, намагаються підлаштовуватися під ці зміни потреби у повітрі. Якщо це призводить до частих перемикань і тривалого простоювання, то енергоефективність, як наслідок, знижується. У компресорах, оснащених частотно-регульованими приводами, швидкість електродвигуна регулюється залежно від потреби у стисненому повітрі, внаслідок чого заощаджується велика кількість енергії.

Дослідження показують, що для більшості випадків застосування стисненого повітря характерні помірні або великі коливання потреби у повітрі, тож існує великий потенціал для заощадження енергії шляхом застосування компресорів з частотно-регульованим приводом.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки

Немає.

Експлуатаційні параметри
Випробування, проведені незалежною лабораторією, показали, що під час роботи з типовими профілями потреби у повітрі заощаджується велика кількість енергії. Окрім заощадження енергії, частотно-регульовані приводи на компресорах приносять деякі додаткові вигоди:

- тиск дуже стабільний, і це сприятливо впливає на стабільність робочого процесу у деяких чутливих технологічних процесах;
- коефіцієнти навантаження значно вищі, ніж зі звичайними приводами, а отже, споживається мало реактивної потужності;
- пускові струми ніколи не перевищують струми повного навантаження двигуна. Як наслідок, користувачі можуть використовувати електричні компоненти з меншим номіналом. Крім того (якщо це застосовно), користувачі можуть уникнути штрафів за потужність, встановлених енергопостачальними компаніями, не створюючи піків струму під час пуску. Заощадження на піках виникають автоматично;
- Технологія частотно-регульованого приводу забезпечує плавний пуск на низьких обертах: вона усуває піки струму та крутного моменту, а отже, зменшує механічне зношування та електричне напруження і подовжує термін експлуатації компресора;
- рівень шуму знижується, оскільки компресор працює лише тоді, коли потрібно.

Застосовність
Компресори з частотно-регульованим приводом підходять для ряду операцій у широкому спектрі галузей, у тому числі на металургійних заводах, заводах харчової продукції, текстильних фабриках, фармацевтичних та хімічних заводах, тощо, для яких характерний дуже мінливий профіль потреби у стисненому повітрі. Реальних вигод не вдасться досягти, якщо компресор буде постійно працювати на повній потужності або близько до неї (див. пункт «Приклади» нижче).

Компресори з частотно-регульованим приводом можна застосовувати в існуючих установках стисненого повітря. З іншого боку, регулятори частотно-регульованого привода можна інтегрувати в існуючі компресори, які працюють на постійній швидкості; однак кращі робочі показники досягаються, якщо регулятор частотно-регульованого привода та двигун постачаються разом, оскільки вони пристосовані один до одного таким чином, щоб забезпечувати найвищий ККД у конкретному діапазоні швидкостей. Частотно-регульовані приводи слід застосовувати лише у більш-менш сучасних компресорах, оскільки у старих компресорах з ними можуть виникнути проблеми. За наявності сумнівів слід проконсультуватися з виробником або експертом у питаннях ССП.

У багатьох ССП компресори вже оснащені частотно-регульованим приводом, тож застосувати цю технологію у промисловості для отримання додаткових компресорів зі змінною швидкістю можна приблизно у 25 % випадків. Заощадження можуть досягати 30 %, хоча середній виграш у ССП, в яку додано один компресор з частотно-регульованим приводом, становить приблизно 15 %. Інші ССП також, імовірно, зможуть застосувати компресори, оснащені частотно-регульованим приводом, з вигодою для себе.

Економіка
Близько 80 % вартості життєвого циклу компресора зазвичай припадає на енергію, а решта 20 % – на інвестиції та технічне обслуговування. Установка, на якій завдяки використанню частотно-регульованих приводів заощаджується (за консервативною оцінкою) 15 % енергії, заощаджує 12 % вартості життєвого циклу, у той час як додаткові інвестиції у компресор зі змінною швидкістю (замість традиційного) додають до вартості життєвого циклу лише приблизно 2 – 5 %.

Рушій для впровадження
Основними рушіями є економічні та екологічні міркування.

Приклади
На гвинтовому компресорі віком 18 місяців, що встановлений на заводі Norwegian Talc Ltd. у місті Хартлпул (Hartlepool), Велика Британія, були проведені випробування продуктивності за стандартом BS1571. Виявилося, що у разі роботи на 50 % номінальної продуктивності можна було б заощадити енергію у розмірі 9,4 кВт (або 9 % потужності за повного навантаження), а у разі роботи під ще меншим навантаженням заощадження могли б бути ще більшими. Проте під повним навантаженням споживання енергії було б на 4 % вищим через втрати потужності в інверторі. Таким чином, частотно-регульовані приводи не слід використовувати з компресорами, які тривалий час працюють на повному навантаженні.

Довідкова інформація
[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007, 195, Міністерство транспорту Великої Британії (DETR)]

3.7.3 Високоефективні двигуни (ВЕД)

Опис
Хоча формально визначення високоефективного двигуна не існує, до цих компонентів зазвичай відносять двигуни, втрати у яких були зменшені до абсолютного мінімуму. Високоефективні двигуни мінімізують електричні та механічні втрати, забезпечуючи заощадження енергії. У світі існують різні класифікації, покликані відрізнити високоефективні двигуни від інших. Прикладами таких класів є EFF1, вищий клас NEMA, тощо (див. розділ 3.6.1).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
- Зменшується споживання струму.
- Зменшується виділення тепла.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Втрати у двигунах не залежать від того, де і для чого використовується двигун. Це означає, що високоефективні двигуни можна використовувати практично будь-де. Високоефективні двигуни вже використовуються на більшості великих об’єктів (75 %); решта 25 % – це невеликі системи.

Економіка
Здавалося б, невеликий виграш у ККД хоча б в 1 – 2 % сприяє пропорційним заощадженням протягом усього терміну служби двигуна. Сумарні заощадження будуть суттєвими.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007, 195, DETR]

3.7.4 Центральні системи керування ССП

Опис
У більшості випадків, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, ССП – це багатокомпресорні установки. Енергоефективність таких багатокомпресорних установок можна суттєво покращити за допомогою центральних пристроїв керування ССП, які обмінюються експлуатаційними даними з компресорами і частково або повністю керують режимами роботи окремих компресорів.

Ефективність таких центральних пристроїв керування суттєво залежить від можливостей каналу зв'язку, який може варіюватися від простих плаваючих релейних контактів до мереж, у яких використовуються протоколи автоматизації. Розширення можливостей зв'язку надає більше свободи в отриманні експлуатаційних даних від компресора, керуванні режимами роботи окремих компресорів та оптимізації сукупного споживання енергії системою стисненого повітря.

У стратегії керування центрального пристрою керування повинні враховуватися характеристики окремих компресорів – зокрема, їх режим керування. У якості ілюстрації наведено деякі зауваження щодо режимів керування поширеними типами компресорів. Найбільш поширеними типами режимів керування окремих компресорів є:

- перемикання між навантаженням, холостим ходом і зупинкою, та
- регулювання частоти.

Основні функціональні можливості високотехнологічного компресора та центральних пристроїв керування можна узагальнити так:

- розширена функціональність зв'язку (наприклад, на базі протоколів автоматизації);
- комплексний доступ центрального пристрою керування ССП до експлуатаційних даних окремих компресорів;
- здатність центрального пристрою керування ССП комплексно керувати всіма режимами роботи компресора;
- оптимізація стратегії центрального керування з можливістю самонавчання, у тому числі розпізнавання властивостей ССП;
- визначення та активування високоефективних поєднань компресорів у навантаженому стані, на холостому ходу та в зупиненому стані і перемикання між цими станами відповідно до загальної потреби у вільній подачі повітря (FAD);
- ефективне керування частотно-регульованими компресорами з метою компенсації короткочасних коливань
- потреби у вільній подачі повітря таким чином, щоб уникнути неефективної тривалої роботи на постійній швидкості, особливо на низьких частотах;
- мінімізація частот перемикання та роботи компресорів з фіксованою швидкістю на холостому ходу;

- високотехнологічні методи прогнозування та моделі загальної потреби у вільній подачі повітря, у тому числі розпізнавання циклічних профілів потреби (добові або тижневі профілі потреби для робочих змін та робочих місць, тощо);
- додаткові функції, як-от дистанційний моніторинг, збір даних установки, планування технічного обслуговування, телесервіси та/або надання попередньо оброблених експлуатаційних даних через вебсервери;
- керування іншими компонентами ССП, крім компресорів.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
- поліпшення енергоефективності;
- зменшення споживання струму та виділення тепла.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
- *на однокомпресорних установках*: умови роботи ССП будуть оптимальними тоді, коли компресор постійно працює на фіксованій швидкості з оптимальним ККД. Проте якщо потреба у повітрі не постійна, більш ефективним рішенням може бути зупинка компресора / його робота на холостому ходу протягом тривалих непродуктивних періодів:
- **компресори без регулювання частоти** перемикаються між навантаженням, холостим ходом та зупинкою, працюючи на фіксованій швидкості, і постачають 100 % вільної подачі повітря (FAD) під навантаженням та 0 % вільної подачі повітря на холостому ходу або в зупиненому стані. Іноді може бути необхідно не зупиняти компресор, а експлуатувати його на холостому ходу, якщо з міркувань регулювання тиску між 100 % та 0 % вільної подачі повітря потрібно перемикатися частіше, ніж дозволяє допустима частота пуску привідного електродвигуна.

Споживання потужності на холостому ходу зазвичай становить 20 – 25 % від значення під повним навантаженням. Додаткові втрати виникають внаслідок випускання повітря з компресора після перемикання в зупинений стан, а також у вигляді втрат на електричний запуск привідного двигуна. У однокомпресорних установках необхідна частота перемикання безпосередньо залежить від профілю навантаження, розміру ресивера (резервуара для зберігання), допустимого діапазону тиску та вільної подачі повітря компресора.

Якщо ці параметри керування вибрані неправильно, середній ККД компресорів з фіксованою швидкістю, які працюють у періодичному режимі, може суттєво знизитися у порівнянні з тими, які працюють на повній швидкості у безперервному режимі. У цьому випадку використання високотехнологічних центральних пристроїв керування для оптимізації параметрів технологічного процесу компресора, який працює періодично, буде ефективним інструментом, який підвищить ККД системи стисненого повітря. Складні центральні пристрої керування проєктуються і програмуються таким чином, щоб мінімізувати роботу на холостому ходу та частоту перемикання за допомогою різних стратегій, безпосередньо зупиняючи компресори у всіх випадках, коли температура двигуна (виміряна або розрахункова) дозволяє за необхідності його відразу перезапустити. Компресори з фіксованою швидкістю дуже енергоефективні, якщо вдалося мінімізувати періоди роботи на холостому ходу;

- **у компресорах з регулюванням частоти** робота швидкість компресорного елемента постійно змінюється у діапазоні між максимальною та мінімальною швидкістю. Як правило, діапазон керування між максимальною та мінімальною швидкістю, які співвідносяться між собою приблизно як 4:1 – 5:1, та вільна подача повітря в об’ємних компресорах (наприклад, гвинтових компресорах) приблизно пропорційні робочій швидкості. З огляду на неусувні втрати у частотних перетворювачах та наведені втрати в асинхронних привідних двигунах, ККД самої

привідної системи буде нижчим у порівнянні з приводами, які працюють на фіксованій швидкості (на 3 – 4 % нижче за повного навантаження, і ще більше за неповного навантаження). Крім того, ККД об'ємних компресорів (наприклад, гвинтових компресорів з вприскуванням оливи та безмастильних гвинтових компресорів) суттєво знижується на низьких робочих швидкостях порівняно з роботою у проєктній точці.

У однокомпресорних установках ці несприятливі наслідки можуть компенсуватися за рахунок належних властивостей регулювання частотно-регульованого компресора при усуненні втрат на холостий хід, випускання повітря та/або пуск, які б спостерігалися у компресорах з фіксованою швидкістю у таких же умовах застосування. З огляду на обмежений діапазон керування (див. вище) навіть у частотно-регульованих компресорах за низьких потреб у вільній подачі повітря присутні деякі втрати, зумовлені холостим ходом, зупинкою та/або пуском.

- *багатокомпресорні установки:* Для багатокомпресорних установок викладені вище міркування будуть надто спрощеними, оскільки центральний пристрій керування буде задовольняти змінну загальну потребу у вільній подачі повітря за допомогою складних комбінацій та переходів між режимами роботи кількох компресорів. При цьому також передбачається керування робочою швидкістю частотно-регульованого компресора, якщо такі є, з метою суттєвого зменшення часу роботи на холостому ходу та частот перемикання компресорів з фіксованою швидкістю.

Інтеграція частотно-регульованого компресора у багатокомпресорну установку може бути дуже успішною у такій ССП, в якій місткість ресивера порівняно мала, потреба у вільній подачі повітря сильно та/або швидко змінюється, компресорів небагато, і/або розміри компресорів не дозволяють розділити систему на достатню кількість ступенів. З іншого боку, якщо розміри компресорів у ССП дозволяють розділити систему на достатню кількість ступенів, центральні засоби керування зможуть точно адаптувати вільну подачу повітря, що виробляється, до потреби у вільній подачі повітря, активуючи будь-яку з багатьох різноманітних комбінацій компресорі з низькими частотами перемикання та малою тривалістю холостого ходу.

Центральні пристрої керування зазвичай керують кількома компресорами у спільному діапазоні тиску, підтримуючи заданий мінімальний тиск у належній точці вимірювання. Це помітно заощаджує енергію у порівнянні з каскадними схемами. Високотехнологічні центральні пристрої керування використовують стратегії, які дають змогу звузити діапазон тиску, не збільшуючи частоту перемикання та тривалість холостого ходу компресорів. Вузький діапазон тиску ще більше знижує середній зворотний тиск, а отже, зменшує питому потребу навантажених компресорів в енергії та штучно створену потребу нижче по лінії.

Застосовність

Згідно з дослідженням у рамках програми SAVE, модернізація зі встановленням високотехнологічних систем керування застосовна і рентабельна для 20 % існуючих ССП. Для великих ССП, типових для установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, використання високотехнологічних центральних пристроїв керування слід вважати сучасним технічним рівнем.

Найбільших заощаджень енергії можна досягти, якщо реалізація високотехнологічних центральних пристроїв керування буде запланована на етапі проєктування системи разом з початковим вибором компресорів або у поєднанні з заміною основних компонентів (компресорів). У цих випадках потрібно слідкувати, щоб обрані центральні пристрої керування та пристрої керування компресорів мали розвинені, всеосяжні та сумісні можливості зв'язку.

З огляду на тривалий термін служби ССП, оптимальний сценарій не завжди досяжний, проте дообладнання існуючої ССП високотехнологічними центральними пристроями керування та – за відсутності більш прогресивної альтернативи – під'єднання до них хоча б старих компресорів через плаваючі релейні контакти може забезпечити суттєві заощадження енергії.

Економіка

Економічна ефективність інтеграції центральних систем керування у новий проєкт ССП залежить від обставин, таких як профілі потреби, довжина кабелів та типи компресорів. Результуючі середні заощадження енергії оцінюються у 12 %. У випадку дообладнання центральною системою керування існуючої ССП також немає певності стосовно інтеграції старих компресорів та наявності планів, проте і для таких випадків характерний період окупності менше одного року.

Рушій для впровадження

Головним рушієм для впровадження є зниження витрат на енергію, проте варто згадати й інші рушії. Якщо у високотехнологічних центральних пристроїв керування та пристроїв керування компресорів є розширені можливості зв'язку, це дає змогу збирати вичерпні експлуатаційні дані у центральному пристрої керування. У поєднанні з іншими функціональними можливостями це закладає основу для планового технічного обслуговування або технічного обслуговування за станом, телесервісів, дистанційного моніторингу, збору даних установки, обліку витрат на стиснене повітря та подібних функцій, які допомагають знизити витрати на технічне обслуговування, підвищити експлуатаційну готовність і краще розуміти витрати на виробництво стисненого повітря.

Приклади

Завдяки встановленню автоматизованої системи керування компресорами на заводі Ford Motor Company (раніше Land Rover) у місті Соліхалл (Solihull), Велика Британія, витрати на виробництво стисненого повітря знизилися на 18,5 %. Система була встановлена і введена в експлуатацію без перерв у виробництві. Сукупні витрати на систему окупилися за 16 місяців: такого ж періоду окупності можна досягти у більшості систем стисненого повітря з трьома і більше компресорами. Таким чином, у великих споживачів стисненого повітря є проста і надійна можливість зменшити свої витрати на електроенергію, як описано нижче:

- потенційні користувачі: будь-яке компресорне відділення з трьома і більше компресорами;
- інвестиційні витрати: загальні витрати, пов'язані з системою, склали 44900 євро, з яких 28300 євро були капітальними витратами (ціни 1991 року);
- досягнуті заощадження: 600000 кВт·год. (2100 ГДж/рік, вартістю 34000 євро/рік (ціни 1991 року);
- період окупності: 1,3 року (безпосередня вигода від контролера); вісім місяців (з урахуванням результуючого зниження витоків).

(1 фунт стерлінгів = 1,415489 євро, 1 січня 1991 року)

На сьогодні необхідні інвестиційні витрати суттєво знизилися, тож капітальні витрати, що становили 28300 євро, у 1998 році склали б лише 5060 євро, а отже, окупилися б менш ніж за три місяці – незважаючи на те, що у 1998 році вартість електроенергії для компанії Land Rover менша.

Довідкова інформація

[113, Програма найкращих практик, 1996]

3.7.5 Регенерація тепла

Опис
Більша частина електроенергії, що споживається промисловим повітряним компресором, перетворюється в тепло, яке потрібно відводити назовні. У багатьох випадках належним чином спроєктована теплоутилізаційна установка здатна регенерувати великий відсоток цієї наявної теплової енергії і використати його для виконання корисної роботи – нагрівання повітря чи води за наявності потреби.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Немає.

Експлуатаційні параметри
Можливі дві різні регенераційні системи:

- нагрівання повітря: компресорні агрегати з повітряним охолодження здатні регенерувати тепло для опалення приміщень, промислового сушіння, підігрівання повітря, що подається на мазутні пальники, або будь-яких інших завдань, які потребують теплого повітря. Навколишнє атмосферне повітря пропускається через охолоджувачі компресора, у яких воно відбирає теплоту від процесу стискання повітря.

Оскільки компресорні агрегати зазвичай встановлені в шафи і вже обладнані теплообмінниками та вентиляторами, у систему потрібно внести лише одну зміну – додати повітропровід і ще один вентилятор для керування навантаженням на повітропровід та усунення зворотного тиску, який може діяти на вентилятор охолодження компресора. Інтенсивність роботи цих систем регенерації тепла можна регулювати за допомогою простого шарнірного вентиляційного клапана з термостатичним регулюванням.

У випадку компресорів з водяним охолодженням регенерація тепла для опалення приміщень менш ефективна, оскільки потрібно додати ще один ступінь теплообміну, а температура наявного тепла нижча. Проте, оскільки багато компресорів з водяним охолодженням досить великі, регенерація тепла для опалення приміщень може виявитися привабливою можливістю;

- нагрівання води: також можна використовувати теплообмінник з метою відбору відхідного тепла від охолоджувачів мастила, якими обладнані компресорні агрегати з повітряним та водяним охолодженням, для виробництва гарячої води. Залежно від конструкції, теплообмінники можуть виробляти технічну або питну воду. Коли гаряча вода не потрібна, мастило спрямовується у стандартний охолоджувач мастила.

Гарячу воду можна використовувати у системах централізованого опалення або котлових системах, душових системах, промислових процесах очищення, процесах нанесення гальванічного покриття, теплових насосах, пральнях або будь-яких інших випадках, у яких потрібна гаряча вода.

Застосовність
Системи регенерації тепла для більшості компресорів пропонуються на ринку як додаткове обладнання – вбудоване в компресорну установку або у вигляді окремого рішення. Існуючу ССП, як правило, можна дуже легко й економно модернізувати. Системи регенерації тепла підходять для компресорів як з повітряним, так і з водяним охолодженням.

Економіка
У теплову енергію перетворюється аж 80 – 95 % електричної енергії, що споживається промисловим повітряним компресором. У багатьох випадках належним чином спроєктована теплоутилізаційна установка здатна регенерувати приблизно 50 – 90 % цієї наявної теплової енергії і використати його для виконання корисної роботи – нагрівання повітря чи води.

Потенційні заощадження енергії залежать від конкретної системи стисненого повітря, умов роботи та способу утилізації.

Теплоти, яке можна регенерувати з системи стисненого повітря, зазвичай недостатньо для безпосереднього виробництва пари.

Зазвичай можна досягти температур повітря, які на 25 – 40 °C перевищують температуру охолоджувального повітря на вході, та температур води від 50 до 75 °C.

Приклад розрахунку заощаджень енергії для гвинтового компресора з вприскуванням оливи наведено у Таблиці 3.25 нижче:

Номінальна потужність компресора	**Теплота, яку можна регенерувати** (приблизно 80 % від номінальної потужності)	**Річне заощадження мазуту** у випадку 4000 годин роботи/рік	**Річне заощадження коштів** за ціни 0,50 євро/л мазуту
кВт	кВт	літри/рік	євро/рік
90	72	36330	18165

Таблиця 3.25. Приклад заощаджень коштів
[168, PNEUROP, 2007]

$$\text{Річні заощадження коштів (євро/рік)} = \frac{\text{номінальна потужність компресора (кВт)} \times 0{,}8 \times \text{години} \frac{\text{роботи}}{\text{рік}} \times \text{вартість мазуту (євро/л)}}{\text{вища теплотворна здатність мазуту (кВт} \cdot \text{год./л)} \times \text{ККД нагрівання мазуту}}$$

Рівняння 3.12

де:

- вища теплотворна здатність мазуту = 10,57 (кВт·год./л)
- ККД нагрівання мазуту = 75 %.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[121, CADDET – Енергоефективність, 1999, 168, PNEUROP, 2007]

3.7.6 Зменшення витоків із системи стисненого повітря

Опис

Зменшення витоків із системи стисненого повітря (ССП) наразі забезпечує найбільший потенційний виграш в енергії. Витоки прямо пропорційні тиску (надлишковому) в системі. Витоки присутні у кожній ССП – не лише під час виробництва, а цілодобово.

У великій системі, яка належним чином обслуговується, втрата продуктивності компресора внаслідок витоків повинна бути меншою, ніж 10 %. Для невеликих систем рекомендується, щоб частка витоків була меншою, ніж 5 %.

Кількість витоків у ССП, яка «склалася історично» і погано обслуговується, може досягати 25 %.

Тому у програмах профілактичного технічного обслуговування для систем стисненого повітря повинні бути передбачені заходи з запобігання витокам та періодичні випробування на наявність витоків. Після того, як витоки були знайдені і відремонтовані, систему слід повторно оцінити. У ході випробувань повинні виконуватися такі дії:

- оцінка величини витоку: усі методи оцінки величини витоку у ССП вимагають, щоб у системі не було потреби: це означає, що всі пристрої, які споживають повітря, вимикаються, щоб уся витрата повітря була обумовлена лише витоком;
- якщо встановлено пристрій вимірювання споживання стисненого повітря, можна виконувати безпосередні вимірювання;
- якщо у ССП використовуються компресори з керуванням пуском / зупинкою, величину витоку можна оцінити шляхом визначення часу роботи (часу під навантаженням) компресора відносно загального часу вимірювання. Для отримання репрезентативного значення потрібно, щоб період вимірювання охоплював принаймні п’ять запусків компресора. Тоді величина витоку, виражена у відсотках від продуктивності компресора, розраховується так:

  Витік (%) = 100 х час роботи / час вимірювання;

- у ССП з іншими стратегіями керування витік можна оцінити, якщо між компресором та системою встановлено клапан. Також потрібно оцінити повний об’єм системи нижче цього клапана і встановити манометр нижче цього клапана;
- після цього у системі створюється робочий тиск (P1), компресор вимикається і клапан закривається. Вимірюється час (t), за який тиск у системі впаде від P1 до меншого тиску P2. Тиск P2 повинен становити близько 50 % від робочого тиску (P1). Тоді витрату витоку можна розрахувати так:
  - Витік ($м^3$/хв.) = об’єм системи ($м^3$) х (P1 (бар) - P2 (бар)) х 1,25/t (хв.)
  - Множник 1,25 – це поправка на зменшення витоку з падінням тиску в системі.
  - Тоді величина витоку, виражена у відсотках від продуктивності компресора, розраховується так:

Витік (%) = 100 х витік ($м^3$/хв.) / об’ємна витрата на вході компресора ($м^3$/хв.)

- зменшення витоку: зупинити витік може бути як просто (наприклад, затягнути з’єднання), так і складно (наприклад, замінити несправне обладнання, як-от муфти, фітинги, ділянки труб, шланги, з’єднання, зливні трубки та відстійники). У багатьох випадках витоки виникають через те, що герметик для різьбових з'єднань був нанесений недбало або неправильно. Обладнання або цілі частини системи, які більше не використовуються, слід ізолювати від робочої частини ССП.

Ще один спосіб зменшити витік – знизити робочий тиск системи. Коли перепад тиску на витоці знизиться, витрата витоку також зменшиться.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Витоки – це не лише марна втрата енергії з системи, а й потенційний чинник інших експлуатаційних втрат. Витоки призводять до падіння тиску в системі, внаслідок чого пневматичні інструменти можуть працювати менш ефективно, а отже, продуктивність знизиться. Крім того, вони змушують обладнання працювати більш частими циклами, а відтак скорочують термін служби практично всього обладнання системи (у тому числі й самого компресорного агрегату). Збільшення часу роботи також може створити потребу у додатковому технічному обслуговуванні і збільшити тривалість незапланованих простоювань. Нарешті, витоки повітря можуть змусити використовувати зайву продуктивність компресора.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Витоки – це суттєве джерело марних втрат енергії у промисловій системі стисненого повітря, на якому іноді втрачається 20 – 30 % продуктивності компресора. На типовій установці, яка не обслуговується належним чином, частка витоків з великою ймовірністю буде дорівнювати 20 % від загальної продуктивності виробництва стисненого повітря.

З іншого боку, завчасне виявлення і ремонт витоків може зменшити витоки до менш ніж 10 % продуктивності компресора, навіть у великих ССП.

Існує кілька методів виявлення витоків:

- пошук джерела чутного шуму, яким супроводжуються великі витоки;
- нанесення мильної води малярною щіткою на підозрілі ділянки;
- використання ультразвукового акустичного детектора;
- відстежування витоків газу за допомогою, наприклад, водню або гелію.

Хоча витік може виникнути в будь-якій частині системи, найбільш поширеними проблемними зонами є:

- муфти, шланги, трубки та фітинги;
- регулятори тиску;
- відкриті конденсатовідвідники та відсічні клапани;
- з’єднання труб, місця роз’єднання та місця нанесення герметика для різьбових з’єднань;
- пневматичні інструменти.

Застосовність
Загалом можна застосовувати до всіх ССП (див. Таблицю 3.23).

Економіка
Витрати на виявлення і ремонт витоків залежать від конкретної ССП та від компетентності бригади технічного обслуговування на установці. Типові заощадження в ССП середнього розміру потужністю 50 кВт будуть такими:

50 кВт x 3000 год./рік x 0,08 євро/кВт x 20 % = 2400 євро/рік

Типові витрати на регулярне виявлення та ремонт витоків – 1000 євро/рік.

Оскільки зменшення витоків широко застосовується (у 80 % випадків) і забезпечує найбільший виграш (20 %), це – найважливіший захід для зменшення споживання енергії системою стисненого повітря.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклад заводу
За даними 1994 року, компанія Van Leer (UK) Ltd у Великій Британії витрачала 179 кВт·год. електроенергії на виробництво 1000 м^3 стисненого повітря вартістю 7,53 євро/1000 м^3. Завдяки заходам зі зменшення витоків річні заощадження енергії склали 189200 кВт·год., тобто, у перерахунку на кошти, 7641 євро/рік. Таким чином, було заощаджено 25 % витрат на постачання стисненого повітря. Вишукування витоків коштувало 2235 євро, а решта – 2874 євро – була витрачена на роботи з усунення витоків (включно з запчастинами та трудовими ресурсами). З заощадженнями у розмірі 7641 євро/рік програма зі зменшення витоків окупилася за дев'ять місяців (1 фунт стерлінгів = 1,314547 євро, 1 січня 1994 року).

Довідкова інформація
[168, PNEUROP, 2007]

3.7.7 Технічне обслуговування фільтра

Опис
Втрати тиску можуть бути зумовлені поганим технічним обслуговуванням фільтрів – як неналежним очищенням, так і тим, що змінні фільтри не заміняються з належною частотою.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
- Заощадження енергії.
- Зниження викидів оливного туману та/або твердих часток.

Міжсередовищні наслідки
Збільшення використання фільтрів та їх викидання як відходів.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Усі ССП.

Економіка
Див. Таблицю 3.23.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація

3.7.8 Живлення компресора (компресорів) прохолодним повітрям знадвору

Опис

Компресорна станція часто буває розташована поблизу основних навантажень, які потребують стисненого повітря, щоб падіння тиску в лініях було меншим. Головна станція нерідко знаходиться під землею або у внутрішніх приміщеннях усередині установки. У таких випадках, як правило, не вистачає свіжого повітря для живлення компресорів, і двигуни змушені стискати навколишнє повітря, температура якого зазвичай вища, ніж температура зовнішнього повітря. З термодинаміки випливає, що для стиснення теплого повітря потрібно більше енергії, ніж для стиснення прохолодного повітря. У технічній літературі було виявлено, що підвищення температури повітря на вході компресора на кожні 5 °C збільшує потрібну потужність на 2 %. Цю енергію можна заощадити, просто живлячи станцію стисненого повітря повітрям знадвору, особливо у холодну пору року, коли різниця між температурами надворі та у приміщенні може у кілька разів перевищувати 5 °C, залежно від місцевості. Для цього можна встановити повітропровід, який буде сполучати надвірне середовище з повітрозабірником компресора або усієї станції стисненого повітря. Залежно від довжини повітропроводу, може бути потрібно встановити вентилятор, і цю енергію слід враховувати під час планування. Надвірний повітрозабірник слід розташувати з північного боку або принаймні там, де він протягом більшої частини часу буде перебувати в тіні.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зменшення споживання первинних енергоресурсів. Компресори зазвичай приводяться в дію електродвигунами.

Міжсередовищні наслідки

Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри

Оскільки компресор виділяє велику кількість тепла, температура у приміщенні на станціях стиснення повітря завжди буде високою, незалежно від того, чи це тепло регенерується. У приміщеннях нерідко можна виявити температури на рівні 30 – 35 °C, навіть взимку. Звісно, чим більша різниця між температурами надворі та у приміщенні, тим більших заощаджень енергії можна досягти; слід пам’ятати, що такі заощадження потрібно множити на години роботи, протягом яких компресори нормально працюють.

Застосовність

Зменшити температуру повітря на вході компресорів шляхом подавання прохолодного повітря знадвору можна завжди. Іноді достатньо прорізати круглий отвір у стіні і встановити повітропровід, який буде сполучати надвірний повітрозабірник із повітрозабірником компресора. Якщо станція стисненого повітря розташована у такому місці, що дістатися до неї знадвору складно, потрібно покращити вентиляцію у приміщенні. Оцінка показує, що цю технологію можна застосувати у 50 % випадків.

Економіка

Зниження температури повітря, що надходить у компресор, має економічні переваги, як-от: живлення прохолодним повітрям безкоштовне; зменшення часу роботи компресорів (заощадження кВт·год.), скорочення електропостачання (заощадження кВт).

У Таблиці 3.26 наведена оцінка заощаджень, яких можна досягти за допомогою цієї технології. Цей приклад взято з реальної енергетичної діагностики.

	Опис	Значення	Одиниця вимірювання	формула,	Зауваження
A	Наявна встановлена потужність компресорів	135	кВт	-	
B	Години роботи/рік за повного навантаження	2000	год./рік	-	
C	Потрібна енергія	270000	кВт·год.	AxB	
D	Досягнуте зниження температури живильного повітря	5	°C	-	Розрахункове значення
E	Заощадження у відсотках	2,00	%	-	З технічної літератури
F	Річні заощадження електроенергії	5400	кВт·год.	CxE	
Г	Ціна за кВт·год.	0,1328	євро/кВт·год.	-	Усереднені дані
H	Річні економічні заощадження	717	євро/рік	FxG	
I	Інвестиції	5000	євро	-	Розрахункове значення для повітропроводу та вентилятора
I	Внутрішня норма рентабельності (IRR) до сплати податків	6,7	%	-	З аналізу витрат та вигод (*)
M	Чистий виграш	536	євро	-	З аналізу витрат та вигод (*)
N	Період окупності	7,0	роки	-	З аналізу витрат та вигод (*)
(*) Для терміну служби 10 років та відсоткової ставки 5 %					

Таблиця 3.26. Заощадження, отримані шляхом живлення компресора прохолодним повітрям знадвору

Рушій для впровадження

- Простота встановлення.
- Заощадження енергії та коштів.

Приклади

Фабрика напівпровідників в Італії.

Довідкова інформація

[229, Ді Франко, 231, Програма з підвищення енергоефективності двигунів, 233, Петрекка, 1992]

3.7.9 Оптимізація рівня тиску

Опис

Чим нижчий рівень тиску стисненого повітря, яке виробляється, тим більш економічно ефективне виробництво. Проте необхідно слідкувати, що усім активним споживачам завжди постачалася достатня кількість стисненого повітря. Удосконалені системи керування дають змогу знизити піковий тиск. В принципі, існує кілька способів «звузити» діапазони тиску, і таким чином знизити тиск стисненого повітря, яке виробляється. Ці можливості перелічені нижче і проілюстровані на Рисунку 3.35:

- Безпосереднє переналаштування за допомогою механічних реле на компресорах. Використання механічних реле тиску – це найдешевший спосіб відрегулювати діапазон тиску компресора. Оскільки налаштування іноді змінюються самі по собі, ці реле керування потрібно час від часу переналаштовувати.
- Інтелектуальне регулювання шляхом використання компресора з частотним перетворювачем або вибору оптимального розміру компресора. Діапазон тиску переналаштовується за допомогою компресора з частотним перетворювачем, який виконує функцію компресора пікового навантаження і адаптує свої приводи швидкості до конкретних потреб у стисненому повітрі, або за допомогою центрального пристрою керування, який перемикається на компресор оптимального розміру.
- Зниження діапазону тиску до самого «граничного значення» (оптимізоване інтелектуальне керування). Інтелектуальна система керування знижує діапазон тиску до точки, яка дасть компресорній мережі змогу працювати якраз над граничним значенням, нижче якого постачання вже було б недостатнім.На Рисунку 3.34 показано відмінність в ефективності цих систем керування.

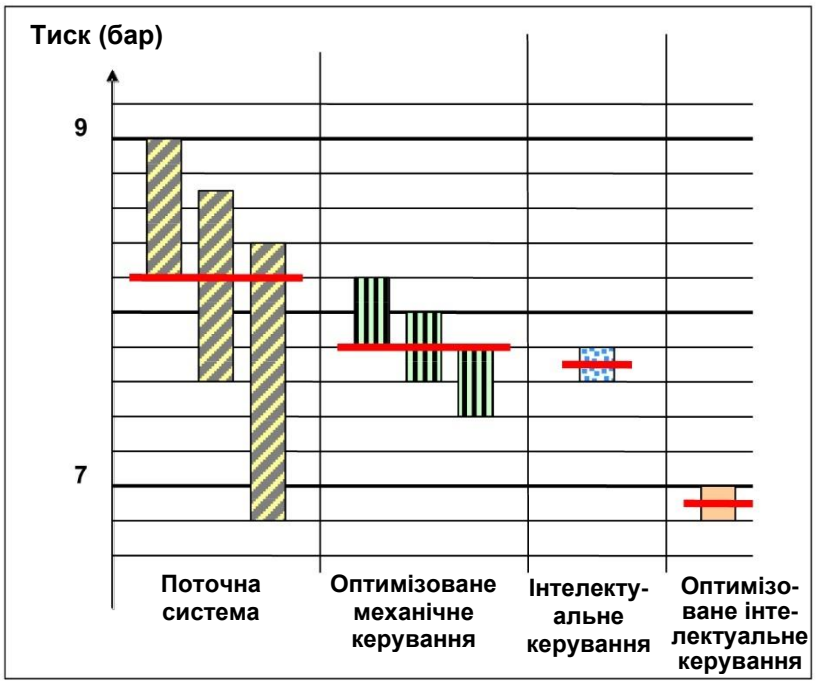


Рисунок 3.34. Різні види керування компресором
[28, Бергер, 2005]

Рисунок 3.34 пояснений нижче:

- Горизонтальні червоні лінії у стовпцях, що відповідають різним системам керування, позначають середній тиск стисненого повітря, яке виробляється.
- Жовті стовпці з діагональною заливкою, зображені для поточних систем, показують, що середній тиск стисненого повітря становить 8,2 бара.
- Зелені стовпці з вертикальною заливкою показують, що механічні реле тиску можна налаштувати на різницю лише у 0,4 бара (тобто це різниця між попередньо заданими нижнім та верхнім граничними значеннями) з огляду на присутні діапазони допуску: таким чином, виробляється стиснене повітря з тиском 7,8 бара. Припускається, що точка, у якій вмикається перший компресор пікового навантаження, залишається незмінною – 7,6 бара.
- Інтелектуальна система керування – блакитні плямисті стовпці – здатна звузити діапазон тиску всієї компресорної станції до 0,2 бара. Ця система керування реагує на швидкість зміни тиску. За умови, що точка увімкнення першого компресора пікового навантаження у майбутньому також залишиться незмінною – на нижній попередньо заданій границі тиску, – середній тиск у цьому випадку становить 7,7 бара.

Тиск у 7,7 бара все ще досить високий порівняно з іншими аналогічними компресорними станціями. Оскільки граничне значення для увімкнення другого компресора пікового навантаження (= наступний компресор) становить 6,8 бара, це значення вважається нижнім граничним значенням для стисненого повітря. Цей тиск збігається з тиском на подібних компресорних станціях. Середній тиск у цьому випадку – 6,9 бара.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
На практиці було продемонстровано, що зниження тиску на 1 бар заощаджує від 6 до 8 % енергії. Зниження тиску також призводить до зменшення витоків.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Керування компресором за допомогою частотно-регульованого привода, яке можна використовувати в інтелектуальній та оптимізованій інтелектуальній системах керування, зазвичай виявляється економічно ефективним лише у випадку придбання нового компресора, оскільки виробники не рекомендують встановлювати частотний перетворювач у вже існуючий компресор.

Економіка
Таким чином, за допомогою оптимізованого інтелектуального керування середній тиск стисненого повітря можна зменшити від 8,2 до 6,9 бара, тобто заощадити 9,1 % енергії. Оптимізація керування потребує лише незначних витрат і може забезпечити заощадження порядку кількох сотень МВт·год./рік, тобто десятків тисяч євро (наприклад, якщо встановлена потужність компресора становить 500 кВт, то у випадку 8700 годин роботи/рік можна заощадити близько 400 МВт·год./рік і близько 20000 євро/рік).

Рушій для впровадження
Заощадження коштів.

Приклади заводів
Завдяки встановленню автоматизованої системи керування компресорами на заводі Land Rover (Велика Британія) витрати на виробництво стисненого повітря знизилися на 18,5 %. Сукупні витрати на систему окупилися за 16 місяців. Також вдалося досягти додаткових заощаджень у розмірі 20 %, відремонтувавши витоки стисненого повітря.

Довідкова інформація
[227, TWG, 244, Програма найкращих практик]

3.7.10 Зберігання стисненого повітря поблизу споживачів з великими коливаннями потреби

Опис
Баки, у яких зберігається стиснене повітря, можна розташувати поблизу частин СПП з великими коливаннями потреби.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Згладжує піки у потребі. Якщо знизити пікову потребу, система потребуватиме менше потужності компресора. Навантаження розподіляються більш рівномірно, і компресори можуть працювати на найбільш ефективних навантаженнях.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
- Слід враховувати у всіх випадках, коли існують споживачі з великими коливаннями потреби.
- Широко застосовується.

Економіка
Зменшення капітальних та поточних витрат.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади заводів
Даних не надано.

Довідкова інформація
Даних не надано.

3.8 Насосні системи

Вступ
На насосні системи припадає близько 20 % усієї світової потреби в електроенергії та від 25 до 50 % споживання енергії у певних операціях промислових установок. Насосні системи широко застосовуються в різних секторах:

- промислова діяльність, наприклад:
- обробка харчових продуктів;
- хімічна промисловість;

- нафтохімічна промисловість;
- фармацевтична промисловість;
- комерційна та сільськогосподарська діяльність;
- комунальне водопостачання / відведення стічних вод;
- побутове застосування.

Насоси поділяються на дві основні групи за способом переміщення рідини: *динамічні* насоси та *об'ємні* насоси. У промисловості більшість насосів приводяться в дію електродвигунами, проте на великих промислових установках також можуть приводитися в дію паровими турбінами (або навіть автономними поршневими двигунами).

Динамічні насоси (зазвичай відцентрові) працюють за рахунок робочих коліс, оснащених лопатями, які обертаються в рідині, надаючи їй тангенціальне прискорення, а відтак збільшуючи її енергію. Призначення насоса – перетворювати цю енергію в енергію тиску рідини, яка повинна використовуватися у відповідній трубопровідній системі. Відцентрові насоси – це, мабуть, найбільш поширені машини у світі після двигунів, і вони є одним із великих споживачів енергії.

Об'ємні насоси змушують рідину рухатися, захоплюючи фіксовану кількість рідини і потім подаючи (витісняючи) цей захоплений об'єм у нагнітальний трубопровід. Об'ємні насоси, у свою чергу, поділяються на:

- роторні насоси (наприклад, пластинчастий насос). Пластинчасті насоси широко застосовуються як гідравлічні насоси високого тиску та в умовах низького вакууму, у тому числі для відкачування рідини з трубопроводів холодоагенту у кондиціонерах повітря;
- поршневі насоси (наприклад, діафрагмові насоси). У діафрагмових насосів хороша висота всмоктування, і деякі з них – це насоси низького тиску з малими витратами. У цих насосів хороші характеристики сухого ходу і низька схильність до зрізання (тобто вони не розбивають тверді частки). Вони здатні перекачувати рідини з високим вмістом твердої речовини, як-от шлами та пульпи, навіть з високим вмістом грубих домішок. Діафрагмові насоси з тефлоновими діафрагмами, кульовими зворотними клапанами та гідравлічними приводами використовуються для подавання точних об'ємів хімічних розчинів під високими тисками (аж до 350 бар) у промислові котли або технологічні резервуари. Діафрагмові насоси можна використовувати, щоб подавати повітря без домішок оливи для медичних, фармацевтичних та харчових цілей.

Енергія та матеріали, що використовуються насосною системою, залежать від конструкції насоса, проєкту установки та способу експлуатації системи. Найдешевшим варіантом, як правило, є відцентрові насоси. Насоси можна використовувати в одноступеневому або багатоступеневому виконанні – наприклад, для створення вищих / нижчих тисків. У відповідальних випадках застосування вони часто використовуються парами з робочого та резервного насоса.

3.8.1 Інвентаризація та оцінка насосних систем

Опис та експлуатаційні характеристики

(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на насосні системи, наведена у розділі 3.8.7).

Перший крок у визначенні застосовних заходів із заощадження енергії та оптимізації насосних систем полягає в тому, щоб скласти інвентаризаційний опис насосних систем на установці з зазначенням їх основних робочих характеристик. Інвентаризацію можна виконувати у два етапи (див. розділ 2.15.1 та Додаток 7.7.3):

- базовий опис системи: складається з записів консультаційної компанії або формується шляхом виконання простих вимірювань з метою збору таких даних:
- перелік, наприклад, 50 найбільших насосів, які споживають енергію (за повною номінальною потужністю насоса): розмір і тип;
- функція кожного насоса;
- споживана потужність кожного з цих насосів;
- профіль потреби: розрахункові коливання протягом доби / тижня;
- тип системи керування;
- кількість годин роботи/рік, а відтак річне споживання енергії;
- проблеми або питання технічного обслуговування, характерні для цього насоса.

У багатьох організаціях не всі ці дані можуть бути зібрані штатним персоналом.

- документування та вимірювання робочих параметрів системи: документування або вимірювання описаних далі елементів бажане для всіх насосних систем і обов'язкове для великих систем (понад 100 кВт). Для збору цих даних потрібні значні технічні знання – штатних інженерних кадрів або третьої сторони.

З огляду на велике розмаїття насосних систем неможливо навести вичерпний список моментів, на які потрібно звертати увагу у ході оцінки, проте у розділах 3.8.2 – 3.8.6 наведено корисний список основних питань, які потрібно розглянути.

3.8.2 Вибір насоса

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на насосні системи, наведена у розділі 3.8.7).

Насос – це серце насосної системи. Його вибір диктується потребами процесу, які в першу чергу можуть стосуватися статичного напору та подачі. Вибір також залежить від системи, рідини, характеристик атмосфери, тощо.

Щоб отримати ефективну насосну систему, насос потрібно вибирати так, щоб його робоча точка була якомога ближчою до точки оптимального ККД, як показано на Рисунку 3.35.

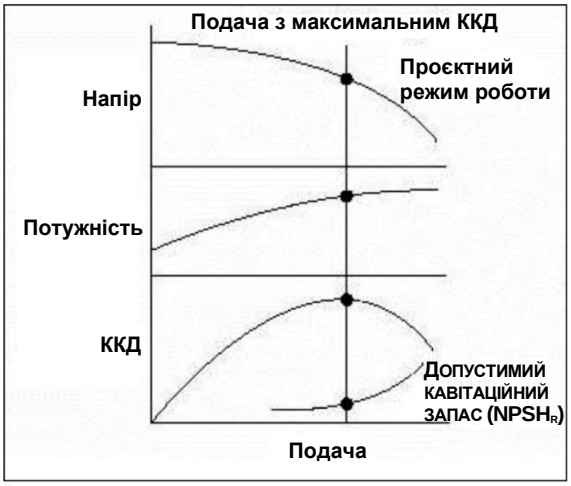


Рисунок 3.35. Напір, потужність і ККД, які відповідають подачі з максимальним ККД [199, ТРГ]

На Рисунку 3.36 показано діапазони повного напору залежно від подачі насоса за заданої швидкості обертання в різних типах насосів.

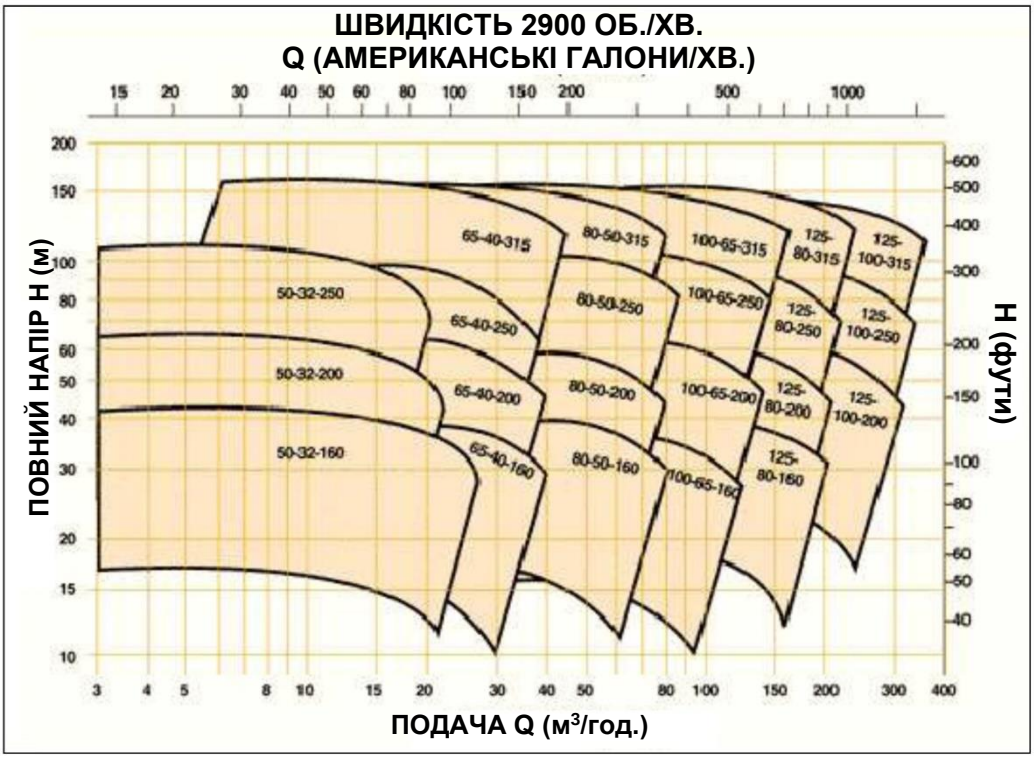


Рисунок 3.36. Залежність напору насоса від подачі [199, ТРГ]

За оцінками, розмір 75 % насосних систем завищений – у багатьох випадках більш ніж на 20 %. Надто великі насоси – це найбільше з окремих джерел марної втрати енергії насоса.

Завищення розміру під час вибору насоса не вигідне ні з економічної точки зору, ні з точки зору енергоефективності, оскільки:

- капітальні витрати будуть великими;
- витрати на енергію будуть великими, оскільки рідина з більшою подачею буде перекачуватися під вищим тиском, ніж потрібно. До марних втрат енергії призводить надто сильне дроселювання, великі витрати перепуску або робота зайвих насосів.

У разі виявлення надто великих насосів необхідно оцінити можливість їх заміни у порівнянні з іншими можливими методами зменшення подачі, як-от обточування чи заміна робочих коліс та/або використання частотно-регульованих пристроїв керування. Обточування робочих коліс відцентрових насосів – це найдешевший спосіб виправлення надто великих насосів. Зменшивши діаметр робочого колеса насоса шляхом обточування або заміни в межах рекомендованих виробником граничних розмірів для конкретного кожуха насоса, можна зменшити напір на 10 – 50 відсотків.

Потребу всієї системи в енергії можна зменшити за допомогою бустерного насоса, який буде забезпечувати подачу рідини під високим тиском до вибраного споживача, у той час як решта системи працюватиме під нижчим тиском та з меншою потужністю.

У Європейських правилах закупівель для водяних насосів наведена проста методика вибору високоефективного насоса з високим ККД для потрібної робочої точки. Цю методику можна завантажити за адресою:
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf

3.8.3 Система трубопроводів

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на насосні системи, наведена у розділі 3.8.7).

Від системи трубопроводів залежить вибір робочих характеристик насоса. Дійсно, щоб отримати насосну установку з потрібними характеристиками, необхідно об’єднати характеристики системи трубопроводів з характеристиками насосів, як показано на Рисунку 3.37 нижче.

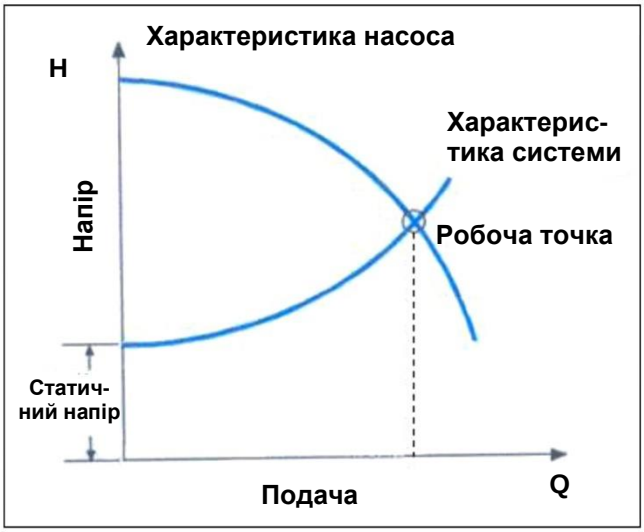


Рисунок 3.37. Залежність напору насоса від подачі

Споживання енергії, безпосередньо пов'язане з системою трубопроводів, зумовлене втратами на тертя рідини, яка переміщається, у трубах, клапанах та іншому обладнанні системи. Ці втрати пропорційні квадрату подачі. Втрати на тертя можна мінімізувати, наприклад, у такі способи:

- не використовувати надто багато клапанів;
- не влаштовувати у системі трубопроводів надто багато вигинів (особливо крутих вигинів);
- прослідкувати, щоб діаметр трубопроводу не був надто малим.

3.8.4 Технічне обслуговування

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на насосні системи, наведена у розділі 3.8.7).

Якщо насос потребує надмірного технічного обслуговування, це може означати, що:

- у насосах виникає кавітація;
- насоси сильно зносилися;
- насоси не підходять для такої роботи.

Якщо насоси доводиться дроселювати за сталого напору та подачі означає, що продуктивність насоса надто велика. Падіння тиску на регулювальному клапані – це марна втрата енергія, яка пропорційна падінню тиску та подачі.

Шум від насоса, як правило, є ознакою кавітації внаслідок сильного дроселювання або надмірної подачі. Шум від регулювальних клапанів або перепускних клапанів зазвичай є ознакою великого падіння тиску і, відповідно, великих втрат енергії.

Робочі характеристики та ККД насоса погіршуються з часом. Продуктивність та ККД насоса знижуються у міру збільшення внутрішніх витоків через появу надто великих просвітів між зношеними компонентами насоса: кришка, робоче колесо, дросельні втулки, відкачувальні кільця, підшипники ковзання. Ці ситуації можна виявити за допомогою контрольного випробування, яке допоможе вибрати розмір меншого робочого колеса – нового або обточеного існуючого, – щоб заощадити величезну кількість енергії. Якщо робочі характеристики суттєво змінилися, внутрішні просвіти потрібно відновити.

Втрати на тертя можна зменшити шляхом нанесення покриття на насос.

3.8.5 Керування та регулювання насосної системи

Опис та експлуатаційні характеристики
(Інформація, яка стосується пунктів «Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти», «Міжсередовищні наслідки», «Застосовність», «Економіка», «Рушії для впровадження», «Приклади» та «Довідкова інформація» для технологій енергоефективності, розрахованих на насосні системи, наведена у розділі 3.8.7).

Насос може застосовуватися у такий спосіб, який передбачає кілька робочих точок: у цьому випадку номінальний режим роботи визначається за найбільшою подачею та/або напором з-поміж цих точок. Щоб оптимізувати умови робочого режиму для конкретного напору та подачі, у насосній системі важливо передбачити систему керування та регулювання. Вона забезпечує:

- керування технологічним процесом;
- підвищення надійності системи;
- заощадження енергії.

Якщо у будь-якому насосі з великими коливаннями подачі або тиску нормальні подачі або тиски менші, ніж 75 % від їх максимального значення, то енергія, імовірно, буде марно втрачатися внаслідок надто сильного дроселювання, великих витрат перепуску (із системи керування або отворів, передбачених для захисту у випадку перекриття зливу насоса) або роботи зайвих насосів.

Можна застосовувати такі технології керування:

- вимкнути зайві насоси. До цього очевидного заходу – яким, однак, часто нехтують – можна вдатися у випадку, якщо в установці значно скоротилося споживання води чи іншої робочої рідини насоса (тому потрібно оцінити всю систему);
- частотно-регульовані приводи (на електродвигуні) забезпечують максимальні заощадження шляхом узгодження подачі насоса з різними вимогами системи, проте вони потребують більших інвестиційних витрат порівняно з іншими методами керування регулювання продуктивності. Для деяких ситуацій вони не підходять – наприклад, якщо навантаження сталі (див. розділ 3.6.3);
- використання кількох насосів – це альтернатива регулюванню частоти обертання, регулюванню перепуску або дросельному регулюванню. Заощадження досягаються завдяки тому, що один чи кілька насосів можна вимкнути, якщо подача системи стала низькою, у той час як інші насоси будуть працювати з високим ККД. Можливість використання кількох невеликих насосів слід розглянути, якщо навантаження на насосну систему менше, ніж половина максимальної продуктивності одного насоса. У насосних системах з кількома насосами енергія зазвичай втрачається внаслідок перепускання надлишку подачі, роботи зайвих насосів, підтримання надмірного тиску або надто великого приросту подачі між насосами;
- регулювання відцентрового насоса шляхом дроселювання насоса на лінії нагнітання (за допомогою клапана) призводить до марної втрати енергії. Однак дросельне регулювання, як правило, марнує менше енергії, ніж два інші поширені альтернативні рішення: відсутність регулювання та регулювання перепуску. Таким чином, дросельні пристрої можуть бути засобом заощадження енергії насоса, хоча це й не оптимальний вибір.

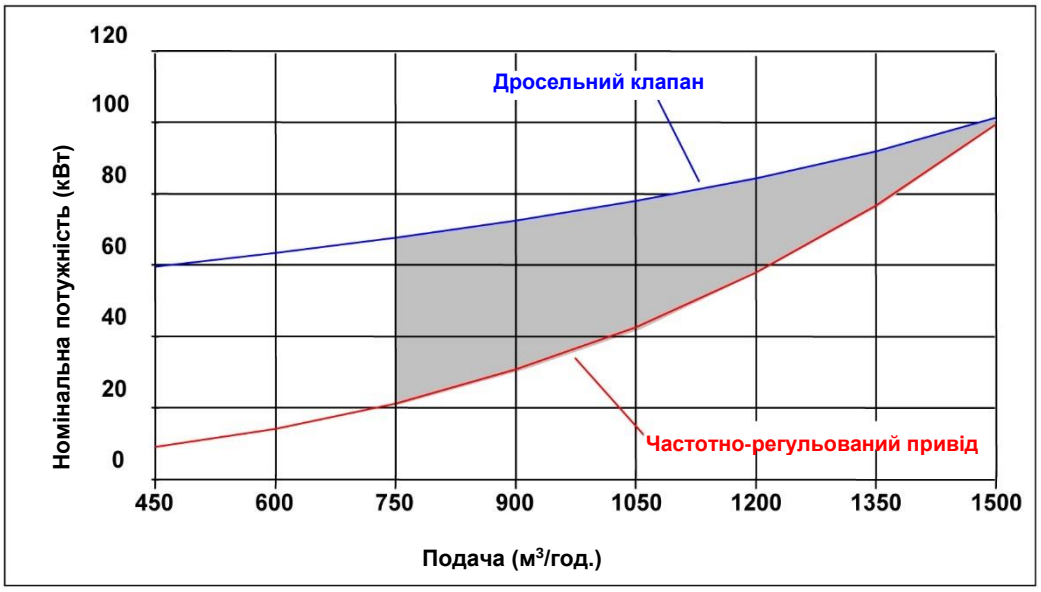


Рисунок 3.38. Приклад споживання енергії динамічним насосом у випадку двох систем регулювання насоса

3.8.6 Двигун та силова передача

Див. «Підсистеми з приводом від електродвигуна», розділ 3.6. Зверніть увагу, що при виборі належного насоса для конкретного завдання (див. розділ 3.8.2) слід враховувати правильний розмір двигуна з огляду на вимоги до роботи насоса (робочий режим насоса), див. розділ 3.6.2.

3.8.7 Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти, міжсередовищні наслідки, застосовність та інші міркування для технологій підвищення енергоефективності насосних систем

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Деякі дослідження показали, що від 30 до 50 % енергії, яка споживається насосними системами, можна було б заощадити шляхом внесення змін в обладнання або систему керування.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Застосовність
Застосовність конкретних заходів і те, наскільки можна заощадити кошти, залежить від розміру та специфіки установки і системи. Щоб визначити, котрі заходи забезпечать належне співвідношення витрат і вигод, необхідно виконати оцінку системи та установки. Це може зробити кваліфікований постачальник послуг для насосних систем або кваліфікований штатний інженерний персонал.

У висновках за результатами оцінки будуть визначені заходи, які можна застосувати до системи, а також буде наведено оціночні розрахунки заощаджень, вартість заходів та період окупності.

Економіка
Термін служби насосних систем часто становить 15 – 20 років, тому важливо зіставити вартість життєвого циклу з початковою вартістю (вартістю придбання).

Хоча насоси зазвичай купуються як окремі компоненти, вони виконують свої функції лише під час роботи у складі системи, тому для правильної оцінки співвідношення витрат і вигод важливо враховувати всю систему.

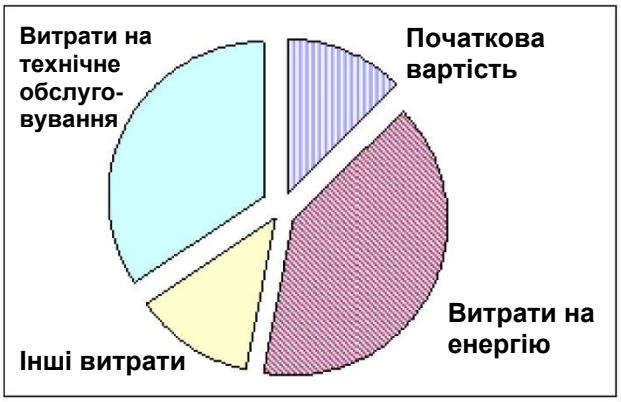


Рисунок 3.39. Типова вартість життєвого циклу промислового насоса середнього розміру [200, TPГ]

Рушій для впровадження
Заощадження енергії та коштів.

Приклади
Технології оптимізації широко застосовуються.

Довідкова інформація
[170, Європейська комісія, 2003, 199, ТРГ, 200, ТРГ]

3.9 Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВіК)

Вступ
Типова система ОВіК складається з обігрівального або охолоджувального обладнання (стосовно котлів див. розділ 3.2; стосовно теплових насосів див. розділ 3.3.2, тощо), насосів (розділ 3.8) та/або вентиляторів, мереж трубопроводів, чилерів (розділ 3.3.3) і теплообмінників (розділ 3.3.1), які передають або поглинають теплоту з навколишнього простору або технологічного процесу. Схема системи ОВіК зображена на Рисунку 3.40.

Дослідження показали, що близько 60 % енергії у системі ОВіК споживаються чилером / тепловим насосом, а решта 40 % – периферійним обладнанням.

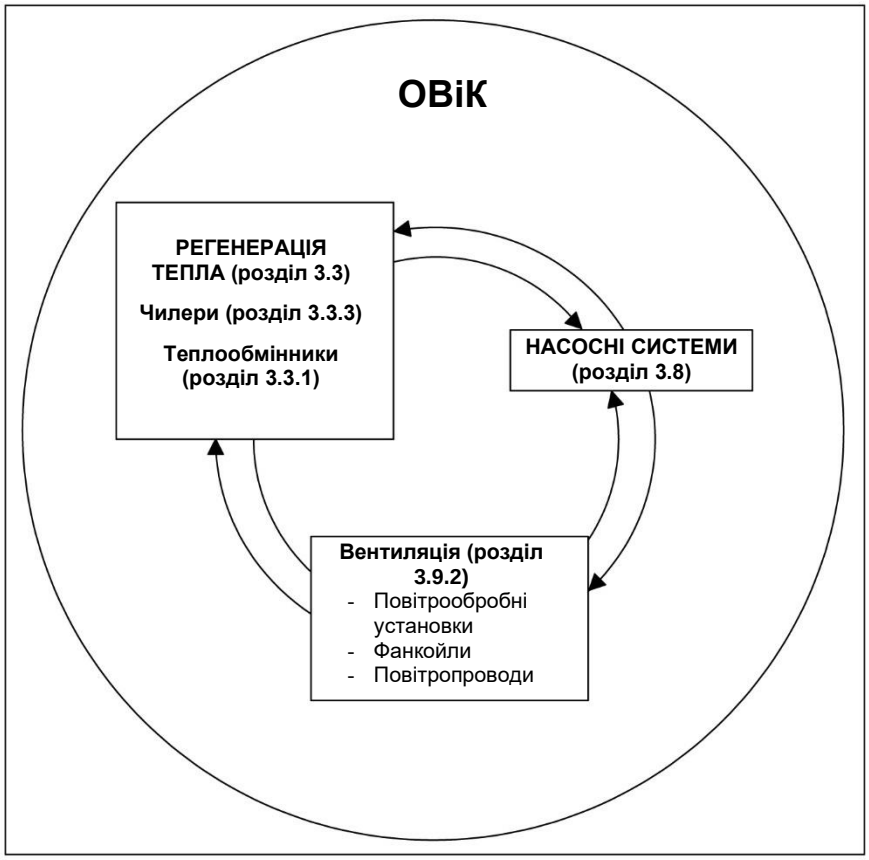


Рисунок 3.40. Схема системи ОВіК

3.9.1 Обігрівання та охолодження приміщень

Опис
На установках, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, виконується велике розмаїття діяльності з обігрівання та охолодження приміщень. Призначення та спосіб використання таких систем залежить від сектору та району Європи. Вони використовуються:

- для підтримання прийнятних робочих умов;
- для збереження якості продукції (наприклад, холодні приміщення);
- для збереження якості вхідних матеріалів та їх придатності для обробки – наприклад, закриті зони зберігання відходів у Скандинавії, запобігання корозії після обробки компонентів у галузях поверхневої обробки металів.

Ці системи можуть бути місцевими (наприклад, інфрачервоні обігрівачі обладнання в зонах зберігання) або централізованими (наприклад, системи кондиціювання повітря в офісах).

На обігрівання / охолодження приміщень витрачається значна кількість енергії. Наприклад, у Франції ця цифра складає близько 30 ТВт·год., тобто майже 10 % споживання палива. У промислових будівлях досить часто підтримуються високі температури обігрівання, які без проблем можна було б знизити на 1 чи 2 °C; і навпаки, при охолодженні часто підтримуються температури, які можна було б підвищити на 1 чи 2 °C без погіршення комфорту. Ці заходи означають зміни для працівників, тому їх слід впроваджувати разом з проведенням інформаційної кампанії.

Заощаджень енергії можна досягти у два способи:

- зниження потреб в обігріванні / охолодженні за допомогою таких заходів:
- ізоляція будівлі;
- ефективне скління;
- зменшення підсмоктування повітря;
- автоматичне закривання дверей;
- усунення розшарування повітря у приміщенні;
- використання нижчих налаштувань температури у невиробничі періоди (програмоване регулювання);
- зниження уставок;
- покращення ефективності систем обігрівання за допомогою таких заходів:
- регенерація або використання відхідного тепла (див. розділ 3.3);
- використання теплових насосів;
- використання радіаційних та місцевих систем обігрівання у поєднанні зі зниженням температури у безлюдних зонах будівель.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Знизивши уставку температури на 1°C у випадку обігрівання та збільшивши її на 1°C у випадку кондиціювання повітря, можна зменшити споживання енергії приблизно на 5 – 10 %, залежно від середньої різниці між температурою у приміщенні та температурою надворі. При підвищенні температур кондиціювання повітря зазвичай заощаджується більше, оскільки різниці температур зазвичай вищі. Ці дані узагальнені, а фактичні заощадження у різних регіонах будуть різними залежно від клімату.

Обмеживши обігрівання / охолодження у невиробничі періоди на заводі, який працює 8 годин на день, можна скоротити споживання електроенергії на 40 %. Якщо обігрівання обмежити, і водночас знизити постійну температуру в безлюдних зонах, а в зонах, у яких перебувають люди, використовувати місцеве радіаційне обігрівання, можна заощадити майже 80 % залежно від частки території, на якій перебувають люди.

Застосовність
Температури можуть визначатися іншими критеріями – наприклад, мінімальними нормативними температурами для персоналу, максимальними температурами для підтримання якості продукції у випадку харчових продуктів.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[278, ADEME], [234, PROMOT, 260, ТРГ, 2008]

3.9.2 Вентиляція

Вступ
Вентиляційна система необхідна для належної роботи багатьох промислових установок. Вона:

- захищає персонал від забруднюючих речовин і теплового випромінювання на території об’єкта;
- підтримує чисту робочу атмосферу для захисту якості продукції.

Вентиляційна установка – це система, що складається з багатьох компонентів, які взаємодіють між собою (див. Рисунок 3.41). Наприклад:

- повітряна система (повітрозабірник, розподільник, транспортна мережа);
- вентилятори (вентилятори, двигуни, системи силової передачі);
- системи керування та регулювання вентиляції (зміна витрати, централізоване технічне керування (СТМ), тощо);
- пристрої регенерації енергії;
- повітроочисники;
- та різні типи вентиляційних систем, які може бути обрано (загальна вентиляція, спеціальна вентиляція, з кондиціюванням повітря або без нього, тощо).

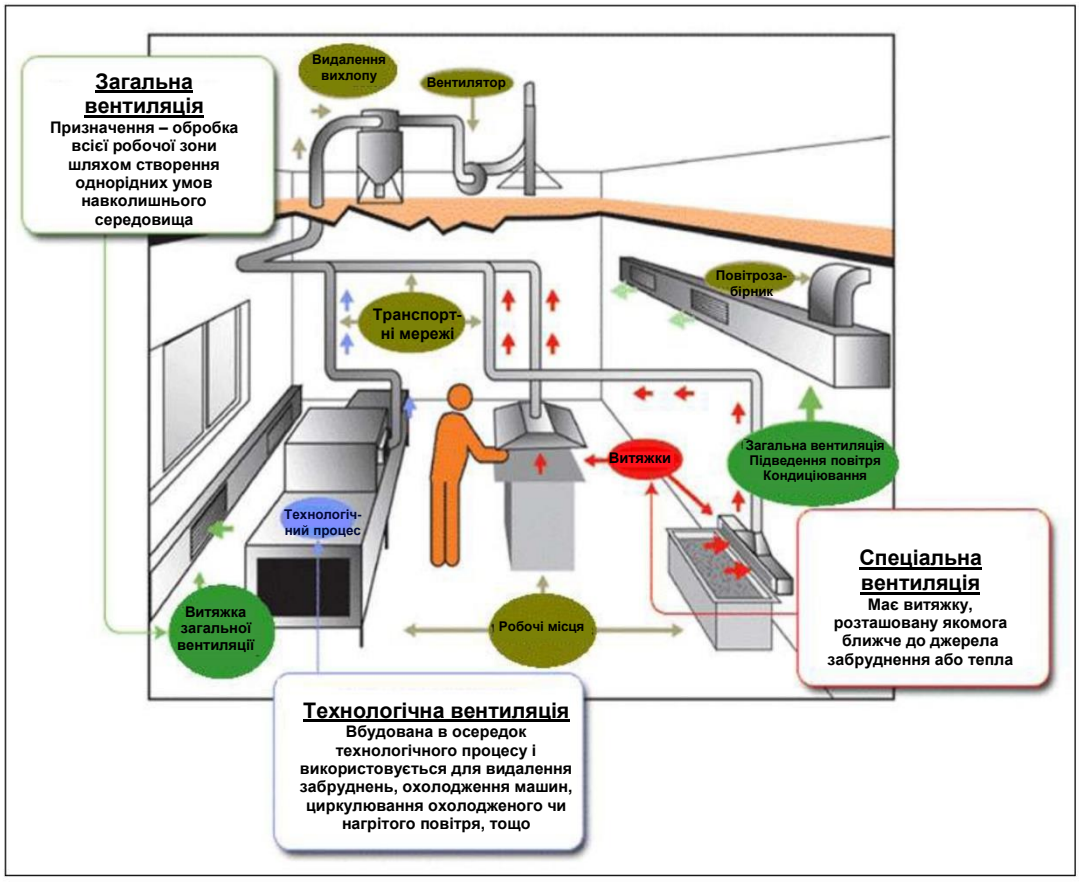


Рисунок 3.41. Вентиляційна система

3.9.2.1 Оптимізація проєкту нової або модернізованої вентиляційної системи

Опис

Чітке уявлення про вимоги до вентиляційної системи допоможе робити правильні вибори і вибрати правильний проєкт. Ці вимоги можуть бути такими:

- забір чистого повітря;
- підтримання умов навколишнього середовища (температури, тиску, вологості, тощо) для покращення комфорту та здоров'я на робочих ділянках або для захисту продукції;
- транспортування матеріалів;
- видалення диму, пилу, вологи та/або небезпечних речовин.

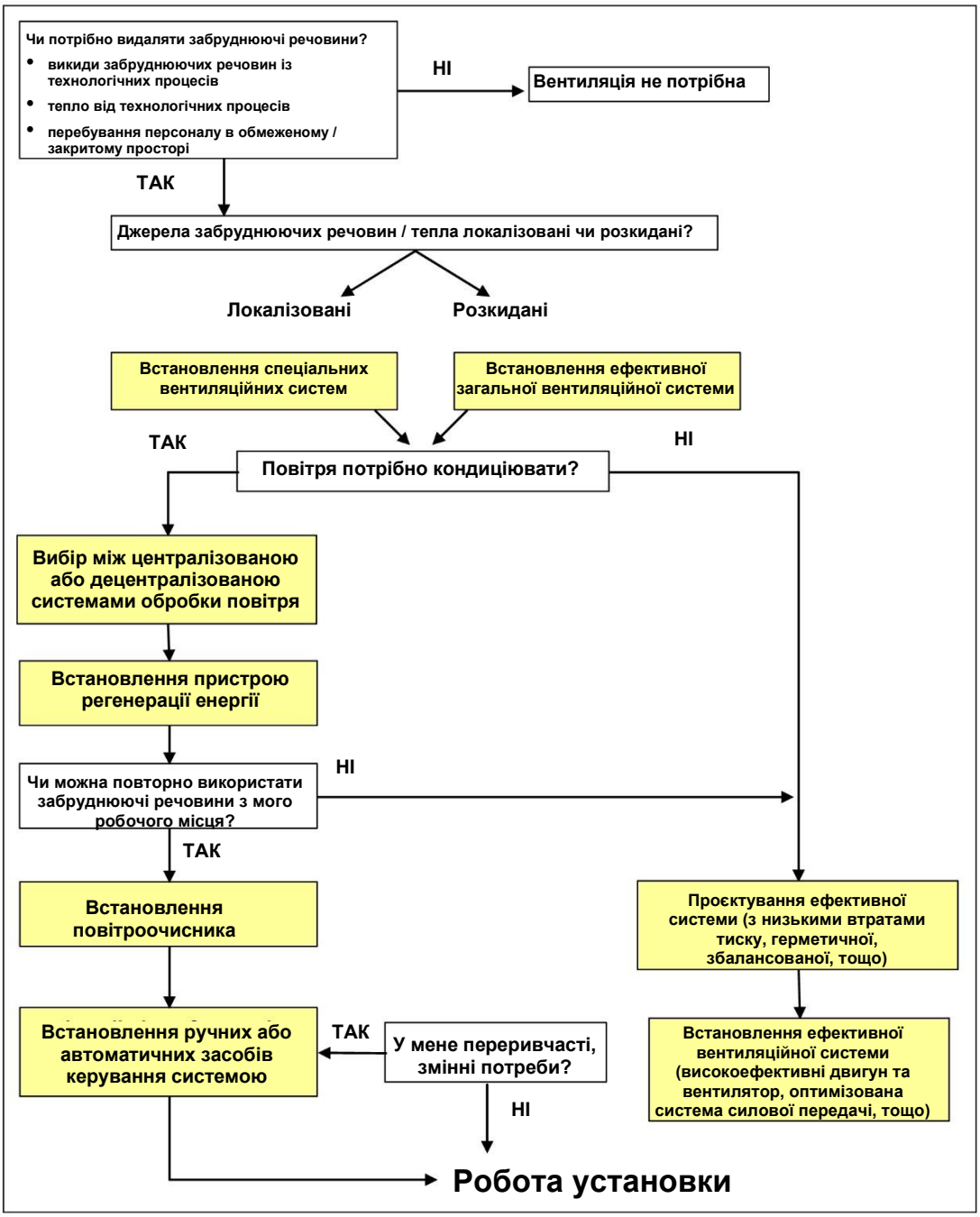


Рисунок 3.42. Блок-схема оптимізації споживання енергії у вентиляційних системах

На взаємодії між компонентами та їх взаємний вплив – особливо між вентилятором та системою повітропроводів – може припадати значний відсоток втрат у конкретному контурі. Тому проєктування системи потребує узгодженого підходу, щоб система відповідала як функціональним технічним вимогам, так і вимогам щодо оптимальної енергоефективності.

Можна використовувати вентиляційні системи таких типів (див. Рисунок 3.41):

- *загальна вентиляція*: ці системи використовуються для заміни повітря у робочих зонах великого об'єму. Можна застосовувати кілька типів вентиляційних систем чистого повітря – залежно від приміщень, які вентилюються, характеру забруднення і того, чи потрібне кондиціювання повітря. Основним чинником, який впливає на споживання енергії, є витрата. Чим нижча витрата, тим менше споживання енергії;

- *спеціальна вентиляція*: ці вентиляційні системи призначені для видалення викидів якомога ближче до їх джерела. На відміну від загальних вентиляційних систем, вони націлені на локалізовані викиди забруднюючих речовин. Перевагою цих систем є те, що вони уловлюють забруднюючі речовини, як тільки ті викидаються, за допомогою спеціальних витяжок, і запобігають їх поширенню по робочій зоні. Вони мають такі переваги:

    - не допускають контакту забруднюючих речовин з операторами;
    - не потребують оновлення всього повітря у робочій зоні.

У обох випадках вилучене повітря може бути потрібно очистити, перш ніж викидати в атмосферу (див. Довідковий документ з НДТМ для загальних систем переробки / керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі – CWW).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
За оцінками, 10 % споживання електроенергії у компаніях припадає на вентиляційні системи. Якщо також використовується кондиціювання повітря, частка вентиляції разом з кондиціюванням повітря у корпоративному бюджеті, виділеному на енергію, може бути навіть більшою.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри

- *Вентилятори:* вентилятори – це важливе джерело споживання електроенергії на установці. Їх тип, розмір та засоби керування є важливими чинниками з точки зору енергії. Зверніть увагу: якщо вибрати високоефективний вентилятор правильно розміру, він може виявитися меншим, а отже, вдасться заощадити на ціні його придбання. При проєктуванні або модифікації установки найважливішими є такі моменти:

    - вентилятор з високим номінальним ККД: максимальний ККД вентиляторів зазвичай становить 60 – 85 %, залежно від типу вентилятора. Виробники розробляють лінійки ще ефективніших вентиляторів;
    - вентилятор, розрахований на роботу якомога ближче до його оптимального навантаження: ККД окремого вентилятора може варіюватися залежно від його робочого навантаження. Тому вкрай важливо вибирати для установки вентилятор належного розміру, щоб він працював якомога ближче до його максимального ККД;

- *повітряна система:* щоб проєкт повітряної системи був енергоефективним, він повинен відповідати певним умовам:

    - діаметр повітропроводів повинен бути достатньо великим (збільшення діаметра на 10 % може знизити поглинання потужності на 72 %);
    - повітропроводи з круглим перерізом, у яких втрати тиску менші, кращі, ніж трубопроводи з такою ж площею перерізу, але прямокутним перерізом;
    - слід уникати довгих трас та перешкод (вигинів, звужених ділянок, тощо);
    - необхідно переконатися, що система герметична, особливо в місцях стиків;
    - необхідно прослідкувати, щоб система була збалансована на етапі проєктування, аби гарантувати забезпечення всіх «користувачів» необхідною вентиляцією. Якщо система балансується після того, як вона була встановлена, у деяких повітропроводах доведеться встановити одностулкові заслінки, які збільшать втрати тиску та енергії;

- *електродвигуни (та їх зчеплення з вентиляторами):* потрібно вибрати правильний тип та розмір двигуна (див. підсистеми з приводом від електродвигуна у розділі 3.6);

- *керування витратою повітря:* витрата повітря – це основний параметр з точки зору споживання енергії вентиляційними системами. Наприклад, якщо витрата зменшується на 20 %, вентилятор споживатиме на 50 % менше потужності. Більшості вентиляційних установок не потрібно постійно працювати з максимальним навантаженням. Тому важливо, щоб робочу швидкість вентилятора можна було регулювати залежно, наприклад, від таких умов:

    - виробництво (кількість, тип продукту, машина увімкнена / вимкнена, тощо);
    - період часу (рік, місяць, день, тощо);
    - перебування людей у робочій зоні.

Вкрай важливо аналізувати потреби за допомогою детекторів присутності, годинника та засобів керування, які орієнтуються на технологічний процес, і спроєктувати керовану вентиляційну установку.

«Припливно-витяжна» вентиляція, у якій поєднується приплив (забір свіжого повітря) та витяжка (видалення забрудненого повітря), забезпечує краще керування витратою повітря і легше регулюється – наприклад, за допомогою технологічної системи керування кондиціюванням повітря та регенерацією енергії. Можна встановити автоматичні засоби керування, які будуть керувати вентиляційною системою за різними параметрами (виміряними, заданими, тощо) та оптимізувати її роботу в кожен момент часу.

Існує багато технологій зміни витрати повітря відповідно до потреби, але не всі вони однаково енергоефективні:

- електронні засоби регулювання швидкості дають змогу адаптувати робоче навантаження вентиляторів і водночас оптимізувати споживання енергії двигуном, а відтак досягти значних заощаджень енергії;
- зміна кута нахилу лопатей пропелерних вентиляторів також може суттєво заощадити енергію;

- *система регенерації енергії:* якщо у приміщеннях, які вентилюються, є система кондиціювання повітря, замінене повітря потрібно повторно кондиціювати, а на це витрачається велика кількість енергії. За допомогою систем регенерації енергії (теплообмінників) можна регенерувати частину енергії, що міститься у забрудненому повітрі, вилученому з робочої зони. При виборі системи регенерації енергії слід звернути увагу на такі три характеристики:

    - термічний ККД;
    - втрата тиску;
    - поведінка у разі засмічення;

- *фільтрування повітря:* повітряний фільтр дає змогу повторно використовувати повітря у приміщеннях, які вентилюються. Завдяки цьому зменшується витрата повітря, яке потрібно замінювати і повторно кондиціювати, а отже, заощаджується значна кількість енергії. Повітряний фільтр бажано передбачати на етапі проєктування вентиляційної установки, оскільки додаткові витрати на цьому етапі будуть досить невеликими у порівнянні з випадком, коли фільтр встановлюється на пізнішому етапі. Необхідно перевірити, чи можна повторно використати уловлені фільтром забруднюючі речовини. Якщо це можливо, важливо знати такі параметри:

- ефективність повторного використання;
- втрата тиску;
- поведінка фільтра у разі засмічення.

З приводу покращення роботи існуючої установки див. розділ 3.9.2.2.

Застосовність
Можна застосовувати до всіх нових систем або при модернізації.

Економіка
Для більшості установок, на яких проводився аудит, було виявлено потенційні заощадження енергії у розмірі 30 % від її споживання. Існує багато можливих заходів, період окупності яких часто не перевищує 3 роки.

Рушій для впровадження
- Охорона здоров'я та безпечні умови на робочому місці.
- Заощадження коштів.
- Якість продукції.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[202, Інститут фільтрування та технологій розділення (IFTS), CMI, 1999]

3.9.2.2 Удосконалення існуючої вентиляційної системи в межах установки

Опис
Слід пам'ятати, що покращення ефективності вентиляційної системи також іноді покращує:

- комфорт та безпеку персоналу;
- якість продукції.

Існуючу вентиляційну систему можна вдосконалити на трьох рівнях:

- оптимізація роботи установки;
- впровадження плану технічного обслуговування та моніторингу для установки;
- інвестиції в більш ефективні технічні рішення.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії, які досягаються після оптимізації всіх параметрів вентиляційної системи, зменшують рахунок за енергію, пов'язаний з її роботою, у середньому на величину порядку 30 %.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Енергетична діагностика (комплексний аудит)
Знання установки – це необхідна передумова для вдосконалення її роботи. Діагностика установки дає змогу:

- оцінити роботу вентиляційної системи;
- визначити витрати на виробництво стисненого повітря;

- виявити неполадки, якщо вони є;
- вибрати нову установку належного розміру.

Технічне обслуговування та моніторинг установки
Споживання енергії вентиляційною системою під час виконання одних і тих же функцій збільшується з часом. Щоб система залишалася ефективною, необхідно здійснювати її моніторинг і за необхідності виконувати роботи з технічного обслуговування: це суттєво заощадить енергію і водночас подовжить термін служби системи. Ці роботи можуть охоплювати таке:

- проведення кампаній з виявлення та ремонту витоків у системі повітропроводів;
- регулярна заміна фільтрів, особливо у повітроочисних пристроях, оскільки:
  - у зношеному фільтрі дуже різко зростає втрата тиску;
  - ефективність фільтра у видаленні часток погіршується з часом;
- перевірка дотримання стандартів охорони праці і техніки безпеки, пов'язаних із видаленням забруднюючих речовин;
- регулярне вимірювання та реєстрація основних значень установки (споживання електроенергії та втрата тиску у пристроях, витрата повітря).

Експлуатація
- Миттєві заходи:
  - припинити вентиляцію або зменшити її інтенсивність там, де це можливо. Споживання енергії вентиляційною установкою напряму пов'язане з витратою повітря. Витрата повітря залежить від:
    - присутності операторів;
    - кількість джерел забруднення і типів забруднюючих речовин;
    - інтенсивність і розповсюдження забруднень від кожного джерела забруднення;
  - замінити засмічені фільтри;
  - усунути витоки в повітряній системі;
  - якщо повітря кондиціюється – перевірити налаштування і переконатися, що вони відповідають конкретним потребам.

- Прості дієві заходи:
  - обладнати робочі місця належними спеціальними витяжками;
  - оптимізувати кількість, форму та розмір витяжок для видалення забруднюючих речовин, щоб зменшити (наскільки це можливо) витрату повітря, необхідну для видалення забруднюючих речовин (див. Довідковий документ з НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію – STM);
  - розглянути можливість автоматичного регулювання витрати вентиляції залежно від фактичної потреби. Існує багато способів такого регулювання:
    - передбачити регулювання вентиляції машиною, коли та зупиняється і запускається (цю функцію у більшості випадків виконують металорізальні верстати та зварювальні пальники, оснащені вакуумною системою);
    - передбачити автоматичне спрацювання вентиляції у разі викиду забруднюючих речовин. Наприклад, коли в обробну ванну кладеться деталь, інтенсивність викидів забруднюючих речовин змінюється. Вентиляція у цьому випадку може прискорюватися на період, поки у ванну занурені деталі, а решту часу працювати зі зниженою інтенсивністю;
    - закривати ванни або баки, коли вони не використовуються, вручну або автоматично (див. Довідковий документ з НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію – STM).

Зверніть увагу, що у випадках, коли витрата регулюється, необхідно переконатися, що умови у всіх режимах роботи залишаються сприятливими для здоров'я.

- системи повітропроводів необхідно збалансувати, щоб не допустити надто інтенсивної вентиляції у певних точках. Балансування може виконуватися спеціалізованою компанією.

- Економічно ефективні заходи:
  - оснастити вентилятори, які працюють зі змінною витратою, електронним засобом регулювання швидкості (ESC);
  - встановити високоефективні вентилятори;
  - встановити такі вентилятори, щоб їх оптимальне робоче навантаження відповідало конкретним потребами установки;
  - встановити високоефективні двигуни (наприклад, з маркуванням EFF1);
  - інтегрувати засоби керування вентиляційною системою у систему централізованого технічного керування (CTM);
  - встановити контрольно-вимірювальні прилади (витратоміри, лічильники електроенергії) для моніторингу роботи установки;
  - дослідити, чи можна інтегрувати повітряні фільтри у систему повітропроводів та пристрої регенерації енергії, щоб уникнути великих втрат енергії при видаленні забрудненого повітря;
  - дослідити, чи можна модифікувати всю вентиляційну систему і розбити її на загальну вентиляцію, спеціальну вентиляцію та технологічну вентиляцію.

Застосовність
Можна застосовувати до всіх існуючих систем.

Економіка
Для більшості установок, на яких проводився аудит, було виявлено потенційні заощадження енергії у розмірі 30 % від її споживання. Існує багато можливих заходів, період окупності яких часто не перевищує два роки.

Рушій для впровадження
- Охорона здоров’я та безпечні умови на робочому місці.
- Заощадження коштів.
- Якість продукції.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[202, Інститут фільтрування та технологій розділення (IFTS), CMI, 1999]

3.9.3 Природне охолодження (фрікулінг)

Опис
Охолодження, яке використовується у промислових процесах та/або при кондиціюванні повітря, можна удосконалити з точки зору енергоефективності шляхом застосування технологій *природного охолодження (фрікулінгу)*. Природне охолодження відбувається, якщо ентальпія навколишнього повітря надворі менша, ніж ентальпія повітря у приміщенні. Воно називається *безкоштовним (free)*, оскільки у ньому використовується навколишнє повітря.

Цей корисний безкоштовний ресурс можна безпосередньо або опосередковано передати системі, яка потребує охолодження. На практиці, як правило, використовуються опосередковані способи. Загалом вони мають вигляд систем витяжки-рециркуляції повітря (див. Рисунок 3.43). Регулювання здійснюється за допомогою автоматичних клапанів з плавною характеристикою: коли надворі доступне прохолодне повітря (тобто коли температура надворі за мокрим термометром падає нижче потрібної уставки охолодженої

води), клапани автоматично збільшують забір прохолодного повітря і водночас скорочують до мінімуму внутрішню рециркуляцію, щоб максимально використовувати природне охолодження. Використовуючи технології, подібні до цієї, можна частково відмовитися від використання холодильного обладнання у певні пори року та/або вночі. Існують різні технічні можливості вигідно використати природне охолодження. На Рисунку 3.43 зображена можлива схема простої установки, у якій використовується природне охолодження.

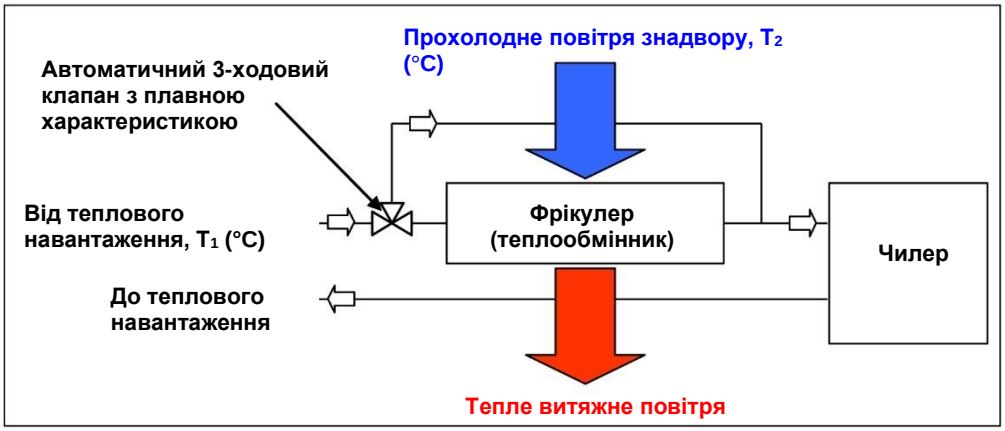


Рисунок 3.43. Можлива схема реалізації природного охолодження

Вода, що повертається від теплового навантаження і прямує у чилер, автоматично відхиляється у фрікулер за допомогою 3-ходового клапана. У фрікулері вода попередньо охолоджується: це зменшує теплове навантаження на чилер та споживання енергії компресорами. Чим нижча температура навколишнього середовища відносно температури зворотної води, тим сильніший ефект природного охолодження, і тим більші заощадження енергії.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Чилери, як правило, приводяться в дію електродвигунами, а іноді – ендотермічними приводами, тому зменшується споживання первинних енергетичних ресурсів.

Міжсередовищні наслідки
Не відомо жодних.

Експлуатаційні параметри
Природне охолодження є сенс розглядати у тих випадках, коли температура навколишнього середовища принаймні на 1 °C нижча, ніж температура води на виході теплового навантаження, тобто на вході в чилер. Наприклад, як показано на Рисунку 3.43, якщо T_1 (температура води, що повертається від теплового навантаження) дорівнює 11 °C, природне охолодження працюватиме, коли T_2 (температура повітря надворі) впаде нижче 10 °C.

Застосовність
Природне охолодження можна застосовувати за певних обставин: для опосередкованого теплообміну необхідно, щоб температура навколишнього повітря була нижчою, ніж температура холодоагенту, який повертається в чилер; для безпосереднього теплообміну необхідно, щоб температура повітря надворі була нижчою або дорівнювала потрібній температурі. Також необхідно враховувати додаткове місце, яке може знадобитися для обладнання.

За оцінками, цю технологію можна застосувати у 25 % випадків.

Теплообмінники для природного охолодження можна додати до існуючих систем охолодженої води та/або передбачити у нових системах.

Економіка
Застосування технологій природного охолодження має ряд економічних переваг, як-от: джерело холоду безкоштовне; скорочується час роботи компресорів, внаслідок чого заощаджується енергія за рахунок того, що з електромережі більше не споживаються кВт·год.; зменшуються витрати на постачання електроенергії.

Можливість використання природного охолодження зазвичай краще досліджувати під час планування проєкту для нової системи або системи, яка модернізується. Нова система може окупитися всього за 12 місяців; період окупності для модернізованих агрегатів може бути до 3 років.

Рушій для впровадження
- Простота встановлення.
- Заощадження енергії та коштів.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[240, Харді (Hardy), 241, Coolmation]

3.10 Освітлення

Опис
На штучне освітлення припадає значна частина всієї електроенергії, що споживається у світі. У офісах на освітлення витрачається від 20 до 50 відсотків усієї спожитої енергії. Найголовніше, що у деяких будівлях понад 90 відсотків енергії, витраченої на освітлення, можуть бути зайвою витратою, зумовленою надмірним використанням освітлення. Таким чином, освітлення – це на сьогодні критична складова споживання енергії, особливо у великих офісних будівлях та в інших масштабних випадках застосування, у яких є багато варіантів використання енергії для освітлення.

Існує кілька технологій, за допомогою яких можна мінімізувати потребу в енергії у будь-якій будівлі:

а) визначення потреб кожної зони в освітленні.

Це базовий принцип, яким керуються, щоб визначити, скільки освітлення потрібно для конкретного завдання. Типи освітлення класифікуються за призначенням як загальне, місцеве або цільове освітлення – залежно головним чином від розподілу світла, яке дає світильник. Звісно, для освітлення пішохідної доріжки потрібно значно менше світла, ніж для автоматизованого робочого місця. У цілому кількість витраченої енергії пропорційна проєктному рівню освітленості. Наприклад, для робочого середовища з приміщеннями для нарад та конференц-залами може бути вибрано рівень освітленості у 800 люкс, а для коридорів будівлі – у 400 люкс:

- загальне освітлення призначене для загального освітлювання зони. У приміщенні це може бути звичайна лампа на столі чи на підлозі або світильник на стелі. Надворі загальне освітлення автомобільної стоянки може давати лише 10 – 20 люкс, оскільки пішоходам та водіям, які вже призвичаїлися до темряви, потрібно небагато світла, щоб перейти територію;
- цільове освітлення переважно функціональне і зазвичай найбільш зосереджене – як-от для читання або огляду матеріалів. Наприклад, для читання нерозбірливого друку на продукції може бути потрібне цільове освітлення з рівнем освітленості до 1500 люкс, а для деяких операцій огляду або хірургічних процедур потрібні ще вищі рівні освітленості.

b) аналіз якості та проєкту освітлення

- планування приміщень у поєднанні з проєктуванням інтер'єру (включно з вибором поверхонь інтер'єру та геометрії приміщень) з метою оптимізації використання природного освітлення. Посилене використання природного освітлення не лише скоротить споживання енергії, а й буде сприятливо впливати на здоров'я та працездатність людей;
- планування діяльності таким чином, щоб оптимізувати використання природного освітлення;
- врахування спектрального складу освітлення, необхідного для всіх видів діяльності, що потребують штучного освітлення;
- вибір тих типів світильників та ламп, у яких втілені найкращі доступні технології енергозбереження.

Існують, зокрема, такі типи електричного освітлення:

- *лампи розжарення:* електричний струм проходить по тонкій нитці, нагріваючи її і збуджуючи її атоми, внаслідок чого вона випромінює світло. Нитка поміщена у скляну колбу, яка захищає гарячу нитку від руйнування під дією кисню, що міститься в повітрі. Перевагою ламп розжарювання є те, що їх можна виготовляти для великого розмаїття напруг – від усього кількох вольт до кількох сотень вольт. Оскільки світлова віддача ламп розжарювання порівняно слабка, у багатьох сферах застосування їх поступово витісняють люмінесцентні лампи, високоінтенсивні розрядні лампи, світловипромінювальні діоди (світлодіоди) та інші пристрої;
- *дугові лампи або газорозрядні лампи:* дугова лампа – це загальне найменування класу ламп, у яких світло випромінює електрична дуга (або дуговий розряд). Лампа складається з двох електродів, зазвичай виготовлених із вольфраму, між якими знаходиться газ. У таких лампах, як правило, використовується інертний газ (аргон, неон, криптон чи ксенон) або суміш цих газів. Більшість ламп містить додаткові матеріали, як-от ртуть, натрій та/або галогеніди металів. Звичайна люмінесцентна лампа – це насправді ртутна дугова лампа низького тиску, у якій внутрішня поверхня колби вкрита фосфором, що випромінює світло. Високоінтенсивні розрядні лампи працюють з більшими струмами, ніж люмінесцентні лампи, і різновидів цих ламп багато – залежно від матеріалу, який в них використовується. Блискавку можна вважати різновидом природної дугової лампи, або принаймні імпульсної лампи. Тип лампи часто носить ім'я газу, яким наповнена колба: це може бути, зокрема, неон, аргон, ксенон, криптон, натрій, галогенід металу або ртуть. Найбільш поширені дугові або газорозрядні лампи – це:
  - люмінесцентні лампи;
  - металогалогенні лампи;
  - натрієві лампи високого тиску;
  - натрієві лампи низького тиску.

Електрична дуга у дуговій або газорозрядній лампі складається з газу, який спочатку іонізується напругою і завдяки цьому стає електропровідним. Для увімкнення дугової лампи зазвичай потрібна дуже висока напруга, щоб «запалити» або «збудити» дугу. Для цього потрібен електричний ланцюг, який іноді називають «підпалювачем»: він входить до складу більшого ланцюга, який називають «баластом». Баласт подає в лампу належну напругу та струм залежно від зміни її електричних характеристик з температурою та часом. Баласт зазвичай розрахований на підтримання безпечних умов роботи та сталу світловіддачу протягом усього терміну служби лампи. Температура дуги може досягати кількох тисяч градусів Цельсія. Дугова або газорозрядна лампа має довгий термін служби та високу світлову ефективність, проте її складніше виготовити, і в ній потрібна електроніка, щоб забезпечувати правильне протікання струму крізь газ;

- *сірчані лампи:* сірчана лампа – це високоефективна повноспектральна безелектродна освітлювальна система, у якій світло випромінює плазма сірки, збуджена електромагнітним випромінюванням. Час розігрівання сірчаної лампи помітно коротший, ніж у інших газорозрядних ламп, крім люмінесцентних ламп, навіть за низьких температур навколишнього середовища. Вона досягає 80 % свого остаточного світлового потоку за двадцять секунд (відео), і її можна повторно вмикати приблизно через п'ять хвилин після вимкнення живлення;

- *світловипромінювальні діоди, у тому числі органічні світловипромінювальні діоди (OLED):* світловипромінювальний діод (світлодіод) – це напівпровідниковий діод, який випромінює некогерентне світло у вузькому спектрі. Однією з основних переваг освітлення за допомогою світлодіодів є його висока ефективність, виміряна за світловіддачею на одиницю підведеної потужності. Якщо матеріалом випромінювального шару світлодіода є органічна сполука, такий світлодіод називається органічним світловипромінювальним діодом (OLED). У порівнянні зі звичайними світлодіодами, органічні світлодіоди легші, а полімерні світлодіоди можуть бути ще й гнучкі. Обидва типи світлодіодів вже увійшли в комерційний вжиток, проте на промисловому рівні їх застосування досі обмежене.

Як видно з Таблиці 3.27, наведеної нижче, ефективність різних типів ламп разюче різниться.

Назва	**Оптичний спектр**	**Номінальна світлова віддача (лм/Вт)(1)**	**Термін служби (середній наробіток між відмовами, MTBF) (години)**	**Колірна температура(2) (Кельвіни)**	**Колір**	**Індекс передавання кольору(4)**
Лампа розжарювання	Безперервний	12 – 17	1000 – 2500	2700	Теплий білий (жовтуватий)	100
Галогенова лампа	Безперервний	16 – 23	3000 – 6000	3200	Теплий білий (жовтуватий)	100
Люмінесцентна лампа	Лінійний спектр ртуті + фосфор	52 – 100	8000 – 20000	2700 – 5000	Білий (із зеленуватим відтінком)	15 – 85
Металогалогенна лампа	Квазібезперервний	50 – 115	6000 – 20000	3000 – 4500	Холодний білий	65 – 93
Натрієва лампа високого тиску	Широкосмуговий	55 – 140	10000 – 40000	1800 – 2200(3)	Рожевуватий оранжевий	0 – 70
Натрієва лампа низького тиску	Вузька лінія	100 – 200	18000 – 20000	1800(3)	Жовтий, практично без кольоропередачі	0
Сірчана лампа	Безперервний	80 – 110	15000 – 20000	6000	Блідо-зелений	79
Світловипромінювальні діоди		20 – 40	100000		(Бурштинове та червоне світло)	
		10 – 20			(Синє та зелене світло)	
		10 – 12			(Білий)	

(1) 1 лм = 1 кд·ср = 1 люксм[1] (2) Колірна температура – це, за визначенням, температура абсолютно чорного тіла, яке випромінює спектр цього ж кольору. (3) Ці спектри досить відрізняються від спектрів абсолютно чорних тіл. (4) Індекс передавання кольору (CRI) – це міра здатності джерела світла відтворювати кольори різних предметів, які освітлюються джерелом.

Таблиця 3.27. Характеристики та ефективність різних типів освітлення

Найбільш ефективним джерелом електричного світла є натрієва лампа низького тиску. Вона випромінює майже монохроматичне оранжеве світло, яке спотворює сприйняття

кольору. Тому ці лампи, як правило, використовуються виключно для надвірного освітлення у громадських місцях. Світлове забруднення від натрієвих ламп можна легко відфільтрувати – на відміну від широкосмугових або безперервних спектрів.

Дані про різні варіанти, як-от типи освітлення, доступні у Програмі екологічного освітлення (GreenLight). Це добровільна профілактична ініціатива, яка заохочує нежитлових споживачів електроенергії (державних та приватних), що іменуються «Партнерами», зобов'язатися перед Європейською комісією встановити на своїх об'єктах енергоефективні технології освітлення, якщо (1) це рентабельно, і (2) якість освітлення не погіршиться або навіть покращиться.

c) керування освітленням;

- акцент на використанні систем керування освітленням, до складу яких входять датчики присутності, таймери, тощо, з метою зменшення споживання освітлення;
- навчання людей, які перебувають у будівлі, максимально ефективно користуватися освітлювальною апаратурою;
- технічне обслуговування освітлювальних систем з метою мінімізації марних втрат енергії.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Деякі типи ламп – наприклад, ртутно-парові лампи та люмінесцентні лампи – містять токсичні хімічні речовини, як-от ртуть або свинець. Після завершення їх терміну служби ці лампи необхідно правильно переробити або утилізувати.

Експлуатаційні параметри
Важливо забезпечити належну інтенсивність освітлення та кольоровий спектр для кожного завдання та середовища. Якщо цього не зробити, це може призвести не лише до марних втрат енергії: надмірне освітлення може шкодити здоров'ю і чинити несприятливий психологічний вплив – наприклад, призводити до частих головних болів, завдавати стресу і підвищувати кров'яний тиск. Крім того, сліпуче або надто інтенсивне світло може погіршувати ефективність роботи працівників. Виявлено зв'язок між штучним нічним освітленням та нерегулярними менструальними циклами.

Щоб оцінити ефективність, можна побудувати базові моделі та моделі після встановлення за методами, які відповідають варіантам вимірювання та верифікації (M&V) A, B, C та D, описаним у Таблиці 3.28.

Варіант вимірювання та верифікації	Як розраховуються заощадження	Витрати
Варіант A. Орієнтується на фізичне вимірювання змін в обладнанні з метою перевірки відповідності установки технічним вимогам. Ключові показники ефективності (наприклад, потужність освітлення у ватах) визначаються за допомогою точкових або короткотермінових вимірювань, а робочі показники (наприклад, кількість годин роботи освітлення) задаються на базі аналізу хронологічних даних або точкових / короткотермінових вимірювань. Показники ефективності та правильність роботи вимірюються або перевіряються щороку	Інженерні розрахунки за допомогою точкових або короткотермінових вимірювань, комп'ютерних моделювань та/або хронологічних даних	Залежно від кількості точок вимірювання. Приблизно 1 – 5 % витрат на будівництво за проєктом
Варіант B. Заощадження визначаються після завершення проєкту за допомогою короткотермінових або безперервних вимірювань, виконаних протягом терміну дії контракту на рівні пристрою або системи Здійснюється моніторинг як показників ефективності, так і робочих показників	Інженерні розрахунки за виміряними даними	Залежно від кількості та типу систем, у яких виконуються вимірювання, та терміну аналізу / вимірювання Зазвичай 3 – 10 % витрат на будівництво за проєктом
Варіант C. Заощадження визначаються після завершення проєкту на рівні всієї будівлі або об'єкта на базі показів лічильника або сублічильника комунальних послуг за поточний рік та за минулі періоди	Аналіз показів лічильника (або сублічильника) комунальних послуг за допомогою різних технологій – від простого порівняння до багатовимірного (погодинного або помісячного) регресійного аналізу	Залежно від кількості та складності параметрів в аналізі. Зазвичай 1 – 10 % витрат на будівництво за проєктом
Варіант D. Заощадження визначаються шляхом моделювання компонентів об'єкта та/або всього об'єкта	Калібраційна імітація / моделювання енергії; калібрується за погодинними або помісячними даними рахунків за комунальні послуги та/або показами лічильників кінцевого використання	Залежно від кількості та складності систем, що оцінюються. Зазвичай 3 – 10 % витрат на будівництво за проєктом

Таблиця 3.28. Досяжні заощадження на системах освітлення

Єдиний розділ протоколу, який стосується освітлення, відтворений у цьому розділі. Весь протокол з докладнішою інформацією можна заощадити за адресою: http://www.evo-world.org/.

Застосовність
Такі технології, як визначення вимог до освітлення у кожній заданій зоні використання, планування діяльності з метою оптимізації використання природного освітлення, вибір типів світильників і ламп згідно зі спеціальними вимогами щодо їх призначення і керування освітленням, можна застосовувати до всіх установок, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень. Інші заходи, як-от комплексне планування приміщень з метою оптимізації використання природного освітлення, можна застосовувати лише до нових установок або установок, які модернізуються.

Економіка
У інвестиціях за Програмою екологічного освітлення (GreenLight) використовуються перевірені технології, продукти та послуги, які здатні зменшити витрату енергії на освітлення на 30 – 50 % з нормою рентабельності від 20 до 50 %.

Окупність можна розрахувати за допомогою методик, викладених у Довідковому документі з економічних та міжсередовищних наслідків (ECM).

Рушій для впровадження
- Охорона здоров'я та техніка безпеки на робочому місці.
- Заощадження енергії.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[209, Вікіпедія, 210, Європейська комісія, 2000] [210, Європейська комісія, 2000, 238, Хокен (Hawken), 2000, 242, ДіЛуї (DiLouie), 2006] [211, ADEME, 1997, 212, BRE, Велика Британія, 1995, 213, Європейська комісія, 214, Європейська комісія, 1996, 215, Ініціативи ICLEI (Органи місцевого самоврядування для сталого розвитку), 1993, 216, Ініціативи ICLEI, 1995, 217, П'ємонт (Piemonte), 2001, 218, Всесвітня асоціація з питань ефективного використання енергії, 1997, 219, Інститут диверсифікації та енергозбереження (IDAE)]

3.11 Сушіння, сепарація та концентрування

Вступ
Сушіння – це енергоємний процес. Тут він розглядається разом з технологіями сепарації та концентрування, оскільки енергія заощаджується шляхом використання різних технологій або їх поєднань.

Тепло може передаватися за рахунок конвекції (сушарки з безпосереднім нагріванням), теплопровідності (контактні сушарки або сушарки з опосередкованим нагріванням), теплового випромінювання, як-от інфрачервоне, мікрохвильове випромінювання або високочастотні електромагнітні поля (радіаційні сушарки), або за допомогою поєднання цих процесів. Більшість промислових сушарок – конвекційні, з гарячим повітрям або газоподібними продуктами прямого спалювання у якості сушильного середовища.

Сепарація – це процес розділення суміші принаймні на два потоки різного складу (це можуть бути потоки двох продуктів або потоки продукту та відходу). Таким чином, технологія сепарації полягає у виділенні та ізоляції бажаних продуктів від суміші, яка містить різні речовини або чисту речовину у кількох фазах або з кількома розмірами фракцій. Як варіант, її можна використовувати для розділення потоків відходів – див. Довідковий документ з НДТМ для загальних систем переробки / керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі (CWW).

Процес сепарації протікає у роздільному пристрої, у якому градієнт розділення створюється роздільником. У цьому розділі методи сепарації класифікуються за різними принципами сепарації та роздільниками, які в них використовуються.

Цей розділ не покликаний вичерпно описати кожну технологію сепарації, а натомість зосереджується головним чином на тих питаннях, які мають більший потенціал для заощадження енергії. Щоб знайти докладнішу інформацію про конкретний метод, див. пункт «Довідкова інформація».

Класифікація методів сепарації:

- підведення енергії у систему:
  детальну класифікацію цих технологій можна організувати за різними типами енергії, що підводиться до системи, переліченими нижче:
  - теплота (випаровування, сублімація, сушіння);
  - випромінювання;
  - тиск (механічна рекомпресія пари);
  - електроенергія (електрофільтрація газів, електродіаліз);
  - магнетизм (використання магнітів) (див. чорні та кольорові метали, Довідковий документ з НДТМ для викидів зі складів – EFS – стосовно неметалів);
  - кінетична енергія (розділення центрифугуванням) або потенційна енергія (декантація);
- відведення енергії з системи:
  - охолодження або замерзання (конденсація, осадження, кристалізація, тощо);
- механічні бар'єри:
  - фільтри або мембрани (нано-, ультра- або мікрофільтрація, проникнення газу, просіювання);
- інше:
  - фізико-хімічні взаємодії (розчинення / осадження, адсорбція, флотація, хімічні реакції);
  - відмінності в інших фізичних або хімічних властивостях речовин, як-от густина, полярність, тощо.

Згадані раніше принципи сепарації або роздільники можна використовувати у поєднанні в кількох процесах і таким чином отримати гібридні технології сепарації. Прикладами таких технологій є:

- дистиляція (випаровування та конденсація);
- випаровування через напівпроникну перегородку (випаровування та мембрана);
- електродіаліз (електричне поле та іонообмінна мембрана);
- циклонна сепарація (кінетична енергія та потенційна енергія).

3.11.1 Вибір оптимальної технології або поєднання технологій

Опис

При виборі технології сепарації часто можливі кілька рішень. Вибір залежить від характеристик початкової сировини та необхідних продуктів на виході, а також інших обмежень, пов'язаних з типом установки та сектором. У процесу сепарації також є власні обмеження. Технології можна застосовувати поетапно – наприклад, два або більше ступенів однієї і тієї ж технології або поєднань різних технологій.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Мінімізація споживання енергії. Якщо можна використовувати два або більше ступенів сепарації чи операцій попередньої обробки, можна заощадити значну кількість енергії (див. пункт «Приклади» нижче).

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Перш ніж вибирати технологію сепарації, потрібно врахувати деякі чинники, пов'язані з початковим матеріалом, кінцевим продуктом або технологічним процесом, а саме:

- початковий матеріал:
  - тип, форма:
    - рідина;
    - пастоподібний;
    - зернистий, порошкоподібний;
    - волокнистий;
    - плоский;
    - стрічка;
    - вже сформований;
  - механічна крихкість;
  - термочутливість;
  - вміст вологи;
  - витрата / кількість, яку потрібно обробляти;
  - якщо застосовно:
    - форма та розмір;
    - розмір крапель;
    - в'язкість;

- технічні характеристики кінцевого продукту:
  - вміст вологи;
  - форма та розмір;
  - якість:
    - колір;
    - окиснення;
    - смак;

- технологічний процес:
  - періодичний / безперервний;
  - джерела тепла:
    - викопне паливо (природний газ, мазут, вугілля, тощо);
    - електроенергія;
    - відновлювані джерела (сонячна енергія, деревина, тощо);
  - механізм теплопередачі:
    - конвекція (гаряче повітря, перегріта пара);
    - теплопровідність;
    - теплове випромінювання (механізми випромінювання: інфрачервоне, мікрохвилі, високочастотне);
  - максимальна температура;
  - потужність;
  - час перебування;
  - механічні операції з продуктом.

Необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування, щоб визначити найкраще (найкращі) рішення з технічної, економічної, енергетичної та екологічної точки зору. Потрібно точно встановити такі вимоги:

- параметри початкових матеріалів та продуктів (масові та витратні характеристики), особливо вміст вологи у продукті: останні відсотки вологи зазвичай важче визначити, тому на них витрачається найбільше енергії;
- перелік усіх наявних засобів інженерного забезпечення (електроенергія, холодопостачання, стиснене повітря, пара, інші джерела холоду або тепла) та їх характеристики;
- наявний простір, який може знадобитися;
- можлива попередня обробка;
- потенціал для регенерації відхідного тепла у технологічному процесі;
- обладнання та джерела засобів інженерного забезпечення з високою енергоефективністю (високоефективні двигуни, використання відхідного тепла, тощо).

Потрібно виконати порівняльний аналіз пропозицій за технічними, економічними, енергетичними та екологічними критеріями:

- в межах одних і тих же границь включно з засобами інженерного забезпечення, очищенням стоків, тощо;
- з урахуванням кожного чинника впливу на навколишнє середовище (повітря, вода, відходи, тощо);
- з урахуванням технічного обслуговування та надійності;
- з обчисленням часу та вартості навчання операторів.

Споживання енергії деякими процесами сепарації, вказаними для різних розмірів часток, показане на Рисунку 3.44.

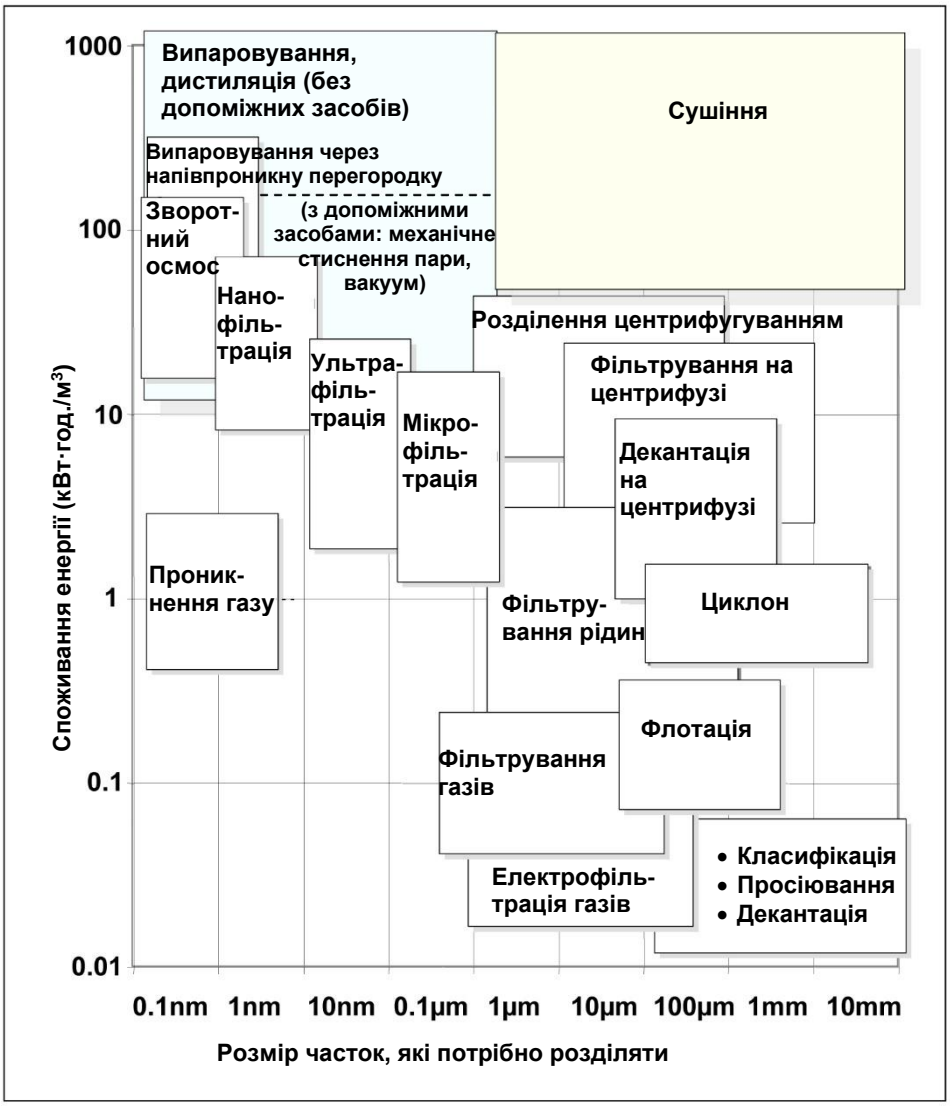


Рисунок 3.44. Споживання енергії деякими процесами сепарації [248, ADEME, 2007]

Застосовність

Визначення належних технологій можна застосовувати у всіх випадках. Нове обладнання зазвичай встановлюється з огляду на співвідношення витрат і вигод та/або з міркувань якості чи продуктивності виробництва.

Економіка

Даних не надано.

Рушій для впровадження

- Зменшення витрат.
- Якість продукції.
- Продуктивність технологічного процесу.

Приклади

При висушуванні рідин (наприклад, при сушінні розпиленням) у якості попередньої обробки може застосовуватися фільтрування через мембрану (зворотний осмос, нанофільтрація, ультрафільтрація чи мікрофільтрація). При фільтруванні через мембрану споживається на 1 – 3 порядки менше енергії, ніж при сушінні випарюванням, і цю технологію можна використовувати у якості першого ступеня попередньої обробки.

Наприклад, у молочній промисловості молоко таким чином можна концентрувати до вмісту вологи 76 %, перш ніж сушити його розпиленням.

Довідкова інформація
[201, Дреш (Dresch) – ADEME, 2006]

3.11.2 Механічні процеси

Опис
Механічні процеси можуть споживати на кілька порядків менше енергії у порівнянні з процесами термічного сушіння – див. Рисунок 3.44.

Поки матеріал, який сушиться, це дозволяє, рекомендується використовувати переважно механічні процеси первинної сепарації, щоб зменшити кількість енергії, яка споживається у всьому процесі. У цілому більшість продуктів можна попередньо обробити механічно настільки, щоб середній вміст вологи (відношення рідкої маси рідини, яку потрібно видалити, до маси сухої речовини) знизився до 40 – 70 %. На практиці використання механічного процесу обмежується допустимими навантаженнями на матеріал та/або економічно ефективним часом зливання рідини.

Іноді механічні процеси також рекомендується застосовувати перед термічною обробкою. При висушуванні розчинів або суспензій (наприклад, при сушінні розпиленням) у якості попередньої обробки може застосовуватися фільтрування через мембрану (зворотний осмос, нанофільтрація, ультрафільтрація чи мікрофільтрація). Наприклад, у молочній промисловості молоко таким чином можна концентрувати до вмісту вологи 76 %, перш ніж сушити його розпиленням.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Даних не надано.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[202, IFTS, CMI, 1999]

3.11.3 Технології термічного сушіння

3.11.3.1 Розрахунок потреб в енергії та ефективності

Опис

Сушіння – це широко вживаний метод у багатьох секторах промисловості. У системі сушарки вологий матеріал спочатку нагрівається до температури випаровування води, а потім вода випаровується за сталої температури.

$$Q_т = (c_G m_G + c_W m_W)\Delta T + m_D \Delta H_V \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.13}$$

де:

- $Q_т$ = корисна вихідна потужність у кВт·год./год.
- m_G, m_W = масові витрати сухої речовини та частки води в матеріалі у кг/с
- ΔT = зміна температури при нагріванні у Кельвінах
- m_D = кількість води, що випаровується за одиницю часу, у кг/с
- c_G, c_W = питомі теплоємності сухої речовини та частки води в матеріалі у кДж/(кг·К)
- ΔH_V = теплота випаровування води за відповідної температури випаровування (приблизно 2300 кДж/кг за 100 °C).

Випаруваний об'єм води зазвичай виноситься з сушильної камери повітрям. Споживану потужність $Q_{сп}$, необхідну для нагрівання об'єму вхідного повітря (за вирахуванням корисного виходу теплоти $Q_т$), можна розрахувати за Рівнянням 3.14.

$$Q_{сп} = V_{Ссп} \Delta T_{сп} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.14}$$

де:

- $Q_{сп}$ = споживана потужність, необхідна для нагрівання вхідного повітря, у кВт·год./год. (втрати на тепловий вихлоп)
- V = витрата вхідного повітря у $м^3$/год.
- $c_{сп}$ = питома теплоємність повітря (приблизно 1,2 кДж/$м^3$·К) за температури 20 °C і тиску 1013 мбар)
- $\Delta T_{сп}$ = різниця між температурами свіжого повітря та відпрацьованого повітря у Кельвінах.

Окрім цієї споживаної потужності, у наведеному вище розрахунку також необхідно враховувати втрати тепла з установки (як-от поверхневі втрати). Ці втрати системи відповідають потужності утримання $Q_{пу}$ (споживаній потужності ненавантаженої системи, яка працює лише в режимі рециркуляції повітря за робочої температури). Повна потреба у теплі описується Рівнянням 3.15.

$$Q_I = Q_т + Q_{сп} + Q_{пу} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.15}$$

де:

- Q_I = необхідна вихідна потужність
- $Q_{пу}$ = споживана потужність ненавантажених систем.

Також необхідно враховувати термічний ККД горіння, залежно від топкового обладнання. Таким чином, отримуємо результуючу вихідну потужність $Q_{повна}$, яка описується Рівнянням 3.16.

$$Q_{повна} = Q_I/\eta_{паливо} \quad \text{Рівняння } \mathbf{3.16}$$

де:

- $Q_{повна}$ = повна вихідна потужність
- $\eta_{паливо}$ = термічний ККД

На Рисунку 3.45 показані діапазони питомої витрати вторинної енергії на кілограм випаруваної води за максимального навантаження з максимальною можливою продуктивністю випаровування для різних типів сушарок. З метою порівняння припускається, що у конвективних сушарках використовується нагрівання електричним опором.

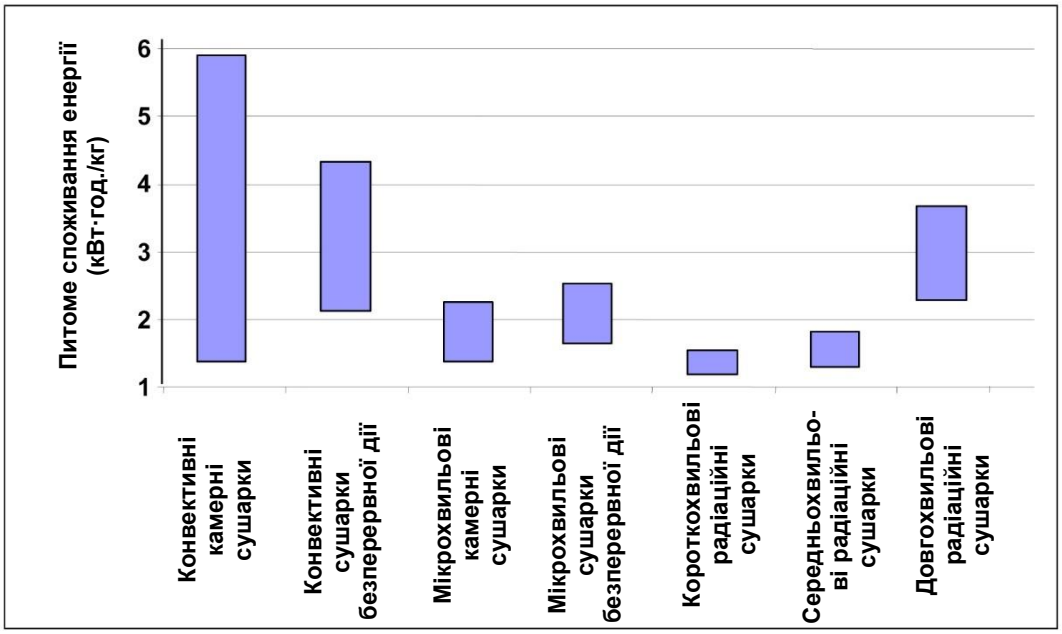


Рисунок 3.45. Діапазони питомої витрати вторинної енергії для різних типів сушарок при випаровуванні води
[26, Нейсекке, 2003]

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Як зазначено у розділі 3.11.1, використовуючи процеси механічного розділення у якості можливої попередньої обробки перед сушінням, у багатьох випадках можна суттєво зменшити споживання енергії.

Оптимізація вологості повітря у сушарках має життєво важливе значення для зниження споживання енергії у процесах сушіння до мінімуму.

Застосовність
Даних не надано.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[26, Нейсекке, 2003, 203, ADEME, 2000]

3.11.3.2 Безпосереднє нагрівання

Опис
Безпосереднє нагрівання здійснюється головним чином за рахунок конвекції. Теплий або гарячий газ – зазвичай повітря (яке може бути змішане з газоподібними продуктами згорання або паливом) або пара (див. розділ 3.11.3.4) – пропускається крізь матеріал(и), які потрібно висушити, над ними або навколо них, наприклад, в обертовому барабані, на стелажах або оправках.

Типові сушильні системи безпосереднього нагрівання бувають такими:

- з потоком газу:
  - наприклад, обертовий барабан, сушильна шафа або піч, тунельні сушарки, спіральні конвеєрні сушарки, лоткові сушарки;
- з твердими речовинами, які продуваються повітрям:
  - наприклад, проходження через циркулятор, сушарки періодичної дії, стаціонарні стелажні сушарки;
- з перемішуванням твердих речовин у великому масштабі:
  - наприклад, сушіння у киплячому шарі, відцентрове аерофонтанне сушіння.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Безпосереднє нагрівання – особливо гарячим повітрям, яке нагрівається за рахунок прямого спалювання – дає змогу уникнути багатьох втрат тепла у проміжних системах, котлах та паропроводах, тощо.

Міжсередовищні наслідки
Не виявлено.

Експлуатаційні параметри
Матеріали, які сушаться, та рідини, які видаляються, повинні бути сумісними і безпечними для використання з конкретною системою – наприклад, не повинні бути займистими, якщо безпосереднє нагрівання здійснюється за рахунок спалювання природного газу.

Застосовність
Широко застосовується.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
- Зменшення витрат.
- Простір.
- Простота (наприклад, сушіння повітрям зменшує потребу в парі).

Приклади
Широко застосовується у багатьох галузях – наприклад, в обертових барабанах, які використовуються для сушіння органічних хімічних речовин, добрив, харчових продуктів та піску. Також використовується у поверхневій обробці металів та для сушіння виробів на оправках. Сушарка – це останній ступінь лінії обробки на оправках; вона виконана у вигляді бака, розмір якого повинен бути сумісний із попередніми баками, що містять розчини для обробки та промивання. Оправки опускаються і піднімаються з сушарки так само, як і у випадку обробних баків. Сушарка може бути обладнана кришкою, яка відкривається автоматично.

Довідкова інформація
[263, Темпані, 2008, 266, Енциклопедія Ульмана, 2000]

3.11.3.3 Опосередковане нагрівання

Опис
Опосередковане нагрівання здійснюється за рахунок теплопровідності. Нагріта поверхня передає теплоту матеріалу, який потрібно висушити. Матеріал може бути нерухомим або безперервно переміщатися від однієї гарячої поверхні до іншої.

Типові сушильні системи опосередкованого нагрівання бувають такими:

- для сушіння плоских та смугових матеріалів, як-от тканини, папір або картон, використовуються барабанні сушарки. Вологий матеріал намотується на горизонтальні циліндри, які обертаються і нагріваються зсередини – як правило, парою;
- для сушіння малов'язких матеріалів, як-от розчини органічних або неорганічних речовин, зазвичай використовується валкова сушарка. Матеріал тече на нагріті валки у вигляді тонкого шару, і висушена тверда речовина знімається за допомогою скребкового ножа у вигляді плівки, пластівців або порошку;
- пастоподібні матеріали сушаться за допомогою таких сушарок:
  - валкова сушарка з рифленими валками (яка на виході дає короткі шматки для подальшого сушіння);
  - сушарка з порожнистим гвинтом, у якій використовується один або два архімедові гвинти, що обертаються у жолобі. Гвинти нагріваються гарячою водою, насиченою парою чи гарячою оливою, тощо;
  - всефазна сушарка, яка має вигляд контактної сушарки з мішалкою та місильним пристроєм. Кожух, кришка, порожнистий основний валок та його дискові елементи нагріваються парою, гарячою водою чи гарячою оливою;
- зернисті матеріали сушаться за допомогою таких сушарок:
  - обертові сушарки, у яких матеріал сушиться в барабані, всередині якого прокладені нагрівальні труби, або у трубках, які містяться в нагрівальному барабані. У цих сушарках низька швидкість повітря, а це зручно для роботи з пилоподібними матеріалами;
  - шнекові сушарки з лопатями, які обертаються у контейнері, що підігрівається;
  - сушарка з глобоїдним черв'яком, обладнана конічною мішалкою, яка обертається у воронкоподібній втулці, яка підігрівається;
  - лоткові сушарки з лотками, які підігріваються;
  - спіральні трубчасті сушарки, у яких матеріал лише протягом короткого часу контактує з нагрітою поверхнею трубки і транспортується пневматичним способом. Вони можуть бути герметично закриті, і їх можна використовувати для видалення органічного розчинника з наступною рекуперацією розчинника.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки

Ці процеси з великою ймовірністю будуть споживати більше енергії, ніж процеси безпосереднього нагрівання, оскільки такий процес складається з двох ступенів: нагрівання поверхні, і потім нагрівання матеріалу, а отже, будуть присутні втрати на передавання тепла.

Експлуатаційні параметри
Див. пункт «Опис».

Застосовність
Ці сушарки можуть використовуватися у спеціальних випадках – наприклад, для видалення органічних розчинників.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Випадки, коли неможливо застосувати безпосереднє нагрівання, або є інші обмеження.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[264, Темпані, 2008, 266, Енциклопедія Ульмана, 2000]

3.11.3.4 Перегріта пара

Опис
Перегріта пара – це пара, нагріта до температури, яка перевищує точку кипіння води за даного тиску. Така пара не може існувати у контакті з водою або містити воду і є ідеальним газом; її також називають сухою парою, безводною парою та парогазом. Перегріту пару можна використовувати у якості теплоносія замість гарячого повітря у будь-яких сушарках з безпосереднім нагріванням (у яких теплоносій безпосередньо контактує з продуктом) – наприклад, при сушінні розпиленням, у киплячому шарі, у фонтануючому шарі, у барабанах, тощо.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Перевагою є те, що обмежувальним чинником є лише теплопередача, але не перенос маси (води). Завдяки цьому кінетика процесу сушіння краща. Такі сушарки менші, а отже, втрати тепла також менші. Крім того, енергію (приховану теплоту) води, яка виділяється з продукту, можна з легкістю повторно використати у сушарці шляхом механічної рекомпресії пари (MVR) або використати в іншому процесі, а відтак заощадити більше енергії.

Оскільки об’єм вихлопних газів обмежений, легше працювати з леткими органічними сполуками (ЛОС). Ці сполуки можна з легкістю регенерувати.

Міжсередовищні наслідки
Висока температура може пошкодити термочутливі продукти.

Експлуатаційні параметри
Споживання енергії становить близько 670 кВт·год./т випаруваної води без регенерації тепла та від 170 до 340 кВт·год./т з регенерацією тепла (наприклад, шляхом механічної рекомпресії пари).

Спрощується керування технологічним процесом, оскільки остаточний вміст вологи у продукті та кінетику процесу сушіння можна регулювати, змінюючи температуру пари. Завдяки відсутності повітря знижується ризик пожежі та вибуху.

Застосовність
Будь-яку сушарку з безпосереднім нагріванням можна переобладнати на перегріту пару. Необхідно виконати випробування, щоб гарантувати якість продукту, і виконати економічні розрахунки.

Економіка
Інвестиції загалом більші, особливо якщо використовується механічна рекомпресія пари.

Рушій для впровадження
Першочерговим рушієм для впровадження повинні бути заощадження енергії. Часто повідомляється про кращу якість продукції, особливо у галузі переробки сільськогосподарських харчових продуктів (кращий колір, відсутність окиснення, тощо).

Приклади
- Кондитерська фабрика Sucrerie Lesaffre (Нанжі, Франція): сушіння бурякового жому перегрітою парою.
- Сфери застосування: шлам, буряковий жом, люцерна, мийний засіб, технічна кераміка, паливо на базі деревини, тощо.

Довідкова інформація
[208, Алі (Ali), 1996]

3.11.3.5 Регенерація тепла у процесах сушіння

Опис
Сушіння часто буває високотемпературним процесом, і його відхідне тепло можна регенерувати:

- напряму, якщо процес сушіння передбачає безпосереднє нагрівання з використанням гарячого повітря у якості теплоносія:
  - шляхом змішування відпрацьованого повітря зі свіжим повітрям безпосередньо перед пальником;
  - якщо відпрацьоване повітря надто сильно забруднене (пилом, вологою, тощо) – шляхом регенерації тепла з відпрацьованого повітря через теплообмінник (див. розділ 3.3.1.) і його використання для підігрівання продукту, який потрібно висушити, або сушильного повітря;
- або опосередковано, використовуючи механічну рекомпресію пари (MVR) для стиснення вихлопних парів (див. розділ 3.3.2), особливо якщо теплоносієм є перегріта пара (див. розділ 3.11.3.4).

Тут розглядається лише «безпосередня» регенерація.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Мінімізується споживання енергії.

Міжсередовищні наслідки
Підігрівання повітря регенерованим теплом перед пальником може вплинути на співвідношення між температурою та вмістом вологи і, як наслідок, порушити процес сушіння. За відсутності теплообмінника можуть з’являтися забруднюючі речовини. Може бути потрібно передбачити регулювання, щоб правильно керувати температурою сушіння.

Експлуатаційні параметри

- Заощадження енергії завжди будуть більшими, якщо навколишнє повітря холодне (наприклад, взимку).
- Очікується, що заощадження енергії складуть не менше 5 %.

Застосовність

Цю технологію можна застосовувати майже у будь-яких конвективних сушарках безперервної дії, у яких використовується гаряче повітря (тунельних сушарках, сушильних шафах, барабанах, тощо). Потрібно звернути увагу на регулювання пальника і вибір розміру різних елементів: вентилятора, діаметра труб, регулювального клапана та теплообмінника, якщо він застосовується. Теплообмінник повинен бути виготовлений із нержавіючої сталі. Якщо пальник сушарки працює на паливі, відпрацьоване повітря буде містити сірку та SO_2 і може пошкодити теплообмінник, якщо ці речовини сконденсуються.

Економіка

Період окупності може дуже різнитися залежно від витрат на енергію, випарної здатності сушарки та кількості годин роботи. Обов'язково потрібно виконати моделювання з гіпотезами про зростання цін на енергію.

Рушій для впровадження

Заощадження коштів завдяки заощадженню енергії.

Приклади заводів

Сушіння бурякового жому (Камбре, Франція): регенерація тепла з вихлопних газів.

Довідкова інформація

[203, ADEME, 2000]

3.11.3.6 Механічна рекомпресія пари або теплові насоси з випаровуванням

Концентрування шляхом випаровування у поєднанні з механічною рекомпресією пари (MVR) або використанням теплового насоса – це високоефективна технологія очищення стічних вод. Ця технологія, зокрема, дає змогу суттєво зменшити об'єми стічних вод, які передаються на очищення, з мінімальними витратами, а також уможливлює повторне використання води.

Опис

Щоб випарувати одну тонну води, потрібно витратити від 700 до 800 кВт·год. енергії. Потреби в енергії можна зменшити за допомогою технологій регенерації тепла, таких як теплові насоси, у тому числі з механічною рекомпресією пари (MVR) (див. розділ 3.3.2), або багатокорпусні випарники з термічним стисненням.

Міжсередовищні наслідки

Концентрування потоків стічних вод може потребувати різних технологій керування та обробки (тобто стічні води можуть стати непридатними для скидання).

Експлуатаційні параметри

Різні типи випарників та їх питомі рівні споживання підсумовані у Таблиці 3.29.

Тип випарника	Питомі рівні споживання [1 2 3]	
	кг пари/т в.в.[1] (кВт·год.)	кВт·год. електроенергії/т в.в.[1]
1-ступеневий	1200 (960)	10
2-ступеневий	650 (520)	5
1-ступеневий з термічним стисненням	450 – 550 (400)	5
3-ступеневий	350 – 450 (320)	5
6-ступеневий з термічним стисненням	115 – 140 (100)	5
1-ступеневий з механічною рекомпресією пари	0 – 20 (8)	15 – 30
2-ступеневий з механічною рекомпресією пари	0 – 20 (8)	10 – 20
Тепловий насос		

Примітки:
1. т в.в.: тонна випаруваної води
2. Середні значення для різних концентрацій продукту
3. Останній стовпець відповідає рівням споживання допоміжного обладнання (насоса, градирні, тощо)

Таблиця 3.29. Типи випарників та питомі рівні споживання

Застосовність
Вибір технології залежить від характеру продукту та концентрату. Може бути необхідно перевірити технічну здійсненність.

Економіка
Визначається окремо для кожного випадку.

Рушій для впровадження
- Заощадження коштів.
- Покращення продуктивності виробництва та/або якості продукції.

Приклади
Завод ZF Lemforder Mecacentre виготовляє різні деталі для автомобільної промисловості (кульові опори підвіски або керма, кермові колонки, тощо). У 1998 році, у процесі сертифікації за стандартом ISO 14001, компанія встановила випарник з механічною рекомпресією пари для концентрування промивної води, що залишається від очищення заготовок. Встановлене обладнання концентрує до 120 літрів стічних вод за годину з потужністю 7,2 кВт·год. і дає змогу повторно використати у виробничій системі від 20 до 25 м^3 очищеної води в місяць. Концентровані рідкі відходи, які залишилися, передаються на належну установку утилізації відходів:

- інвестиційні витрати: 91 469 євро
- досягнуті річні заощадження: 76 224 євро
- період окупності: 14 місяців.

Довідкова інформація
[26, Нейсекке, 2003, 197, Вікіпедія, 201, Дреш – ADEME, 2006] [243, Науково-дослідницька робота, 2002]

3.11.3.7 Оптимізація ізоляції сушильної системи

Опис
Як і в будь-якому обладнанні з підігріванням, втрати тепла з сушильної системи – наприклад, сушильних шаф, паропроводів та конденсатних трубопроводів – можна зменшити шляхом її ізолювання (також див. розділ 3.2.11). Тип ізоляції, що використовується, та її необхідна товщина залежить від робочої температури системи, від матеріалів, які сушаться, від того, чи потрібно видаляти рідини, відмінні від води, і чи можуть водяні пари бути забруднені (наприклад, кислотними парами).

Ізоляція потребує технічного обслуговування, оскільки її стан може погіршуватися з часом: вона може ставати крихкою, зазнавати механічних пошкоджень, пошкоджуватися під дією вологи (наприклад, внаслідок конденсації водяних парів, витоків пари) або внаслідок контакту з хімічними речовинами. Пошкоджену ізоляцію можна виявити шляхом візуального контролю або інфрачервоного сканування – див. розділ 2.10.1.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії.

Міжсередовищні наслідки
Не виявлено.

Експлуатаційні параметри
Якщо персонал може доторкнутися до гарячих поверхонь, бажано, щоб температура поверхонь не перевищувала 50°C.

Ізоляція може закривати місця витоків та/або корозії, тому потрібно виконувати періодичні перевірки для виявлення таких місць.

Застосовність
Під час влаштування ізоляції на великій сушильній системі або модернізації установки.

Економіка
Ці дані можна розрахувати для окремого проєкту.

Рушій для впровадження
Заощадження коштів, а також охорона здоров’я і техніка безпеки.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
[265, Темпані, 2008, 268, Віттакер (Whittaker), 2003]
www.pip.org

3.11.4 Механізми випромінювання

Опис
У механізмах випромінювання – як-от інфрачервоного (ІЧ), високочастотного (ВЧ) випромінювання або мікрохвиль (МХ) – енергія передається за рахунок теплового випромінювання. Зверніть увагу, що існує відмінність між сушінням і стверджуванням: для сушіння потрібно, щоб енергія молекул розчинника збільшилася до прихованої теплоти випаровування або перевищила її, а у технологіях стверджування надається енергія, необхідна для зшивання (полімеризації) або протікання інших реакцій. Сушіння та стверджування покриття розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників (STS).

Ці технології застосовуються у промислових виробничих процесах для нагрівання продуктів, а отже, можуть застосовуватися і у процесах сушіння. Механізми випромінювання можна використовувати окремо або у поєднанні з теплопровідністю або конвекцією.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
У механізмів випромінювання є специфічні характеристики, які дають змогу заощаджувати енергію у цих процесах:

- безпосереднє передавання енергії. Механізми випромінювання дають змогу напряму передавати енергію від джерела до продукту, не використовуючи проміжне середовище. Таким чином, теплопередача здійснюється оптимальним чином, оскільки енергія не втрачається через вентиляційні системи. Таким чином можна досягти значних заощаджень енергії. Наприклад, у процесах сушіння фарби близько 80 % енергії виноситься з відхідними газами;
- велика густина потужності. Механізми випромінювання забезпечують більшу поверхневу (у випадку інфрачервоного випромінювання) або об'ємну (у випадку високочастотного та мікрохвильового випромінювання) густину потужності, ніж традиційні технології, як-от конвекція у гарячому повітрі. Це збільшує швидкість виробництва і дає змогу обробляти продукти, що потребують великої питомої енергії, як-от деякі фарби;
- зосередження енергії. Енергію можна з легкістю зосередити на потрібній частині продукту;
- гнучкість керування. У механізмів випромінювання низька теплова інерція, а потужність може змінюватися у широких межах. Тому ними можна гнучко керувати, а це заощаджує енергію і дає змогу виготовляти продукцію хорошої якості.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Витрата відпрацьованого повітря зазвичай набагато менша, оскільки повітря не слугує проміжним середовищем для теплопередачі, а просто використовується для винесення пари або інших розчинників. Завдяки цьому очищення вихлопних газів, якщо воно застосовується, буде легшим і дешевшим.

Інші можливі вигоди, властиві для інфрачервоного випромінювання:

- безпосереднє нагрівання: зменшення вихлопу гарячого повітря, а отже, заощадження енергії; гарячі текучі середовища транспортуються у невеликих кількостях або взагалі не транспортуються;
- зменшення розміру обладнання;
- простіше регулювання;
- можливість модернізації установок.

Інші можливі вигоди, властиві для високочастотного та мікрохвильового випромінювання:

- безпосереднє нагрівання: зменшення вихлопу гарячого повітря, а отже, заощадження енергії; гарячі текучі середовища транспортуються у невеликих кількостях або взагалі не транспортуються;
- об'ємне нагрівання забезпечує швидке висихання і зменшує втрати;
- вибіркове нагрівання: нагрівається переважно вода;
- рівномірне нагрівання, якщо розмір продуктів сумісний з довжиною хвилі;
- ефективна теплопередача.

Неоднорідні продукти можуть нагріватися нерівномірно, а це може призвести до поганої якості продукції.

Деякі недоліки інфрачервоного випромінювання:

- порівняно великі інвестиції (20 – 30 %);
- по суті, підходить лише для плоских продуктів або продуктів простої форми;
- часто не в пріоритеті у конструкторів.

Деякі недоліки високочастотного та мікрохвильового випромінювання:

- порівняно великі інвестиції (20 – 30 %);
- часто не в пріоритеті у конструкторів.

Застосовність
Механізми випромінювання (зокрема, інфрачервоне випромінювання) можна використовувати для модернізації установок або – у поєднанні з конвекцією чи теплопровідністю – для збільшення потужності виробничої лінії.

Незважаючи на свої переваги (швидкодія, якість кінцевих продуктів, заощадження енергії), механізми випромінювання не поширені у промислових сферах, у яких на сьогодні відомий великий потенціал для заощаджень енергії.

Інфрачервоне випромінювання можна використовувати для:

- закріплення фарби, чорнила та лаку;
- сушіння паперу та картону, підсушування тканин;
- сушіння порошків у хімічній промисловості та виробництві пластмас.

Високочастотне випромінювання можна використовувати для сушіння:

- масивних (суцільних) виробів: тканин, барабанів з дротом, кераміки;
- порошків у хімічній промисловості.

Мікрохвильове випромінювання можна використовувати для сушіння:

- масивних (суцільних) виробів (деревина, сільськогосподарська продукція) або плоских виробів;
- хімічної та фармацевтичної продукції (у вакуумі).

Економіка
Інвестиційні витрати зазвичай більші (на 20 – 30 %), ніж для традиційних технологій.

Рушій для впровадження
Механізми випромінювання дають змогу створювати компактні системи. Рушієм може бути нестача простору. Ці механізми – особливо інфрачервоне випромінювання – можна використовувати для збільшення потужності виробничих ліній.

Приклади
Biotex – це французький завод, який випускає латексні подушки. Подушки дуже важко сушити, і, щоб з ними не виникло проблем під час використання, вміст вологи в них повинен бути <1 %. Існуючого конвекційного тунелю (з ударними струменями) було недостатньо для забезпечення хорошої якості продукції, а крім того, він споживав багато енергії. Після того, як на виході тунелю була влаштована система високочастотного випромінювання, продукція почала відповідати вимогам до якості, питома витрата енергії на подушку зменшився на 41 % (у перерахунку на первинну енергію), а час виробництва скоротився у 8 разів. На виході конвекційного тунелю подушки містять від 19 до 45 % вологи, а високочастотне випромінювання осушує їх до 1 %. Період окупності склав 4 роки.

Довідкова інформація
[204, Технічний центр пневматики та теплотехніки (CETIAT), 2002, 205, ADEME, 206, ADEME, 2002]

3.11.5 Автоматизоване керування технологічним процесом / автоматизація технологічного процесу у процесах термічного сушіння

Опис
У переважній більшості випадків застосування процесів термічного сушіння керування сушарками, як правило, здійснюється за цільовими значеннями технічних характеристик та/або переважно емпіричними значеннями (з досвіду оператора). Час перебування в сушарці, продуктивність, початковий вміст вологи, температура та якість продукту – усі ці характеристики використовуються у якості параметрів керування. Для визначення вмісту вологи потрібні датчики вологи з лінійними характеристиками та низьким рівнем завад, хоча вони й мають довгий термін служби. Комп'ютер може розраховувати ці дані на базі вимірювань у реальному часі і порівнювати їх з цільовими значеннями, розрахованими за математичною моделлю процесу сушіння. Для цього потрібно точно знати процес сушіння і мати належне програмне забезпечення. Комп'ютер змінює відповідну змінну керування шляхом порівняння цільового та фактичного значення.

Приклади з різних заводів демонструють, що таким чином можна досягти заощаджень у 5 – 10 % порівняно з традиційними регуляторами, які працюють з емпіричними значеннями.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Даних не надано.

Економіка
Даних не надано.

Рушій для впровадження
Даних не надано.

Приклади
Даних не надано.

Довідкова інформація
[207, ADEME, 2000]

4 НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ

4.1 Вступ

Для розуміння цього розділу та його змісту читачу варто знову звернути увагу на передмову цього документа і, зокрема, процитований нижче текст:

Цитата з розділу 3 «Передмови», «Відповідні правові обов'язки щодо Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) та визначення НДТМ»:

Мета Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) полягає в тому, щоб забезпечити комплексне запобігання та контроль забруднень, зумовлених видами діяльності, що перелічені у Додатку I, а отже, забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому, зокрема, у контексті енергоефективності. Юридична основа Директиви пов'язана з захистом навколишнього середовища. При реалізації її положень слід також враховувати інші цілі Європейської спільноти, такі як конкурентоспроможність промисловості Європейської спільноти, яка, в свою чергу, сприяє сталому розвитку. У пункті «Сфера застосування» наведена детальніша інформація про юридичну основу енергоефективності у Директиві.

Говорячи більш конкретно, Директива з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) передбачає дозвільну систему для певних категорій промислових установок, яка вимагає, щоб як оператори, так і регулювальні органи комплексно і всебічно оцінили потенційну здатність установки до забруднення та споживання ресурсів. Загальна мета такого комплексного підходу повинна полягати у вдосконаленні проєктування та будівництва, керування та контролю промислових процесів таким чином, щоб забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому. Центральне значення для цього підходу має загальний принцип, викладений у Статті 3: згідно з ним, оператори повинні вживати всіх належних запобіжних заходів для боротьби з забрудненням, зокрема, шляхом застосування **«найкращих доступних технологій та методів управління»**, які дають їм змогу покращити свої екологічні показники, у тому числі енергоефективність.

Термін «найкращі доступні технології та методи управління» визначений у Статті 2 (12) Директиви.
Крім того, Додаток IV до Директиви містить перелік «міркувань, які потрібно врахувати у загальному випадку або у конкретних випадках при визначенні найкращих доступних технологій та методів управління... пам'ятаючи про ймовірні витрати на реалізацію заходу та отримані від нього вигоди та про принципи застереження та запобігання». Ці міркування містять інформацію, опубліковану Комісією з метою дотримання вимог Статті 17 (2).

Уповноважені органи, відповідальні за видання дозволів, повинні враховувати загальні принципи, викладені у Статті 3, при визначенні умов надання дозволу. До цих умов повинні належати граничні значення викидів, за потреби доповнені або замінені еквівалентними параметрами або технічними заходами. Згідно зі Статтею 9 (4) Директиви:

(без обмеження відповідності стандартам якості навколишнього середовища), граничні значення викидів, еквівалентні параметри та технічні заходи повинні базуватися на найкращих доступних технологіях та методах управління, не зобов'язуючи використовувати будь-яку технологію або конкретну технологію, але враховуючи технічні характеристики відповідної установки, її географічне розташування та місцеві умови навколишнього середовища. Незалежно від обставин, умови надання дозволу повинні містити положення щодо мінімізації забруднень на великі відстані або транскордонних забруднень та гарантувати високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому.

Країни-члени ЄС зобов'язані, відповідно до Статті 11 Директиви, гарантувати, щоб уповноважені органи дотримувалися або були поінформовані про розробки у напрямку найкращих доступних технологій та методів управління.

Цитата з розділу 6 «Передмови», «Як слід розуміти і використовувати цей документ»:

Інформація, наведена в цьому документі, призначена для використання у якості вхідних даних для визначення НДТМ, націлених на забезпечення енергоефективності, у конкретних випадках. При визначенні НДТМ та встановленні умов надання дозволу на основі НДТМ завжди необхідно враховувати кінцеву мету – досягти високого ступеня захисту навколишнього середовища у цілому, зокрема, у контексті енергоефективності.

У цій частині (частині 4) описані технології, які вважаються сумісними з НДТМ у загальному розумінні. Мета полягає в тому, щоб надати загальні вказівки щодо енергоефективних технологій, які можна вважати належною опорною точкою, яка допоможе визначити умови надання дозволу на основі НДТМ або встановити загальні обов'язкові правила згідно зі Статтею 9 (8). Проте слід наголосити, що цей документ не пропонує значень енергоефективності для дозволів. При визначенні належних умов, передбачених у дозволі, будуть враховуватися місцеві фактори, властиві для конкретного майданчика, такі як технічні характеристики відповідної установки, її географічне розташування та місцеві умови навколишнього середовища. Якщо мова йде про існуючі установки, потрібно також врахувати рентабельність та технічну доцільність їх модернізації. Для досягнення навіть єдиної мети – забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища у цілому – часто необхідно приймати судження, що передбачають компроміс між різними видами впливу на навколишнє середовище, і на ці судження часто впливає місцева специфіка.

Тому найкращі доступні технології та методи управління, наведені у цій частині, не обов'язково підходять для всіх установок. З іншого боку, з обов'язку забезпечити високий ступінь захисту навколишнього середовища включно з мінімізацією забруднень на великі відстані та транскордонних забруднень випливає, що умови надання дозволу не можна встановити виключно на базі місцевої специфіки. Тому вкрай важливо, щоб дозвільні органи в повному обсязі враховували інформацію, яка міститься у цьому документі.

З огляду на комплексний підхід та потребу у компенсації міжсередовищних наслідків (як підсумовано вище), енергоефективність зрештою слід розглядати для установки у цілому, тобто:

- може бути неможливо одночасно максимізувати енергоефективність усіх видів діяльності та/або систем в установці;
- може бути неможливо одночасно максимізувати загальну енергоефективність і мінімізувати інші рівні споживання та викиди (наприклад, може бути неможливо знизити викиди – наприклад, у повітря – без використання енергії);
- може виявитися необхідно скасувати заходи, вжиті для оптимізації енергоефективності однієї або кількох систем, для досягнення максимальної ефективності установки у цілому. Див. розділи 1.3.5 та 1.5.1.1;
- необхідно підтримувати рівновагу між максимізацією енергоефективності та іншими чинниками, такими як якість продукту і стабільність технологічного процесу;
- використання «відпрацьованого» або надлишкового тепла та/або відновлюваних джерел енергії може бути більш екологічним, ніж використання первинних видів палива, навіть якщо енергоефективність їх використання нижча.

Тому енергоефективні технології пропонуються як «оптимізація енергоефективності».

Технології, наведені у цій частині, були оцінені за допомогою ітеративного процесу, що складався з таких кроків:

- Визначення ключових питань енергоефективності у контексті Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) (див. пункти «Передмова» та «Сфера застосування»[29]);
- оцінка технологій, які є найбільш актуальними для вирішення цих ключових питань;
- визначення найкращих досяжних рівнів енергоефективності на основі доступних даних у Європейському Союзі та по всьому світу;
- вивчення умов, за яких були досягнуті ці рівні показників, таких як витрати, міжсередовищні наслідки та основні рушійні сили, що впливали на впровадження технологій;
- вибір «найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) у загальному розумінні згідно зі Статтею 2 (12) та Додатком IV до Директиви.

Для кожного з цих кроків і для способу представлення інформації у цьому документі ключову роль відіграло експертне судження Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень і відповідної Технічної робочої групи (ТРГ).

Дані про витрати, якщо вони доступні, наведені разом з описами технологій, викладених у попередніх частинах. Вони дають приблизне уявлення про величину відповідних витрат. Проте фактична вартість застосування технології суттєво залежить від конкретної ситуації з огляду, наприклад, на податки, збори та технічні характеристики відповідної установки. Такі фактори, характерні для конкретних об'єктів, неможливо повністю оцінити у цьому документі. Якщо дані про витрати відсутні, висновки про рентабельність технологій робляться на основі спостережень за існуючими установками.

Передбачається, що загальні НДТМ, наведені у цій частині, стануть опорною точкою, у порівнянні з якою будуть оцінюватися поточні показники існуючої установки або пропозиції щодо нової установки. Таким чином вони допоможуть визначити належні умови «на основі НДТМ» для установки або при встановленні загальних обов'язкових правил згідно зі Статтею 9 (8) Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Передбачається, що нові установки можна проєктувати такими, щоб їх робочі показники були такими ж або навіть кращими, ніж передбачено наведеними тут загальними НДТМ. Також враховується, що існуючі установки можуть рухатися до загальних НДТМ або досягати навіть кращих показників за умови технічної та економічної застосовності технологій у кожному випадку.

Хоча довідкові документи з НДТМ не встановлюють юридично обов'язкових стандартів, їх метою є надання інформації, якою підприємства галузі, країни-члени ЄС та громадськість зможуть керуватися у питаннях досяжних рівнів викидів та споживання ресурсів при використанні вказаних технологій (у тому числі показників енергоефективності, наведених у галузевих документах BREF для конкретних секторів), або еквівалентних параметрів і технічних заходів (Стаття 9 (4)). Належні умови для кожного конкретного випадку потрібно визначати з урахуванням цілей Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) та місцевих міркувань.

<u>Визначення наскрізних НДТМ</u>

Наскрізний підхід до енергоефективності у всіх секторах, які підлягають комплексному запобіганню та контролю забруднень, базується на припущенні, що енергія використовується у всіх установках, і що у багатьох із цих секторів зустрічаються загальновживані системи та обладнання. Тому наскрізні можливості забезпечення

[29] Енергоефективність з точки зору Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC) та у контексті цього документа, а також її перетин з іншими законодавчими та політичними зобов'язаннями, розглядається у пунктах «Передмова» та «Сфера застосування». Було зроблено висновок, що у цьому документі не будуть розглядатися такі питання, як використання відновлюваних джерел енергії.

енергоефективності можна визначити незалежно від конкретного виду діяльності. З огляду на це можна визначити такі НДТМ, які будуть охоплювати найбільш дієві заходи для досягнення високого рівня енергоефективності у цілому. Оскільки цей документ BREF наскрізний, НДТМ потрібно визначати більш широко, ніж для галузевого документа BREF, – наприклад, враховувати взаємодію між технологічними процесами, агрегатами та системами в межах об'єкта.

НДТМ для забезпечення енергоефективності у конкретних технологічних процесах та відповідні рівні споживання енергії наведені у відповідних «галузевих» документах BREF для конкретних секторів. Деякі з них у загальних рисах підсумовані в джерелі [283, EIPPCB].

Таким чином, НДТМ для конкретних установок – це поєднання специфічних елементів НДТМ, описаних у документах BREF для відповідних секторів, специфічних НДТМ для пов'язаних з установкою видів діяльності, які можна знайти в інших галузевих BREF, та загальних НДТМ, викладених у цій частині: НДТМ, які є спільними для всіх установок, наведені у розділі 4.2, а відповідні НДТМ для конкретних систем, технологічних процесів, видів діяльності або обладнання наведені у розділі 4.3 (зв'язок між ними показано на Рисунку 4.1).

Ні в цій частині, ні в частинах 2 та 3 немає вичерпних переліків технологій, які можна було б розглянути, тому можуть існувати або бути розроблені інші технології, які можуть бути такою ж мірою застосовними у контексті комплексного запобігання та контролю забруднень і НДТМ.

Реалізація НДТМ

Реалізація НДТМ у нових або суттєво модернізованих установках або технологічних процесах зазвичай не є проблемою. У більшості випадків оптимізація енергоефективності економічно доцільна. Реалізувати НДТМ в межах існуючої установки зазвичай не так просто з огляду на існуючу інфраструктуру та місцеві обставини: потрібно враховувати рентабельність та технічну доцільність модернізації цих установок (див. «Передмову» та подробиці, перелічені нижче). У Довідковому документі з економічних та міжсередовищних наслідків (ECM) [167, EIPPCB, 2006] згадуються такі чинники:

- для нової установки або суттєвої модернізації – етап прийняття рішення про вибір технологій (тобто момент, починаючи з якого вносити у проєкт зміни вже нерентабельно);
- вік та конструкція обладнання;
- місцезнаходження установки у її інвестиційному циклі;
- складність технологічних процесів та фактичний вибір технологій, які використовуються на установці;
- виробнича потужність, об'єми та асортимент продукції, яка випускається;
- типи обробок, які застосовуються, та вимоги до якості;
- наявний простір;
- вартість, «доступність» і надійність технологій у часових рамках, потрібних оператору;
- час, необхідний для внесення змін у діяльність (включно з усіма конструкційними змінами) в межах установки, і як ці зміни оптимізуються з огляду на вимоги виробництва;
- співвідношення витрат і вигод для всіх поточних заходів з охорони навколишнього середовища;
- нові та перспективні технології;
- фінансові витрати та ціна міжсередовищних наслідків.

Проте цей документ загалом не розмежовує нові та існуючі установки. Таке розмежування не заохочувало б операторів промислових об'єктів переходити на НДТМ. Заходи з

підвищення енергоефективності, як правило, мають певну окупність, і з огляду на велике значення, яке надається енергоефективності, існує багато заходів із реалізації політик, у тому числі фінансові стимули. Інформація про плани дій та норми, прийняті в масштабі всієї Європи та в окремих країнах-членах ЄС, наведена у Додатку 7.13.

Деякі з технологій застосовуються безперервно, а інші – періодично, у повному або частковому обсязі. Наприклад, деякі операції технічного обслуговування виконуються щодня, а інші – у належний час, як-от обслуговування обладнання у період зупинки.

Деякі технології дуже бажані і часто впроваджуються, але можуть потребувати (як, наприклад, когенерація) наявності і співпраці з третьою стороною, що не розглядається у Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC).

Вказівки для полегшення розуміння цієї частини

Під час підготування цього документа стало зрозуміло, що існує певний порядок, у якому зручно розглядати можливість застосування технологій, а відтак і НДТМ. Це відображено у порядку викладення розділів, присвячених НДТМ, нижче та на Рисунку 4.1.

Першочерговим кроком є вибір та застосування основних процесів для видів діяльності, які охоплюють ці процеси. Вони розглядаються у відповідних галузевих документах BREF для конкретних секторів, які є першою опорною точкою.

У деяких випадках технології, які можна застосувати до пов’язаних з ними видів діяльності на установці, розглядаються в окремому галузевому документі BREF для конкретного сектора – наприклад, у Довідкових документах з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), для спалювання відходів (WI) або для переробки відходів (WT).

Проте енергоефективність – це наскрізне питання, і існують аспекти, які не розглянуті у галузевих документах BREF для конкретних секторів, або які потрібно однаково розглядати у всіх секторах. Такі питання розглядаються у цьому документі.

Першим кроком є програма дій, що базується на Системі керування енергоефективністю (ENEMS), про яку йдеться у розділі 4.2.1. Її можна реалізувати (i) у вигляді системи керування навколишнім середовищем (EMS), про яку йдеться у галузевому документі BREF для конкретного сектора, (ii) у систему керування навколишнім середовищем можна внести зміни, або (iii) систему керування навколишнім середовищем можна доповнити окремою системою керування енергоефективністю (ENEMS). Певні НДТМ застосовуються при модернізації існуючих установок або розробці нових.

Розділи 4.2.2 – 4.2.9 допомагають реалізувати певні розділи системи керування енергоефективністю. У них містяться НДТМ, які детальніше описують технології.

У розділі 4.3 містяться НДТМ для певних загальновживаних систем, технологічних процесів, пов’язаних з ними видів діяльності або обладнання, які впливають на енергоефективність установки і не розглядаються детально у галузевих документах BREF. Ці НДТМ можуть бути визначені у ході оцінки установки.

У багатьох випадках під заголовком *«Застосовність»* підсумовується додаткова інформація з обговорень, викладених у попередніх частинах. У цих підсумках ідеться, наприклад, про те, до яких установок можна застосовувати НДТМ, про частоту та складність застосування НДТМ, тощо.

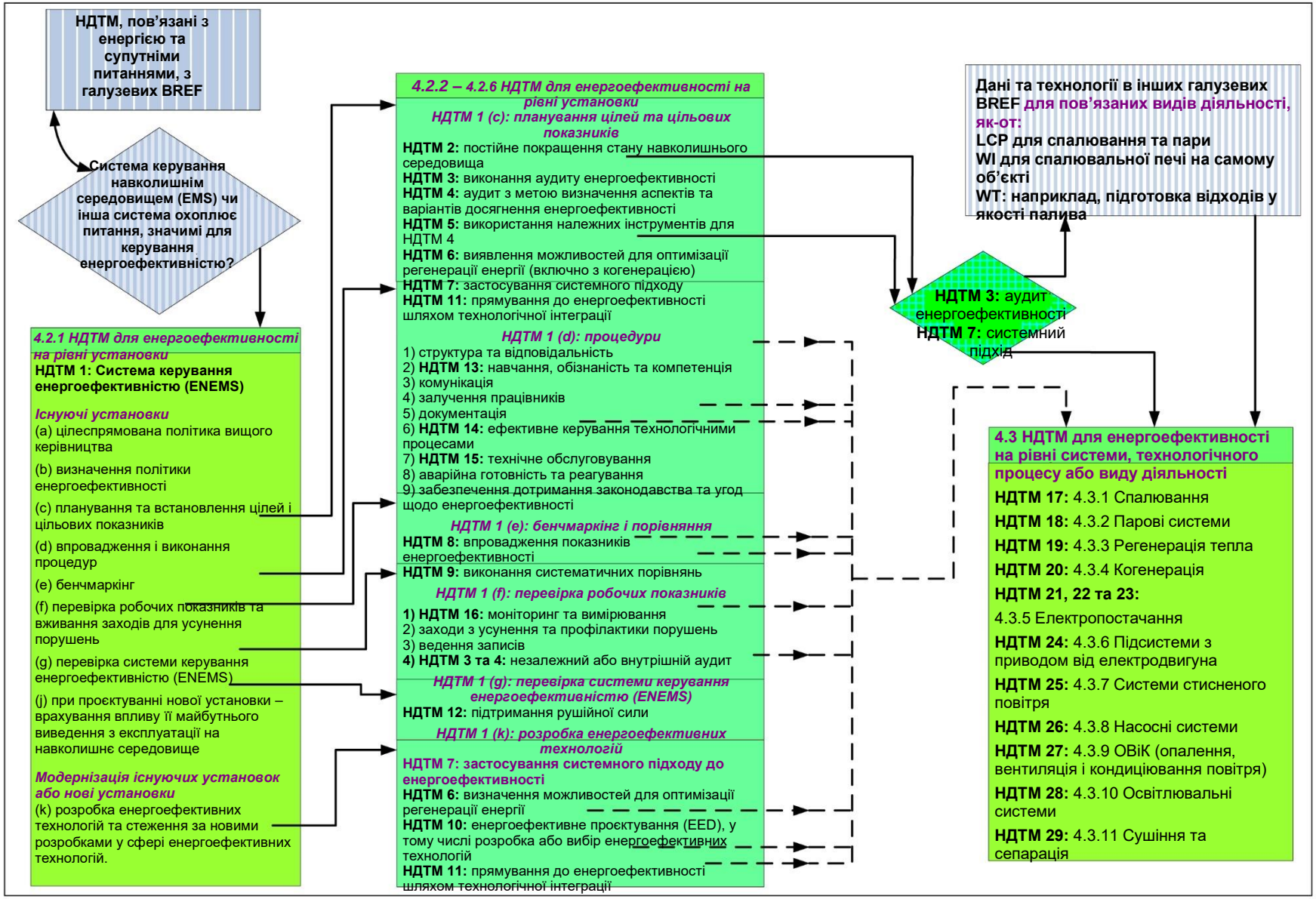


Рисунок 4.1. Зв'язки між НДТМ для енергоефективності

4.2 Найкращі доступні технології та методи управління для досягнення енергоефективності на рівні установки

Ключовим елементом забезпечення енергоефективності на рівні установки є формальний підхід до керування, описаний у НДТМ 1. Він підкріпляється НДТМ, викладеними у наступних розділах.

4.2.1 Керування енергоефективністю

У якості НДТМ визначено ряд технологій керування енергоефективністю. Обсяг (наприклад, ступінь деталізації) та характер системи керування енергоефективністю (ENEMS) (наприклад, стандартизована чи нестандартизована) загалом пов'язаний з характером, масштабом та складністю установки, а також вимогами її складових технологічних процесів та систем до енергії (див. розділ 2.1):

1. **НДТМ полягає в тому, щоб реалізувати і дотримуватися системи керування енергоефективністю (ENEMS), яка охоплює, залежно від місцевих обставин, усі з перелічених нижче функцій (див. розділ 2.1.** Літери (a), (b), якими позначені пункти нижче, відповідають тим же пунктам у розділі 2.1):

a. цілеспрямована політика вищого керівництва (цілеспрямована політика вищого керівництва розцінюється як необхідна передумова успішного застосування керування навколишнім середовищем);

b. визначення політики забезпечення енергоефективності для установки вищим керівництвом;

c. планування і встановлення цілей та цільових показників (див. НДТМ 2, 3 та 8);

d. впровадження та виконання процедур з особливою увагою до таких моментів:

   i) структура та відповідальність;
   ii) навчання, обізнаність та компетенція (див. НДТМ 13);
   iii) комунікація;
   iv) залучення працівників;
   v) документація;
   vi) ефективне керування технологічними процесами (див. НДТМ 14):
   vii) технічне обслуговування (див. НДТМ 15):
   viii) аварійна готовність та реагування;
   ix) забезпечення дотримання законодавства та угод (якщо такі угоди існують) щодо енергоефективності;

e. бенчмаркінг: визначення та оцінка показників енергоефективності з плином часу (див. НДТМ 8), і систематичні та регулярні порівняння з галузевими, національними чи регіональними орієнтирами енергоефективності за наявності перевірених даних (див. розділи 2.1 (e), 2.16 та НДТМ 9);

f. перевірка робочих показників та вживання заходів для усунення порушень з особливою увагою до таких моментів:

   i) моніторинг та вимірювання (див. НДТМ 16);
   ii) заходи з усунення та профілактики порушень;
   iii) ведення записів;
   iv) незалежний (якщо це доцільно) внутрішній аудит, метою якого є визначити, чи відповідає система керування енергоефективністю запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується (див. НДТМ 4 та 5);

g. перевірка системи керування енергоефективністю (ENEMS) та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та дієвості вищим керівництвом;

Що стосується пунктів (h) та (i), див. додаткові функції нижче щодо звіту про енергоефективність та зовнішньої перевірки.

j. при проєктуванні нової установки – врахування впливу її майбутнього виведення з експлуатації на навколишнє середовище;

k. розробка енергоефективних технологій та стеження за новими розробками у сфері енергоефективних технологій.

Систему керування енергоефективністю (ENEMS) можна реалізувати, забезпечивши наявність цих елементів у складі існуючих систем керування (як-от система керування навколишнім середовищем – EMS) або реалізувавши окрему систему керування енергоефективністю.

Три наступні функції вважаються допоміжними заходами. Хоча у цих функцій є свої переваги, системи без них можуть вважатися НДТМ. Ці три додаткові кроки такі:

- (див. розділ 2.1(h)) підготовка та публікація (і, можливо, зовнішнє затвердження) регулярного звіту про енергоефективність, у якому описані всі важливі екологічні аспекти діяльності установки, і який дає змогу порівнювати показники для різних років з екологічними цілями та цільовими показниками, а також за потреби з галузевими орієнтирами;
- (див. розділ 2.1(i)) перевірка та затвердження системи керування і процедури аудиту акредитованим сертифікаційним органом або стороннім перевіряльником систем керування енергоефективністю;
- (див. розділ 2.1, «Застосовність», 2) реалізація та дотримання добровільної системи, визнаної на національному або міжнародному рівні, як-от:
  - DS2403, IS 393, SS627750, VDI Richtlinie № 46, тощо
  - (якщо керування енергоефективністю передбачається у складі системи керування навколишнім середовищем) Схема екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) і EN ISO 14001:1996. Цей добровільний крок може посилити достовірність результатів, отриманих від системи керування енергоефективністю. Проте нестандартизовані системи можуть бути не менш ефективними, за умови, що вони належним чином спроєктовані та реалізовані.

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цієї системи керування енергоефективністю (ENEMS) буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії.

4.2.2 Планування та встановлення цілей і цільових показників

4.2.2.1 Постійне покращення стану навколишнього середовища

Важливими аспектом систем керування навколишнім середовищем є постійне покращення стану навколишнього середовища. Для цього на установці потрібно підтримувати рівновагу між споживанням енергії, сировини та води і викидами (див. розділи 1.1.6 та 2.2.1). Заплановане постійне покращення також дає змогу отримати найкраще співвідношення витрат і вигод при досягненні заощаджень енергії (та інших екологічних вигод).

2. НДТМ полягає в тому, щоб постійно мінімізувати вплив установки на навколишнє середовище шляхом комплексного планування заходів та інвестицій на коротко-, середньо- та довготермінову перспективу з урахуванням економічних вигод та міжсередовищних наслідків.

Застосовність: Усі установки.
«Постійно» означає, що заходи з часом повторюються, тобто всі рішення щодо планування та інвестицій повинні прийматися з огляду на загальну довготермінову ціль – знизити вплив експлуатації установки на навколишнє середовище. Це може означати, що доведеться відмовитися від короткотермінових заходів, аби краще використати наявні інвестиції у більш віддаленій перспективі – наприклад, внесення змін в основний процес може потребувати більших інвестицій і зайняти більше часу, проте сильніше знизити споживання енергії та викиди (див. приклади у розділі 2.2.1).

Вигоди для навколишнього середовища можуть не бути лінійними, як-от заощадження по 2 % енергії в рік протягом 10 років. Вони можуть бути ступінчастими, відображаючи інвестиції в енергоефективність, тощо (див. розділ 2.2.1). Нарівні з цим можуть спостерігатися міжсередовищні наслідки: наприклад, може бути необхідно збільшити витрату енергії для зниження викидів речовини, яка забруднює повітря.

Вплив на навколишнє середовище ніколи не можна знизити до нуля, і будуть моменти, коли від подальших заходів буде мало або взагалі не буде економічної вигоди. Однак у більш віддаленій перспективі зі зміною технологій та витрат (наприклад, цін на енергію) рентабельність також може змінитися.

4.2.2.2 Визначення аспектів енергоефективності установки та можливостей для заощадження енергії

Щоб оптимізувати енергоефективність, потрібно визначити і кількісно виразити ті аспекти установки, які впливають на енергоефективність (див. розділ 2.11). Це дасть змогу визначити, оцінити, розподілити за пріоритетністю і реалізувати заощадження енергії згідно з НДТМ 2 вище (див. розділ 2.1 (c)).

3. НДТМ полягає в тому, щоб визначити аспекти установки, які впливають на енергоефективність, шляхом проведення аудиту. Важливо, щоб аудит був узгоджений із системним підходом (див. НДТМ 7).

Застосовність: Усі існуючі установки, а також перед плануванням модернізацій або капітальних ремонтів. Аудит може бути внутрішнім або зовнішнім.

Обсяг аудиту та його характер (наприклад, ступінь деталізації, проміжок часу між аудитами) буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від споживання енергії її складовими технологічними процесами та системами (див. розділ 2.8), наприклад:

- *на великих установках з великою кількістю систем та окремими енергоспоживчими компонентами, такими як двигуни, буде необхідно розподілити пріоритети у зборі даних таким чином, щоб в першу чергу зібрати необхідну інформацію та дані про значимі випадки використання енергії;*
- *на менших установках може бути достатньо наскрізного аудиту.*

Перший енергетичний аудит для установки може називатися енергетичною діагностикою.

4. Під час проведення аудиту НДТМ полягає у тому, щоб у ході аудиту було визначено такі аспекти (див. розділ 2.11):

a. споживання і тип енергії в установці та її складових системах і технологічних процесах;

b. енергоспоживче обладнання і тип та кількість енергії, що споживається в установці;

c. можливості мінімізації споживання енергії, як-от:

- контроль / зменшення часу роботи – наприклад, вимикати обладнання, коли воно не використовується (наприклад, див. розділи 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.11);
- слідкування за тим, щоб ізоляція була оптимізована (наприклад, див. розділи 3.1.7, 3.2.11 та 3.11.3.7);
- оптимізація засобів інженерного забезпечення, пов'язаних систем та технологічних процесів (див. частину 3);

d. можливості використання альтернативних джерел або більш ефективне використання енергії – зокрема, використання надлишку енергії з інших технологічних процесів та/або систем (див. розділ 3.3);

e. можливості застосування надлишку енергії в інших технологічних процесах та/або системах (див. розділ 3.3);

f. можливості покращення якості теплової енергії (див. розділ 3.3.2).

Застосовність: Усі установки. Обсяг аудиту та його характер (наприклад, ступінь деталізації) буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від споживання енергії її складовими технологічними процесами та системами.

Приклади деяких технологій оптимізації систем і технологічних процесів наведені у відповідних розділах частини 3.

5. НДТМ полягає в тому, щоб використовувати належні інструменти або методики, які допоможуть визначити і кількісно виразити оптимізацію енергії, як-от:

- енергетичні моделі, бази даних та баланси (див. розділ 2.15);
- методики на зразок пінч-аналізу (див. розділ 2.12), аналізу ексергії чи ентальпії (див. розділ 2.13), або термоекономіки (див. розділ 2.14);
- оцінки та розрахунки (див. розділи 1.5 та 2.10.2).

Застосовність: Можна застосовувати у кожному секторі. Вибір належного інструмента або інструментів буде залежати від конкретного сектора та розміру, складності і споживання енергії об'єктом. Ці заходи будуть своїми на кожному об'єкті і розглядаються у відповідних розділах.

6. НДТМ полягає в тому, щоб виявити можливості для оптимізації регенерації енергії в межах установки, між системами в межах установки (див. НДТМ 7) та/або за участі третьої сторони (чи сторін) – наприклад, таких, як описано у розділах 3.2, 3.3 та 3.4.

Застосовність: Можливий обсяг регенерації енергії залежить від існування доцільного вжитку для тепла того типу та кількості, які можна регенерувати (див. розділи 3.3 та 3.4 і Додатки 7.10.2 та 7.10.3). Системний підхід викладений у розділі 2.2.2 та НДТМ 7).

Можливості можуть бути виявлені в різні моменти часу – наприклад, у результаті аудитів чи інших досліджень, при розгляді модернізацій або нових установок, або у разі зміни ситуації на місці (наприклад, якщо у діяльності, яка виконується поблизу, було виявлено вжиток для надлишкового тепла).

Співпраця та домовленість із третьою стороною може виходити за межі контролю оператора, а відтак може виходити за рамки дозволу з комплексного запобігання та контролю забруднень. У багатьох випадках державні органи передбачили можливість таких заходів або є такою третьою стороною.

4.2.2.3 Системний підхід до керування енергією

Найбільших виграшів у енергоефективності можна досягти, розглядаючи установку у цілому і оцінюючи потреби різних систем та їх способи використання енергії, пов'язані з ними види енергії та взаємодії між ними (див. розділи 1.3.5, 1.4.2 та 2.2.2).

7. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати енергоефективність шляхом застосування системного підходу до керування енергією в установці. Можливість цілісної оптимізації слід розглянути, наприклад, для таких систем:

- технологічні агрегати (див. BREF для сектору);
- опалювальні системи, наприклад:
  - пара (див. розділ 3.2);
  - гаряча вода;
- охолодження та вакуум (див. BREF для промислових систем охолодження);
- системи з приводом від двигуна, наприклад:
  - стиснене повітря (див. розділ 3.7);
  - насосні системи (див. розділ 3.8);
- освітлення (див. розділ 3.10);
- сушіння, сепарація та концентрування (див. розділ 3.11).

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, рівень детальності, частота оптимізації, системи, які потрібно враховувати в будь-який конкретний момент часу) застосування цієї технології буде залежати від таких чинників, як характер, масштаб та складність установки, вимоги її складових технологічних процесів та систем до енергії і технології, можливість застосування яких розглядається.

4.2.2.4 Встановлення та перегляд цілей і показників енергоефективності

Наявність зареєстрованих цілей в енергоефективності, які піддаються кількісному вираженню, має принципове значення для досягнення і підтримання енергоефективності. Сфери для вдосконалення визначаються за результатами аудиту (див. НДТМ 3). Потрібно впровадити показники для оцінки дієвості заходів з підвищення енергоефективності. У переробних галузях з цією метою бажано використовувати показники, пов'язані з продуктивністю виробництва або надання послуги (наприклад, ГДж/т продукту, див. розділ 1.3), які називаються питомою витратою енергії (ПВЕ). Також можна оцінювати ефективність окремих технологічних процесів, агрегатів або систем, якщо це корисно, або якщо єдину енергетичну ціль (як-от ПВЕ) неможливо встановити. Показники для технологічних процесів часто викладені у документах BREF для відповідних секторів (їх огляд наведено у джерелі [283, EIPPCB]).

Параметри виробництва (як-от темп виробництва, тип продукту) змінюються, і це може впливати на вимірювану енергоефективність, тому ці параметри слід реєструвати, щоб можна було пояснити відхилення у показниках і переконатися, що застосовані технології забезпечують енергоефективність (див. розділи 1.4 та 1.5). Використання та передавання енергії можуть бути складними, тож границя установки або системи, яка оцінюється, повинна бути уважно задана з огляду на системи у цілому (див. розділи 1.3.5 та 1.4.2 і НДТМ 7). Енергію слід розраховувати за первинною енергією або за рівнями споживання енергії, вираженими через вторинну енергію, для різних засобів інженерного забезпечення (наприклад, технологічне тепло може виражатися через споживання пари у ГДж/т – див. розділ 1.3.6.1).

8. НДТМ полягає в тому, щоб встановити показники енергоефективності шляхом виконання всіх перелічених нижче дій:

a. визначення належних показників енергоефективності для установки та, за необхідності, окремих технологічних процесів, систем та/або агрегатів і вимірювання їх зміни з часом або після впровадження заходів з підвищення енергоефективності (див. розділи 1.3 та 1.3.4);

b. визначення і реєстрація належних границь, пов'язаних із показниками (див. розділи 1.3.5 та 1.5.1);

c. визначення і реєстрація чинників, які можуть призвести до коливань енергоефективності відповідних технологічних процесів, систем та/або агрегатів (див. розділи 1.3.6 та 1.5.2).

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цих технологій буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від споживання енергії її складовими технологічними процесами та системами.

Для моніторингу ситуацій, які розвиваються, зазвичай використовуються вторинні або кінцеві енергії. У деяких випадках може бути найзручніше використовувати більше одного показника вторинної або кінцевої енергії – наприклад, у целюлозно-паперовій промисловості, де електроенергія та пара виражаються разом у вигляді сукупних показників енергоефективності. При прийнятті рішення про використання (або зміну) енергоносіїв та засобів інженерного забезпечення у якості показника енергії також може використовуватися вторинна або кінцева енергія. Проте для врахування виробництва будь-якого вторинного енергоносія та міжсередовищних наслідків можуть використовуватися, залежно від місцевих обставин, інші показники, як-от первинна енергія або вуглецевий баланс (див. розділ 1.3.6.1).

4.2.2.5 Бенчмаркінг

Бенчмаркінг – це потужний інструмент, який дає змогу оцінити робочі показники установки та дієвість заходів із підвищення енергоефективності, а також допомагає подолати концептуальну сліпоту[30]. Дані для бенчмаркінгу можна брати з документів BREF для конкретних секторів, з інформації, яку надають торгово-промислові асоціації, з національних методичних документів, з теоретичних розрахунків енергії для технологічних процесів, тощо. Дані повинні бути придатними для порівняння, і в них може бути потрібно внести поправки – наприклад, на тип початкового матеріалу. Велике значення може мати конфіденційність даних – наприклад, якщо на споживання енергії

[30] Концептуальна сліпота – це явище, коли панівна точка зору заважає помічати життєздатні альтернативи, тобто: «спосіб, яким ми це робимо, – найкращий, тому що ми завжди так робили».

припадає значна частка собівартості виробництва, – хоча, можливо, дані можна буде захистити (див. розділ 2.16). Також див. впровадження показників енергії у НДТМ 8.

Бенчмаркінг також можна застосовувати до технологічних процесів та методів роботи (див. розділи 2.5 та 2.16).

9. НДТМ полягає у виконанні систематичних та регулярних порівнянь з галузевими, національними чи регіональними орієнтирами за наявності перевірених даних.

Застосовність: Усі установки. Ступінь деталізації буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від споживання енергії її складовими технологічними процесами та системами. Можуть потребувати уваги питання конфіденційності (див. розділ 2.16): наприклад, результати бенчмаркінгу можуть залишатися конфіденційними. Перевіреними даними можуть вважатися дані, що містяться у документах BREF, або дані, затверджені третьою стороною. Період між еталонними перевірками залежить від конкретного сектора і зазвичай досить тривалий (тобто становить кілька років), оскільки еталонні дані рідко коли змінюються швидко або суттєво за короткий проміжок часу.

4.2.3 Енергоефективне проєктування (EED)

На етапі планування нової установки, агрегату чи системи (або їх капітального ремонту) можна врахувати витрати на енергію протягом життєвого циклу технологічних процесів, обладнання та систем інженерного забезпечення і вибрати найбільш енергоефективні варіанти з найкращою вартістю життєвого циклу (див. розділ 2.1 (c)).

10. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати енергоефективність при плануванні нової установки, агрегату чи системи або суттєвої модернізації (див. розділ 2.3) шляхом врахування всіх перелічених нижче правил:

a. енергоефективне проєктування (EED) слід розпочинати на ранніх стадіях етапу концептуального проєктування / ескізного проєктування, хоча планові інвестиції на цьому етапі можуть ще не бути чітко визначені. Енергоефективне проєктування також слід враховувати при проведенні тендеру;

b. розробка та/або вибір енергоефективних технологій (див. розділи 2.1 (k) та 2.3.1);

c. може бути потрібно виконати збір додаткових даних – у рамках розробки проєкту або окремо – для доповнення існуючих даних або заповнення прогалин у знаннях;

d. роботи з енергоефективного проєктування (EED) повинні виконуватися експертом з енергетики;

e. при початковому плануванні розподілу споживання енергії також слід розглянути, які сторони в організаціях, причетних до проєкту, впливають на майбутнє споживання енергії, і разом з ними оптимізувати енергоефективне проєктування майбутньої установки. Наприклад, це може бути персонал існуючої установки, відповідальний за встановлення проєктних параметрів.

Застосовність: Усі нові установки, основні технологічні процеси і системи, а також ті, які суттєво модернізуються. За відсутності належних штатних фахівців у галузі енергоефективності (наприклад, у неенергоємних галузях) слід залучити сторонніх фахівців з енергоефективності (див. розділ 2.3).

4.2.4 Поліпшена технологічна інтеграція

Увага до технологічної інтеграції приносить додаткові вигоди – наприклад, оптимізує споживання сировини.

11. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати використання енергії при взаємодії кількох технологічних процесів або систем (див. розділ 2.4) у межах установки або при взаємодії з третьою стороною.

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цієї технології буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії.

Співпраця та домовленість із третьою стороною може виходити за межі контролю оператора, а відтак може виходити за рамки дозволу з комплексного запобігання та контролю забруднень. У багатьох випадках державні органи передбачили можливість таких заходів або є такою третьою стороною.

4.2.5 Підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності

Щоб поточні покращення в енергоефективності успішно досягалися і надалі, необхідно підтримувати рушійну силу програм з підвищення енергоефективності (див. розділ 2.5).

12. НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати рушійну силу програми підвищення енергоефективності за допомогою різноманітних методик, як-от:

a. впровадження спеціальної системи керування енергоефективністю (див. розділ 2.1 та НДТМ 1);

b. облік споживання енергії за реальними значеннями (показниками лічильників), який накладає обов'язки на користувача / платника за рахунками і надає йому пільги за енергоефективність (див. розділи 2.5, 2.10.3 та 2.15.2);

c. створення фінансових центрів прибутку від енергоефективності (див. розділ 2.5);

d. бенчмаркінг (див. розділ 2.16 та НДТМ 9);

e. свіжий погляд на існуючі системи керування – наприклад, застосування високих стандартів господарської діяльності (див. розділ 2.5);

f. застосування методик управління змінами (це також риса високих стандартів господарської діяльності – див. розділ 2.5).

Застосовність: Усі установки. Може бути доцільно використовувати одну методику або кілька методик разом. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цих технологій буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від споживання енергії її складовими технологічними процесами та системами. Методики (a), (b) та (c) застосовуються і підтримуються згідно з відповідними розділами, на які наведено посилання. Методики на зразок (d), (e) та (f) слід застосовувати через достатні проміжки часу, щоб можна було оцінити успіхи програми підвищення енергоефективності, тож інтервали між ними, імовірно, будуть становити кілька років.

4.2.6 Підтримання кваліфікації

Для реалізації та контролю за керуванням енергоефективністю потрібні кадрові ресурси, і персонал, робота якого може впливати на використання енергії, повинен пройти навчання (див. розділ 2.1 (d) (i) та (ii) і розділ 2.6).

13. НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати кваліфікацію у сфері енергоефективності та енергоспоживчих систем шляхом застосування методик на зразок таких:

a. наймання кваліфікованих кадрів та/або підготовка кадрів. Навчання може проводитися штатним персоналом, сторонніми фахівцями, у вигляді короткотермінових професійних курсів або самоосвіти / саморозвитку (див. розділ 2.6);

b. періодичне виведення персоналу з роботи для виконання строкових / спеціальних досліджень (на установці, де вони до цього працювали, або на інших установках – див. розділ 2.5);

c. спільне використання внутрішніх ресурсів підприємства різними об'єктами (див. розділ 2.5);

d. залучення консультантів з належною кваліфікацією для виконання строкових досліджень (див., наприклад, розділ 2.11);

e. аутсорсинг спеціалізованих систем та/або функцій (див., наприклад, Додаток 7.12).

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цих методик буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії.

4.2.7 Ефективне керування технологічними процесами

14. НДТМ полягає в тому, щоб забезпечувати здійснення ефективного керування технологічними процесами за допомогою методик на зразок таких:

a. наявність у розпорядженні систем, за допомогою яких можна слідкувати, щоб персонал знав, розумів відповідні процедури і дотримувався їх (див. розділи 2.1 (d) (vi) та 2.5);

b. слідкування за тим, щоб ключові робочі параметри були визначені, оптимізовані з точки зору енергоефективності і контролювалися (див. розділи 2.8 та 2.10);

c. документування або реєстрація цих параметрів (див. розділи 2.1 (d) (vi), 2.5, 2.10 та 2.15).

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цих методик буде залежати від сектора, характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії.

4.2.8 Технічне обслуговування

Для досягнення та підтримання енергоефективності обов'язковим є організоване технічне обслуговування та ремонт обладнання, яке споживає енергію та/або керує споживанням енергії, при першій же нагоді (див. розділи 2.1 (d) (vii), 2.9 та НДТМ 1).

15. НДТМ полягає в тому, щоб виконувати технічне обслуговування на установках для оптимізації енергоефективності з дотриманням усіх наведених нижче правил:

a. чітке розмежування відповідальності за планування та виконання технічного обслуговування;

b. впровадження структурованої програми технічного обслуговування на основі технічних описів обладнання, норм, тощо, а також усіх відмов обладнання та їх наслідків. Деякі роботи з технічного обслуговування найкраще планувати на періоди зупинки установки;

c. доповнення програми технічного обслуговування належними системами ведення записів та діагностичним випробуванням;

d. виявлення потенційних програшів в енергоефективності або можливостей поліпшення енергоефективності за результатами планового технічного обслуговування і даними про виходи з ладу та порушення нормальних умов;

e. виявлення витоків, зламаного обладнання, зношених підшипників, тощо, які обумовлюють або впливають на споживання енергії, і виправлення цих недоліків при першій же нагоді.

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цих методик буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії. Оперативне виконання ремонтів має бути збалансоване (за потреби) з підтриманням якості продукту та стабільності технологічного процесу, а також питаннями охорони здоров'я і техніки безпеки при виконанні ремонтів на працюючій установці (наприклад, вона може містити рухоме та/або гаряче обладнання, тощо).

4.2.9 Моніторинг та вимірювання

Моніторинг та вимірювання – це невід'ємна складова впровадження системи «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів», наприклад, в енергетичному менеджменті (розділ 2.1). Крім того, це складова ефективного керування технологічними процесами (див. НДТМ 14).

16. НДТМ полягає в тому, щоб впровадити і підтримувати документовані процедури регулярного моніторингу і вимірювання ключових характеристик операцій та діяльності, які можуть суттєво впливати на енергоефективність. Деякі належні процедури описані у розділі 2.10.

Застосовність: Усі установки. Обсяг та характер (наприклад, ступінь деталізації) застосування цієї технології буде залежати від характеру, масштабу та складності установки, а також від вимог її складових технологічних процесів та систем до енергії.

4.3 Найкращі доступні технології та методи управління для досягнення енергоефективності в енергоспоживчих системах, технологічних процесах, діяльності та обладнанні

Вступ
У розділі 4.2.2.3 підкреслена важливість бачення установки як єдиного цілого та оцінювання потреб і цілей різних систем, пов'язаних з ними енергій та взаємодій між ними. У НДТМ 7 наведено приклади систем, які часто зустрічаються на установках.

У розділі 4.2 викладено НДТМ, які загалом можуть застосовуватися до всіх систем, технологічних процесів та пов'язаних з ними видів діяльності. До них належать:

- аналіз та еталонне порівняння системи і її робочих показників (НДТМ 1, 3, 4, 8 та 9);
- планування заходів та інвестицій для оптимізації енергоефективності з урахуванням економічних вигод і міжсередовищних наслідків (НДТМ 2);
- для нових систем – оптимізація енергоефективності при проєктуванні установки, агрегату або системи та при виборі технологічних процесів (НДТМ 10);
- для існуючих систем – оптимізація енергоефективності системи через її експлуатацію та керування нею, у тому числі шляхом регулярного моніторингу та технічного обслуговування (див. НДТМ 14, 15 та 16).

Тому НДТМ, викладені у цьому розділі передбачають, що до описаних нижче систем у рамках їх оптимізації також застосовуються ці загальні НДТМ, наведені у розділі 4.2.

4.3.1 Спалювання

Спалювання – це процес, який широко застосовується як для безпосереднього нагрівання (наприклад, у виробництві цементу та вапна, сталеплавильній промисловості), так і для опосередкованого нагрівання (наприклад, нагрівання систем парових котлів та виробництво електроенергії). Тому технології підвищення енергоефективності для спалювання розглядаються у документах BREF для відповідних секторів. Стосовно інших випадків, як-от спалювання у ході супутніх видів діяльності, у пункті «Сфера застосування» Довідкового документа з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) зазначено:

«...до станції потенційно можна додати невеликі агрегати, щоб побудувати одну велику установку потужністю понад 50 МВт. Це означає, що ця робота (Довідковий документ з НДТМ для великих спалювальних установок – LCP) охоплює всі види традиційних електростанцій (наприклад, енергетичні котли, теплоелектроцентралі, теплоцентралі), які використовуються для виробництва механічної потужності та тепла».

17. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати енергоефективність спалювання за допомогою відповідних технологій, як-от:

- технології, специфічні для секторів і описані у галузевих документах BREF;
- технології, наведені у Таблиці 4.1.

	Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива й розділом				Технології, описані у цьому документі (Довідковий документ з НДТМ для енергоефективності – ENE), за розділом
	Кам'яне та буре вугілля	Біомаса та торф	Рідке паливо	Газоподібне паливо	
Попереднє сушіння бурого вугілля	4.4.2				
Газифікація вугілля	4.1.9.1 4.4.2 7.1.2				
Сушіння палива		5.1.2, 5.4.2 5.4.4			
Газифікація біомаси		5.4.2 7.1.2			
Пресування кори		5.4.2 5.4.4			
Розширювальна турбіна для регенерації енергії, що міститься в газах під тиском				7.1.1, 7.1.2 7.4.1, 7.5.1	
Когенерація	4.5.5 6.1.8	5.3.3 5.5.4	4.5.5, 6.1.8	7.1.6, 7.5.2	3.4 Когенерація
Розширене автоматизоване керування умовами згорання для зниження викидів та підвищення ефективності роботи котла	4.2.1 4.2.1.9 4.4.3 4.5.4	5.5.3	6.2.1, 6.2.1.1 6.4.2, 6.5.3.1	7.4.2, 7.5.2	
Використання теплоти, що міститься в димових газах, для централізованого опалення	4.4.3				
Мала кількість надлишкового повітря	4.4.3 4.4.6	5.4.7	6.4.2, 6.4.5	7.4.3	3.1.3 Зменшення масової витрати димових газів шляхом зменшення кількості надлишкового повітря

	Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива та розділом				Технології, описані у цьому документі (Довідковий документ з НДТМ для енергоефективності – ENE), за розділом
	Кам'яне та буре вугілля	Біомаса та торф	Рідке паливо	Газоподібне паливо	
Зниження температур вихлопних газів	4.4.3		6.4.2		3.1.1 Зниження температури димових газів за допомогою таких технологій: • вибір розмірів, які забезпечать максимальну ефективність роботи, з застосуванням розрахункового коефіцієнта запасу для врахування додаткових навантажень; • посилення теплопередачі до технологічного процесу шляхом збільшення коефіцієнта теплопередачі або збільшення чи вдосконалення поверхонь теплопередачі; • регенерація тепла шляхом об'єднання з додатковим процесом (наприклад, виробництвом пари за допомогою економайзерів) для регенерації відхідного тепла, що міститься у димових газах; • встановлення повітряного (чи водяного підігрівача) або підігрівання палива за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділи 3.1.1 та 3.1.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо); • очищення поверхонь теплопередачі, які поступово вкриваються золою або вуглевмісними твердими частками, для підтримання високої ефективності теплопередачі. Чистоту конвективних зон можна підтримувати за допомогою сажообдувальних апаратів. Очищення поверхонь теплопередачі у зоні згорання, як правило, здійснюється під час зупинки на огляд і технічне обслуговування, проте у деяких випадках (наприклад, у нагрівниках нафтопереробних заводів) може застосовуватися оперативне очищення.
Низька концентрація CO у димових газах	4.4.3		6.4.2		
Акумулювання тепла			6.4.2	7.4.2	
Скиди з градирні	4.4.3		6.4.2		
Різні технології для системи охолодження (див. Довідковий документ з НДТМ для промислових систем охолодження – ICS BREF)	4.4.3		6.4.2		

	Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких спалювання не розглянуте у галузевому документі BREF				
	Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива й розділом				Технології, описані у цьому документі (Довідковий документ з НДТМ для енергоефективності – ENE), за розділом
	Кам'яне та буре вугілля	Біомаса та торф	Рідке паливо	Газоподібне паливо	
Підігрівання газоподібного палива за допомогою відхідного тепла				7.4.2	3.1.1 Зниження температури димових газів: • підігрівання палива за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо)
Підігрівання повітря, що надходить для згорання				7.4.2	3.1.1 Зниження температури димових газів: • встановлення підігрівача повітря, який працює за рахунок теплообміну з димовими газами (див. розділ 3.1.1.1). Зверніть увагу, що технологічний процес може потребувати підігрівання повітря, якщо у ньому потрібна висока температура полум'я (виробництво скла, цементу, тощо)
Рекуперативні та регенеративні пальники					3.1.2
Регулювання та контроль пальників					3.1.4
Вибір палива					Зверніть увагу, що використання невикопних видів палива може бути більш екологічним, навіть якщо енергоефективність їх використання нижча
Киснево-паливне горіння (кисневе паливо)					3.1.6
Зменшення втрат тепла через ізоляцію					3.1.7
Зменшення втрат через дверцята топки					3.1.8
Спалювання в киплячому шарі	4.1.4.2	5.2.3			

Таблиця 4.1. Технології для підвищення енергоефективності спалювальних систем

4.3.2 Парові системи

Пара набула широкого вжитку як теплоносій завдяки своїй нетоксичності, стабільності, низькій вартості, високій теплоємності та гнучкості у використанні. Ефективністю використання пари часто нехтують, оскільки її не так легко виміряти, як термічний ККД котла. Її можна визначити за допомогою інструментів на зразок тих, що описані у НДТМ 5, у поєднанні з належним моніторингом (див. розділ 2.10).

18. НДТМ для парових систем полягає в оптимізації енергоефективності за допомогою, наприклад, таких технологій:

- технології, специфічні для секторів і описані у галузевих документах BREF;
- технології, наведені у Таблиці 4.2.

Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких парові системи не розглянуті у галузевому документі BREF		
Технології у документі BREF для енергоефективності		
	Переваги	***Розділ у цьому документі***
ПРОЄКТУВАННЯ		
Енергоефективне проєктування та монтаж паророзподільного трубопроводу	Оптимізує заощадження енергії	2.3
Дросельні пристрої та використання турбін з протитиском: використання турбін з протитиском замість клапанів скидання тиску	Більш ефективний спосіб зниження тиску пари у процесах із низьким тиском. Можна застосовувати, якщо використання турбіни обґрунтоване з точки зору розміру та економічних міркувань	
ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ		
Удосконалення процедур експлуатації та засобів керування котлом	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
Використання засобів послідовного керування котлами (стосується лише об'єктів з кількома котлами)	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
Встановлення відсічних шиберів на димоходах (стосується лише об'єктів з кількома котлами)	Оптимізує заощадження енергії	3.2.4
ВИРОБНИЦТВО ПАРИ		
Підігрівання живильної води: • за рахунок відхідного тепла – наприклад, від технологічного процесу • в економайзерах за допомогою повітря, що подається для згорання • з використанням деаерованої живильної води для нагрівання конденсату • шляхом конденсації пари, що використовується для нагрівання та відгону газів із живильної води, яка надходить у деаератор, через теплообмінник	Дає змогу регенерувати тепло, наявне у вихлопних газах, і повернути його у систему шляхом підігрівання живильної води	3.2.5 3.1.1
Запобігання утворенню та видалення накипу з поверхонь теплопередачі (очищення поверхонь теплопередачі у котлі)	Сприяє ефективній теплопередачі від газоподібних продуктів згоранні до пари	3.2.6
Мінімізація продувок котла шляхом покращення водопідготовки. Встановлення автоматичного засобу контролю загальної мінералізації води	Зменшує загальну мінералізацію котлової води: це дає змогу зменшити обсяг продувки, а відтак зменшити втрати енергії	3.2.7
Додаткове встановлення / ремонт вогнетривкої футеровки котла	Зменшує втрати тепла з котла і відновлює ККД котла	3.1.7 2.9
Оптимізація величини скидів випару з деаератора	Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути	3.2.8

Мінімізація втрат котла внаслідок роботи короткими циклами	Оптимізує заощадження енергії	3.2.9
Виконання технічного обслуговування котла		2.9
РОЗПОДІЛ		
Оптимізація систем розподілу пари (з особливою увагою до питань, описаних нижче)		2.9 та 3.2.10
Відсікання пари від ліній, які не використовуються	Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути, і зменшує втрати енергії з поверхонь трубопроводів та обладнання	3.2.10
Ізоляція паропроводів та трубопроводів повернення конденсату (прослідкувати, щоб трубопроводи, клапани, фітинги та резервуари парової системи були добре ізольовані)	Зменшує втрати енергії з поверхонь трубопроводів та обладнання	3.2.11 та 3.2.11.1
Впровадження програми контролю та ремонту конденсатовідвідників	Зменшує пропускання гострої пари у систему конденсату і сприяє ефективній роботі теплообмінного обладнання, у якому відбувається кінцеве використання пари Мінімізує втрати пари, яких можна уникнути	3.2.12
РЕГЕНЕРАЦІЯ		
Технології для секторів та пов'язані з ними види діяльності у випадках, для яких парові системи не розглянуті у галузевому документі BREF		
Збір і повернення конденсату в котел для повторного використання (оптимізація регенерації конденсату)	Регенерує теплову енергію, присутню в конденсаті, і зменшує кількість підживлювальної води, яку потрібно додавати в систему: завдяки цьому заощаджується енергія та хімічні речовини, що використовуються для водопідготовки	3.2.13
Повторне використання м'ятої пари. (використання конденсату під високим тиском для виробництва пари низького тиску)	Дає змогу використати енергію, наявну у зворотному конденсаті	3.2.14
Регенерація енергії з продувок котла	Передає енергію, наявну у потоці продувки, назад у систему, і таким чином зменшує втрати енергії	3.2.15

Технології, описані у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP) від липня 2006 року, за типом палива та розділом				
	Кам'яне та буре вугілля	***Біомаса та торф***	***Рідке паливо***	***Газоподібне паливо***
Розширювальна турбіна для регенерації енергії, що міститься в газах під тиском				7.4.1 та 7.5.1
Заміна лопаток турбіни	4.4.3	5.4.4	6.4.2	
Використання сучасних матеріалів для отримання високих параметрів пари	4.4.3		6.4.2	7.4.2
Надкритичні параметри пари	4.4.3, 4.5.5		6.4.2	7.1.4
Подвійне проміжне перегрівання пари	4.4.3, 4.5.5		6.4.2, 6.5.3.1	7.1.4, 7.4.2, 7.5.2
Регенеративна живильна вода	4.2.3, 4.4.3	5.4.4	6.4.2	7.4.2
Використання теплоти, що міститься в димових газах, для централізованого опалення	4.4.3			
Акумулювання тепла			6.4.2	7.4.2
Розширене автоматизоване керування газовою турбіною та встановленими за нею котлами-утилізаторами				7.4.2

Таблиця 4.2. Технології для підвищення енергоефективності парових систем

4.3.3 Регенерація тепла

Основні типи систем регенерації тепла описані у розділі 3.3:

- теплообмінники (див. розділ 3.3.1);
- теплові насоси (див. розділ 3.3.2).

Теплообмінні системи широко застосовуються з хорошими результатами у багатьох секторах промисловості та системах, і широко практикується їх задіяння у реалізації НДТМ 5 та 11. Усе частіше використовуються теплові насоси.

Використання «відпрацьованого» або надлишкового тепла може бути більш екологічним, ніж використання первинних видів палива, навіть якщо енергоефективність їх використання нижча.

Регенерацію тепла неможливо застосувати в тих випадках, коли на нього немає попиту, який би відповідав кривій виробництва. Проте вони набувають усе ширшого вжитку, і в багатьох випадках – за межами установки (див. розділ 3.4 та Додаток 7.10).

Технології охолодження та пов'язані з ними НДТМ – у тому числі технології технічного обслуговування теплообмінників – описані у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS).

19. НДТМ полягає в тому, щоб підтримувати ефективність теплообмінників шляхом одночасного застосування таких двох методик:

a. періодичний моніторинг ефективності; та

b. профілактика або усунення засмічень.

Див. розділ 3.3.1.1.

4.3.4 Когенерація

Когенерація викликає велику зацікавленість, і на рівні Європейської спільноти цьому посприяло прийняття Директиви 2004/8/ЕС про сприяння когенерації та Директиви 2003/96/ЕС про оподаткування енергоресурсів, а також різні політики та стимули, що діють на національному рівні. На сьогодні рентабельними можуть виявитися порівняно малопотужні установки, і для них також можуть існувати стимули. У багатьох випадках когенерація була успішно впроваджена за підтримки місцевих органів влади. Див. розділ 3.4 та Додаток 7.10.3 і 7.10.4.

Моделювання засобів інженерного забезпечення, описане у розділі 2.15.2, може допомогти в оптимізації системи виробництва енергоресурсів та регенерації тепла, а також у керуванні продажем та купівлею надлишкової енергії.

20. НДТМ полягає в тому, щоб шукати можливості для когенерації – в межах та/або за межами установки (у співпраці з третьою стороною).

Застосовність: Співпраця та домовленість із третьою стороною може виходити за межі контролю оператора, а відтак може виходити за рамки дозволу з комплексного запобігання та контролю забруднень.

Когенерація з великою ймовірністю буде залежати від економічних умов настільки ж, наскільки від міркувань оптимізації енергоефективності. Можливості для когенерації слід шукати при визначенні можливостей для інвестицій з боку виробника енергії або з боку потенційного клієнта, при визначенні потенційних партнерів або у разі змін в економічній ситуації (ціни на тепло, паливо, тощо).

Загалом можливість когенерації є сенс розглядати, коли:

- *потреба в теплі та електроенергії існує одночасно;*
- *існує потреба в теплі (на самому об'єкті та/або за межами об'єкта), яку з точки зору кількості (часу роботи протягом року), температури, тощо можна задовольнити теплом, яке буде надходити від установки з комбінованого виробництва тепла та електроенергії, і в майбутньому не очікується суттєвих знижень потреби в теплі.*

У розділі 3.4 розглядається застосування когенерації, різні типи когенераційних установок (теплоелектроцентралей) та їх застосовність в окремих випадках.

Успіх реалізації може залежати від наявності вигідних цін на паливо та/або тепло порівняно з ціною на електроенергію. У багатьох випадках державні органи (на місцевому, регіональному чи національному рівні) передбачили можливість таких заходів або є такою третьою стороною.

4.3.5 Електропостачання

Якість електропостачання та спосіб використання електроенергії може впливати на енергоефективність – див. розділ 3.5. Це питання може бути важким для розуміння, і ним часто нехтують. Енергія часто втрачається через непродуктивне споживання потужності в межах установки та в зовнішній мережі електропостачання. Також можуть спостерігатися втрати потужності в електророзподільній мережі установки, які призводять до падінь напруги, внаслідок яких двигуни та інше обладнання перегрівається і передчасно відмовляє. Крім того, це може призводити до підвищення тарифів при купівлі електроенергії.

21. НДТМ полягає в тому, щоб збільшити коефіцієнт потужності згідно з вимогами місцевої енергорозподільної компанії за допомогою методик на зразок описаних у Таблиці 4.3, залежно від їх застосовності (див. розділ 3.5.1).

Технологія	Застосовність
Встановлення конденсаторів у ланцюгах змінного струму для зменшення амплітуди реактивної потужності	У всіх випадках. Конденсатори дешеві і довговічні, проте для їх застосування потрібна кваліфікація
Зведення до мінімуму роботи двигунів на холостому ходу або під малим навантаженням	У всіх випадках
Недопущення роботи обладнання з перевищенням його номінальної напруги	У всіх випадках
Використання енергоефективних двигунів у разі заміни двигунів (див. розділ 3.6.1)	Під час заміни

Таблиця 4.3. Технології компенсації коефіцієнта потужності з метою підвищення енергоефективності

22. НДТМ полягає в тому, щоб перевіряти електричне живлення на наявність гармонічних складових і за потреби застосовувати фільтри (див. розділ 3.5.2).

23. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати ефективність електричного живлення за допомогою методик на зразок тих, що описані у Таблиці 4.4, залежно від їх застосовності:

Технологія	Застосовність	Розділ у цьому документі
Прослідкувати, щоб розмір кабелів живлення відповідав споживаній потужності	Тоді, коли обладнання не використовується, – наприклад, у період зупинки, або при розміщенні чи переміщенні обладнання	3.5.3
Слідкувати, щоб під'єднані до мережі трансформатор(и) працювали під навантаженням вище 40 – 50 % від їх номінальної потужності	• Для існуючих установок: якщо поточний коефіцієнт потужності нижчий, ніж 40 %, і є більше одного трансформатора • У разі заміни слід використовувати трансформатор з низькими втратами, який працюватиме під навантаженням у 40 – 75 %	3.5.4
Використовувати трансформатори з високим ККД / низькими втратами	Під час заміни, або якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу	3.5.4
Розташовувати обладнання, яке споживає багато електроенергії, якомога ближче до джерела живлення (наприклад, трансформатора)	При розміщенні чи переміщенні обладнання	3.5.4

Таблиця 4.4. Технології для підвищення енергоефективності електропостачання

4.3.6 Підсистеми з приводом від електродвигунів

Електродвигуни широко застосовуються у промисловості. Заміна двигунів двигунами з високим електричним ККД (ЕЕД) та частотно-регульованими приводами (VSD) – це один із найлегших способів підвищити енергоефективність. Проте це слід робити з урахуванням усієї системи, в якій встановлено двигун, інакше є ризик, що:

- будуть втрачені потенційні переваги, досягнуті за рахунок оптимізації використання та розміру системи, а відтак і оптимізації вимог до приводу від двигуна;
- буде втрачатися енергія, якщо частотно-регульований привід застосовується в неправильних умовах.

Основними системами, у яких використовуються електродвигуни, є:

- системи стисненого повітря (ССП, див. розділ 3.7);
- насосні системи (див. розділ 3.8);
- системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (див. розділ 3.9);
- охолоджувальні системи (див. Довідковий документ з НДТМ для промислових систем охолодження – ICS).

24. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати електродвигуни у такій послідовності (див. розділ 3.6):

1. оптимізувати всю систему, до складу якої входять двигун(и) (наприклад, систему охолодження – див. розділ 1.5.1);
2. після цього оптимізувати двигун(и) у системі з огляду на заново визначені вимоги до навантаження за допомогою однієї чи кількох методик з Таблиці 4.5, залежно від їх застосовності.

Захід із заощадження енергії у системі з приводом від двигуна	Застосовність	Розділ у цьому документі[1]
ВСТАНОВЛЕННЯ або ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ		
Використання енергоефективних двигунів (ЕЕД)	Якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу	3.6.1
Вибір належного розміру двигуна	Виграш у вартості життєвого циклу	3.6.2
Встановлення частотно-регульованих приводів (VSD)	Використання частотно-регульованих приводів може обмежуватися вимогами щодо надійності та безпеки. Залежно від навантаження. Слід пам'ятати, що в системах, у яких є кілька машин зі змінним навантаженням, як-от СПП, може бути оптимально використовувати лише один двигун з частотно-регульованим приводом	3.6.3
Встановлення систем передачі / редукторів з високим ККД	Якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу	3.6.4
Використання: • безпосереднього зчеплення, якщо це можливо • синхронних пасів або зубчатих клинових пасів замість клинових пасів; • косозубих зубчатих передач замість черв'ячних передач	Усі випадки	3.6.4
Енергоефективний ремонт двигуна (EEMR) або заміна на енергоефективний двигун	Під час ремонту	3.6.5
Перемотування: уникати перемотування і натомість замінити на енергоефективний двигун, або звернутися до сертифікованого підрядника з перемотування (виконавця енергоефективного ремонту двигуна – EEMR)	Під час ремонту	3.6.6
Контроль якості електроенергії	Виграш у вартості життєвого циклу	3.5
ЕКСПЛУАТАЦІЯ та ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ		
Змащування, регулювання, налагодження	У всіх випадках	2.9
Примітка[1]. Інформація про міжсередовищні наслідки, застосовність та економіку викладена у розділі 3.6.7		

Таблиця 4.5. Технології для підвищення енергоефективності електродвигунів

v) після того, як енергоспоживчі системи були оптимізовані, оптимізувати решту двигунів (неоптимізовані двигуни), користуючись методиками з Таблиці 4.5 і, наприклад, такими критеріями:

i) з тих двигунів, що залишилися, в першу чергу заміняти двигунами з високим електричним ККД ті двигуни, що напрацьовують понад 2000 годин на рік;

ii) розглянути можливість оснащення частотно-регульованими приводами тих двигунів, які приводять у дію змінне навантаження, працюють на потужності менше 50 % протягом більш ніж 20 % їх часу роботи і напрацьовують понад 2000 годин на рік.

4.3.7 Системи стисненого повітря (ССП)

Стиснене повітря широко застосовується як складова технологічного процесу або для постачання механічної енергії. Воно широко вживається там, де існує ризик вибуху, займання, тощо. У багатьох випадках воно використовується як невід'ємна складова процесу (наприклад, для постачання азоту низької частоти у якості інертної атмосфери, та з метою дуття, лиття або перемішування), і його механічний ККД важко оцінити. У деяких випадках – наприклад, коли воно приводить в дію невеликі турбіни, як-от у монтажних інструментах – його загальна ефективність низька, і, якщо немає обмежень з точки зору охорони здоров'я та техніки безпеки, можна розглянути можливість заміни такого приводу іншими приводами (див. розділ 3.7).

25. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати системи стисненого повітря (ССП) за допомогою технологій на зразок тих, що описані у Таблиці 4.6, залежно від їх застосовності:

Технологія	Застосовність	Розділ у цьому документі
ПРОЄКТУВАННЯ, ВСТАНОВЛЕННЯ або ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ		
Проєкт системи у цілому, у тому числі для систем з кількома тисками	Нова установка або суттєва модернізація	3.7.1
Модернізація компресора	Нова установка або суттєва модернізація	3.7.1
Удосконалення охолодження, сушіння та фільтрування	Без урахування більш частої заміни фільтра (див. нижче)	3.7.1
Зменшення втрат тиску на тертя (наприклад, шляхом збільшення діаметру трубопроводу)	Нова установка або суттєва модернізація	3.7.1
Удосконалення приводів (високоефективні двигуни)	Найбільш рентабельно у невеликих системах (<10 кВт)	3.7.2, 3.7.3, 3.6.4
Удосконалення приводів (регулювання швидкості)	Можна застосовувати у системах зі змінним навантаженням На установках з кількома машинами частотно-регульованим приводом потрібно обладнати лише одну машину	3.7.2
Використання високотехнологічних систем керування		3.7.4
Регенерація відхідного тепла для використання з іншою метою	Зверніть увагу, що вказаний виграш – це виграш в енергії, а не споживанні електроенергії, оскільки електроенергія перетворюється у корисне тепло	3.7.5

Використання прохолодного повітря знадвору у якості вхідного повітря	Якщо є доступ	3.7.8
Зберігання стисненого повітря поблизу споживачів з великими коливаннями потреби	У всіх випадках	3.7.10
ЕКСПЛУАТАЦІЯ та ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ		
Оптимізація деяких пристроїв, які є кінцевими споживачами	У всіх випадках	3.7.1
Зменшення витоків повітря	У всіх випадках. Найбільший потенційний виграш	3.7.6
Частіша заміна фільтра	Потрібно перевіряти у всіх випадках	3.7.7
Оптимізація робочого тиску	У всіх випадках	3.7.9

Таблиця 4.6. Технології для підвищення енергоефективності систем стисненого повітря

4.3.8 Насосні системи

Приблизно 30 – 50 % енергії, яка споживається насосними системами, можна було б заощадити шляхом внесення змін в обладнання або систему керування (див. розділ 3.8).

Стосовно електродвигунів, що приводять у дію насоси, див. НДТМ 24. Проте використання частотно-регульованих приводів (ключова технологія) також згадується у Таблиці 4.7.

26. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати насосні системи за допомогою технологій із Таблиці 4.7 залежно від їх застосовності (див. розділ 3.8):

Технологія	Застосовність	Розділ у цьому документі	Додаткова інформація
ПРОЄКТУВАННЯ			
Не вибирати надто великі насоси і замінити насоси надто великого розміру	Для нових насосів: у всіх випадках Для існуючих насосів: якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу	3.8.1 3.8.2	Найбільше з окремих джерел марної втрати енергії насоса
При виборі правильного насоса слідкувати, щоб для його режиму роботи було підібрано правильний двигун	Для нових насосів: у всіх випадках Для існуючих насосів: якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу	3.8.2 3.8.6	
Проєктування системи трубопроводів (див. розділ таблиці «Розподільна система» нижче)		3.8.3	
КЕРУВАННЯ та ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ			
Система керування та регулювання	У всіх випадках	3.8.5	
Вимкнути зайві насоси	У всіх випадках	3.8.5	
Використовувати частотно-регульовані приводи (VSD)	Якщо це вигідно з огляду на вартість життєвого циклу. Не застосовно, якщо подача стала	3.8.5	Див. НДТМ 24 у розділі 4.3.6
Використовувати кілька насосів (зі ступінчастим увімкненням)	Якщо подача насосної системи менша, ніж половина максимальної продуктивності одного насоса	3.8.5	

Регулярне технічне обслуговування. Якщо обсяг позапланових технічних обслуговувань стає надто великим, слід перевірити насос на предмет: • кавітації • зношування • неправильного типу насоса	У всіх випадках. Відремонтувати або за потреби замінити	3.8.4	
РОЗПОДІЛЬНА СИСТЕМА			
Мінімізувати кількість клапанів та вигинів настільки, щоб зберегти простоту експлуатації та технічного обслуговування	У всіх випадках під час проєктування та встановлення (у тому числі при внесенні змін). Може знадобитися кваліфікована технічна консультація	3.8.3	
Не влаштовувати надто багато вигинів (особливо крутих вигинів)	У всіх випадках під час проєктування та встановлення (у тому числі при внесенні змін). Може знадобитися кваліфікована технічна консультація	3.8.3	
Прослідкувати, щоб діаметр трубопроводу не був надто малим (забезпечити правильний діаметр трубопроводу)	У всіх випадках під час проєктування та встановлення (у тому числі при внесенні змін). Може знадобитися кваліфікована технічна консультація	3.8.3	

Таблиця 4.7. Технології для підвищення енергоефективності насосних систем

Зверніть увагу, що при дросельному регулювання марні втрати енергії менші, ніж при регулюванні перепуску або за відсутності регулювання. Проте у всіх цих випадках марно втрачається енергії, і слід розглянути можливість заміни системи з урахуванням розміру насоса та частоти його використання.

4.3.9 Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВіК)

Типова система ОВіК складається з обладнання, яке виконує деякі або всі з перелічених нижче функцій:

- нагрівання системи (стосовно котлів див. розділ 3.2; стосовно теплових насосів див. розділ 3.3.2, тощо);
- охолодження (див. розділ 3.3);
- насоси (див. розділ 3.8);
- теплообмінники (див. розділ 3.3.1), які передають або поглинають теплоту з приміщення або технологічного процесу;
- обігрівання та охолодження приміщень (див. розділ 3.9.1);
- вентиляція за допомогою вентиляторів, які відводять або підводять повітря через повітропроводи у теплообмінники чи з теплообмінників та/або шляхом заміни на зовнішнє повітря (див. розділ 3.9.2).

Дослідження показали, що близько 60 % енергії у системі ОВіК споживаються чилером / тепловим насосом, а решта 40 % – периферійним обладнанням. Кондиціювання повітря набуває все ширшого вжитку у Європі, особливо на півдні.

Вентиляція необхідна для роботи багатьох промислових установок. Вона:

- захищає персонал від забруднюючих речовин і теплового випромінювання на території об'єкта;
- підтримує чисту робочу атмосферу для захисту якості продукції.

Вимоги до вентиляції можуть диктуватися міркуваннями охорони здоров'я, техніки безпеки та потреб технологічного процесу (див. розділ 3.9).

27. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря за допомогою технологій на зразок таких:

- для вентиляції, обігрівання та охолодження приміщень – технології з Таблиці 4.8 залежно від їх застосовності;
- стосовно обігрівання див. розділи 3.2 та 3.3.1 і НДТМ 18 та 19;
- стосовно насосних систем див. розділ 3.8 та НДТМ 26;
- стосовно охолодження, чилерів та теплообмінників див. Довідковий документ з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS), а також розділ 3.3 та НДТМ 19 (у цьому документі).

Захід із заощадження енергії	Застосовність	Розділ у цьому документі
ПРОЄКТУВАННЯ та КЕРУВАННЯ		
Загальний проєкт системи. Окремо визначити і обладнати такі зони: • загальна вентиляція • спеціальна вентиляція • технологічна вентиляція	Нова установка або суттєва модернізація. Слід розглянути можливість переобладнання з огляду на співвідношення витрат і вигод за весь життєвий цикл	3.9.1 3.9.2.1
Оптимізувати кількість, форму та розмір повітрозабірників	Нова установка або модернізація	3.9.2.1
Використовувати вентилятори: • з високим ККД • розраховані на роботу з оптимальним навантаженням	Економічно ефективно у будь-якому випадку	3.9.2.1 3.9.2.2
Керувати витратою повітря, у тому числі розглянути можливість влаштування припливно-витяжної вентиляції	Нова установка або суттєва модернізація	3.9.2.1
Проєктування повітряної системи: • повітропроводи достатнього розміру • повітропроводи з круглим перерізом • уникати довгих трас та перешкод, як-от вигини, звужені ділянки	Нова установка або суттєва модернізація	3.9.2.1
Оптимізувати електродвигуни і розглянути можливість встановлення частотно-регульованого привода (VSD)	У всіх випадках. Економічно ефективне переобладнання	3.9.2.1, 3.9.2.2, 3.6, 3.6.3, 3.6.7 та НДТМ 24
Використовувати автоматичні системи керування. Об'єднати з системами централізованого технічного керування	Усі нові установки та суттєві модернізації. Економічно ефективно і легко модернізується у будь-якому випадку	3.9.2.1 3.9.2.2
Встановлення повітряних фільтрів у систему повітропроводів і регенерація тепла з витяжного повітря (теплообмінники)	Нова установка або суттєва модернізація. Слід розглянути можливість переобладнання з огляду на співвідношення витрат і вигод за весь життєвий цикл. Потрібно враховувати такі питання: термічний ККД, втрата тиску та потреба в регулярному очищенні	3.9.2.1 3.9.2.2
Зменшити потребу в обігріванні / охолодженні за допомогою таких заходів: • ізоляція будівлі • ефективне скління • зменшення підсмоктування повітря • автоматичне закривання дверей	У будь-якому випадку розглянути можливість застосування і реалізувати, якщо це доцільно з огляду на співвідношення витрат і вигод	3.9.1

• усунення розшарування повітря у приміщенні • зниження уставки температури у невиробничі періоди (програмоване регулювання) • зниження уставки для обігрівання і збільшення уставки для охолодження		
Покращити ефективність систем обігрівання за допомогою таких заходів: • регенерація або використання відхідного тепла (розділ 3.3.1) • використання теплових насосів • використання радіаційних та місцевих систем обігрівання у поєднанні зі зниженням уставок температури у безлюдних зонах будівель.	У будь-якому випадку розглянути можливість застосування і реалізувати, якщо це доцільно з огляду на співвідношення витрат і вигод	3.9.1
Покращити ефективність систем охолодження шляхом використання природного охолодження	Можна застосовувати за певних обставин	3.9.3
ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ		
Припинити вентиляцію або зменшити її інтенсивність там, де це можливо	У всіх випадках	3.9.2.2
Переконатися, що система герметична, перевірити стики	У всіх випадках	3.9.2.2
Прослідкувати, щоб система була збалансована	У всіх випадках	3.9.2.2
Керувати витратою повітря: оптимізувати	У всіх випадках	3.9.2.2
Фільтрування повітря – оптимізувати з урахуванням таких моментів: • ефективність повторного використання • втрата тиску • регулярне очищення / заміна фільтра • регулярне очищення системи	У всіх випадках	3.9.2.2

Таблиця 4.8. Технології для підвищення енергоефективності систем опалення, вентиляції і кондиціювання повітря

4.3.10 Освітлення

При визначенні вимог до освітлювальних систем пріоритетним критерієм є охорона здоров'я та техніка безпеки на робочому місці. Споживання енергії освітлювальними системами можна оптимізувати з огляду на вимоги до конкретного випадку використання – див. розділ 3.10.

28. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати системи штучного освітлення за допомогою технологій на зразок тих, які наведені у Таблиці 4.9, залежно від їх застосовності (див. розділ 3.10):

Технологія	Застосовність
АНАЛІЗ та ПРОЄКТУВАННЯ ВИМОГ ДО ОСВІТЛЕННЯ	
Визначити вимоги до освітлення з точки зору як інтенсивності, так і спектрального складу, необхідних для передбаченого завдання	У всіх випадках
Планувати простір і діяльність таким чином, щоб оптимізувати використання природного освітлення	Якщо цього можна досягти шляхом реорганізації звичайної експлуатації чи технічного обслуговування, цю можливість слід розглядати у всіх випадках. Якщо це потребує конструкційних змін – наприклад, будівельних робіт, – ці заходи можна застосовувати для нових установок або у разі модернізації існуючих
Вибір світильників та ламп з урахуванням конкретних вимог до їх призначення	Співвідношення витрат і вигод за весь термін служби
ЕКСПЛУАТАЦІЯ, КЕРУВАННЯ та ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ	
Використовувати системи керування освітленням, до складу яких входять датчики присутності, таймери, тощо	У всіх випадках
Навчити людей, які перебувають у будівлі, максимально ефективно користуватися освітлювальною апаратурою	У всіх випадках

Таблиця 4.9. Технології для підвищення енергоефективності освітлювальних систем

4.3.11 Сушіння, сепарація та концентрування

Відділення (як правило) твердої речовини від рідини може виконуватися в один або кілька етапів. Шляхом оптимізації кроків технологічного процесу, необхідних для отримання потрібного продукту, можна досягти значних заощаджень енергії. Енергоефективність можна оптимізувати шляхом поєднання двох і більше технологій (див. розділ 3.11).

29. НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати процеси сушіння, сепарації та концентрації за допомогою технологій на зразок тих, які описані у Таблиці 4.10, залежно від їх застосовності, та шукати можливості для застосування механічного розділення у поєднанні з термічними процесами:

Технологія	Застосовність	Додаткова інформація	Розділ у цьому документі
ПРОЄКТУВАННЯ			
Вибрати оптимальну технологію або поєднання технологій сепарації (нижче), які підійдуть для конкретного технологічного обладнання	У всіх випадках		3.11.1
ЕКСПЛУАТАЦІЯ			
Використовувати надлишок тепла з інших технологічних процесів	Залежно від наявності надлишку тепла в установці (або у третьої сторони)	Сушіння – це хороший спосіб застосування надлишкового тепла	3.11.1
Використовувати поєднання технологій	Цю можливість слід розглянути у будь-якому випадку	Може супроводжуватися вигодами для виробництва, як-от покращення якості продукції, збільшення продуктивності	3.11.1
Механічні процеси – наприклад, фільтрування, фільтрування через мембрану	Залежно від конкретного процесу. Щоб досягти максимальної сухості за мінімального споживання енергії, слід розглянути можливість застосування цієї технології у поєднанні з іншими технологіями	Споживання енергії може знизитися на кілька порядків, проте високого % сухості не вдасться досягти	3.11.2
Термічні процеси, наприклад: • сушарки з безпосереднім нагріванням • сушарки з опосередкованим нагріванням • багатокорпусні сушарки	Широко застосовується, проте ефективність можна покращити шляхом розгляду у поєднанні з іншими можливостями, наведеними в цій таблиці	Конвекційні сушарки (з безпосереднім нагріванням) можуть бути варіантом з найнижчою енергоефективністю	3.11.3 3.11.3.1 3.11.3.2 3.11.3.3 3.11.3.6
Безпосереднє нагрівання	Див. пояснення про термічні та радіаційні технології, а також про перегріту пару	Конвекційні сушарки (з безпосереднім нагріванням) можуть бути варіантом з найнижчою енергоефективністю	3.11.3.2
Перегріта пара	Будь-яку сушарку з безпосереднім нагріванням можна переобладнати на перегріту пару. Висока вартість, потрібно оцінити співвідношення витрат і вигод за весь життєвий цикл. Висока температура може пошкодити продукт	З цього процесу можна регенерувати тепло	3.11.3.4
Регенерація тепла (у тому числі механічна рекомпресія пари та теплові насоси)	Є сенс розглядати практично для будь-яких конвективних сушарок безперервної дії, у яких використовується гаряче повітря		3.11.1 3.11.3.5 3.11.3.6
Оптимізувати ізоляцію сушильної системи	Цю можливість слід розглядати для всіх систем. Можна дообладнати систему		3.11.3.7
Радіаційні процеси, наприклад: • інфрачервоне випромінювання (ІЧ) • високочастотне випромінювання (ВЧ) • мікрохвильове випромінювання (МХ)	Можна з легкістю дообладнати систему. Безпосереднє підведення енергії до компонента, який потрібно висушити. Ці системи компактні і скорочують потребу у відведенні повітря. Застосування інфрачервоного випромінювання обмежене розмірами заготовки. Висока вартість, потрібно оцінити співвідношення витрат і вигод за весь життєвий цикл	Найбільш ефективне нагрівання. Використовуючи у поєднанні з конвекцією або теплопровідністю, можна збільшити продуктивність	3.11.4
КЕРУВАННЯ			
Автоматизація технологічних процесів термічного сушіння	У всіх випадках	Можна досягти заощаджень у 5 – 10 % порівняно з традиційними регуляторами, які працюють з емпіричними значеннями	3.11.5

Таблиця 4.10. Технології для підвищення енергоефективності систем сушіння, сепарації та вентиляції

5 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Безполуменеве горіння (безполуменеве окиснення)

Опис

Рекуперативні та регенеративні пальники використовуються у новаторському режимі згорання з однорідною температурою полум'я (технологія горіння у сильно підігрітому повітрі (HiTAC), або безполуменеве горіння) та суттєво розширеною зоною згорання, у якому немає «гарячих точок», властивих для звичайного полум'я.

Безполуменеве горіння – це режим горіння, у якому доведені до максимуму технології ротації горіння та внутрішньої рециркуляції у термокамері. Принцип роботи регенеративних пальників зображено на Рисунку 5.1.

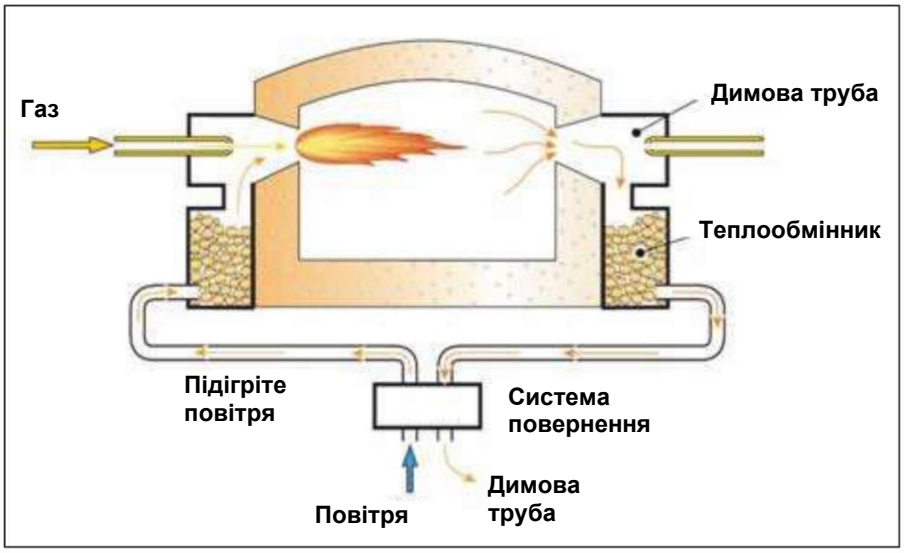


Рисунок 5.1. Принцип роботи регенеративних пальників [277, ADEME]

Існує два типи пальників HiTAC: однополуменеві пальники та двополуменеві пальники. Для однополуменевого пальника HiTAC характерний один факел, що створюється однією паливною форсункою, навколо якої розташовані входи повітря та виходи димових газів. Цей єдиний факел формується уздовж осі форсунки, з якої подається струмінь палива, протягом періодів охолодження та нагрівання. Паливо безперервно подається через ту ж саму форсунку: це дає змогу сформувати єдиний факел з постійним положенням. Положення факела між періодами нагрівання та охолодження залишається практично незмінним, оскільки навколо форсунки, з якої подається струмінь палива, розташовані регенератори.

У двополуменевому пальнику HiTAC є два відокремлені регенеративні пальники з високотемпературним робочим циклом. Ці два пальники встановлені у стінках печі і працюють попарно. Група клапанів змінює напрямок потоку повітря та димових газів залежно від потрібного часу перемикання. Як правило, разом працюють кілька пар пальників. У цьому типі пальника HiTAC полум'я зсувається з одного пальника на інший залежно від часу перемикання між періодами нагрівання та охолодження регенератора.

У піч подається повітря, підігріте продуктами згорання (>1000 °C) (Рисунок 5.1). У традиційних системах таке підігрівання повітря призвело б до появи у полум'ї дуже високих локальних температур, а відтак до високих рівнів викидів NO_X. Натомість у системах безполуменевого повітря потік повітря та потоки газу підводяться окремо (максимальний зсув горіння) з високими швидкостями вприскування. Геометрія пальника та камери згорання і висока швидкість потоків газу забезпечує рециркуляцію продуктів згорання у напрямку пальника. Завдяки цьому місцева концентрація O_2 знижується, і полум'я розбавляється, набуваючи більш рівномірної температури (з двома джерелами утворення NO_X).

Висока температура повітря для згорання (>1000 °C), підігрітого рекуперативною системою регенерації тепла, стає поштовхом до запалювання полум'я і підтримує стале горіння у цьому режимі згорання.

Таким чином, горіння розподіляється по всьому об'єму камери. Полум'я не видно неозброєним оком. Однією з основних характеристик процесу є порівняна рівномірність температури та складу середовища всередині камери.

Принцип безполуменевого горіння також можна реалізувати без підігрівання повітря, яке подається для згорання, але за високої температури технологічного процесу (800 °C). У цьому випадку процес не запускається сам по собі, і його потрібно ініціювати.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Як показали випробування, пальник HiTAC досягає на 35 % вищого ККД, ніж традиційний струменевий пальник. Окрім високого ККД, для пальників HiTAC властивий великий об'єм полум'я, який покращує коефіцієнт теплопередачі. Паливом у випробуванні слугував зріджений нафтовий газ (пропан). Енергетичний баланс для пальника HiTAC та звичайного пальника зображено на Рисунку 5.2.

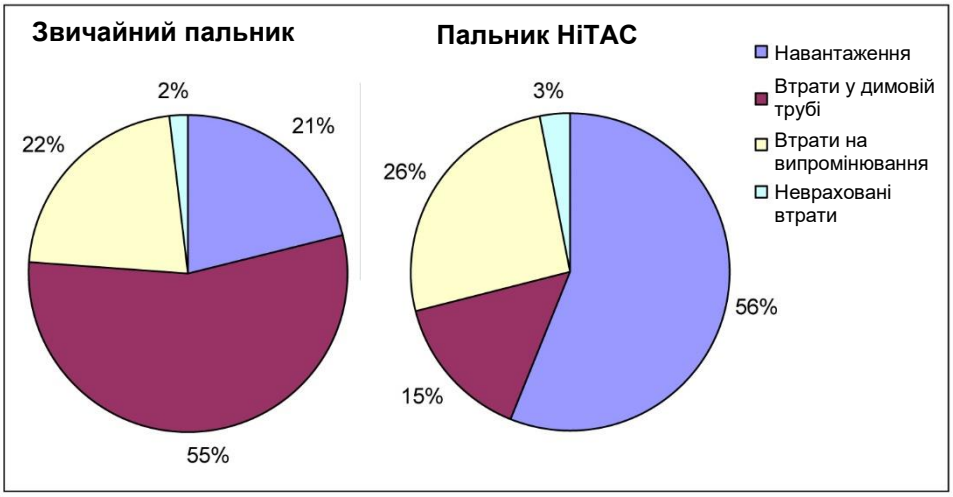


Рисунок 5.2. Чистий вихід тепла, отриманий у результаті випробування печей зі звичайними пальниками та пальниками HiTAC
[17, Асбланд, 2005]

Технологія безполуменевого горіння суттєво знижує викиди NO_X завдяки інтенсивній рециркуляції продуктів згорання (<200 мг/м^3 н.у. за концентрації O_2 3 %). Ця технологія усуває піки температури, як показано на Рисунку 5.3. На цьому рисунку порівнюються рівні типи горіння залежно від температури згорання та концентрації O_2.

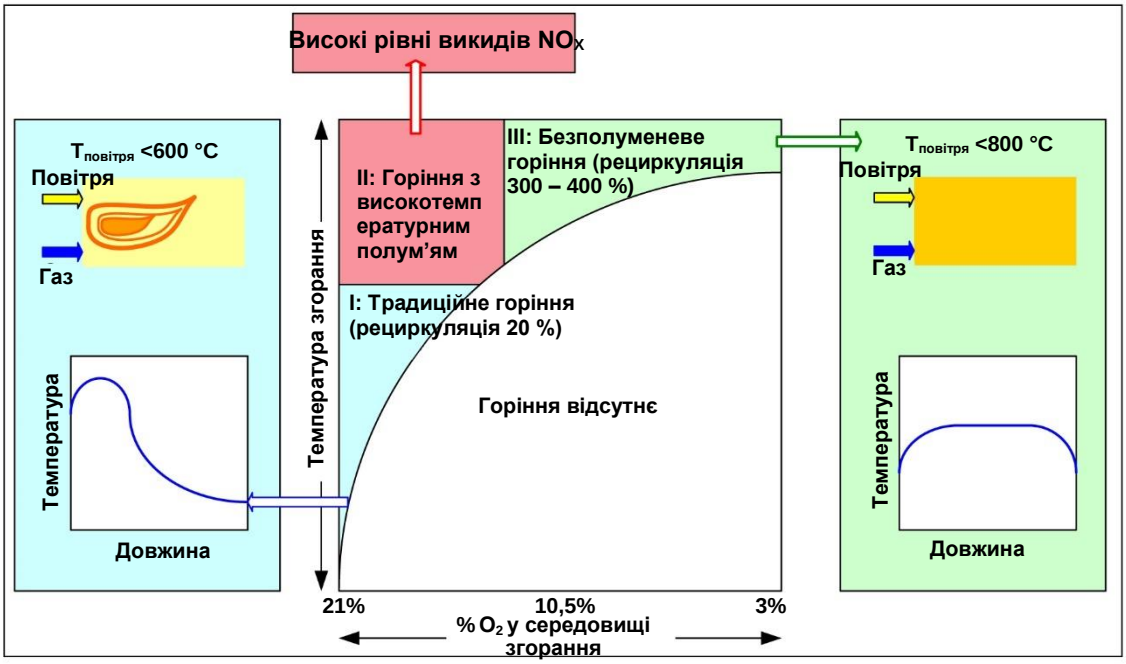


Рисунок 5.3. Умови безполуменевого горіння

Завдяки згладжуванню піків температури у режимі безполуменевого окиснення можна коригувати середній рівень температури в печі без місцевого перегрівання біля пальників (з помірним рівнем впливу на вогнетривкі матеріали печі). Теплопередачу до продукту можна значно посилити, а рівень шуму суттєво знижується. Ці умови призводять до:

- заощадження енергії у розмірі 9 – 40 %;
- зниження викидів NO_X на 6 – 80 %.

Міжсередовищні наслідки
Даних не надано.

Експлуатаційні параметри
У печі з пальниками HiTAC досягаються такі переваги:

- висока ефективність використання енергії або зниження викидів CO_2;
- більш рівномірний профіль температури;
- низькі викиди NO_X та CO;
- менший шум від горіння;
- відсутність потреби у додаткових пристроях для енергозбереження;
- менші труби для димових газів;
- рівномірний розподіл температури;
- покращена теплопередача;
- підвищена продуктивність з високою якістю продукту;
- довший термін служби печі та труб.

У технології HiTAC повітря, яке подається для згорання, підігрівається до дуже високої температури, а потім вприскується у піч з великою швидкістю. Робота у режимі безполуменевого горіння дає змогу повністю спалювати паливо за дуже низьких рівнів кисню. У цьому режимі полум'я горить довше, швидкість згорання зменшується, а температури згорання підтримуються нижчими, ніж у звичайних високотемпературних полуменевих печах: завдяки цьому викиди NO_X нижчі, а температура полум'я розподіляється більш рівномірно. У процесі горіння полум'я набуває характерного блідо-зеленого кольору.

У цій технології спалювання також застосовується принцип роздільного вприскування палива та гарячого повітря в піч. Це покращує роботу печі і дає змогу заощадити більше палива.

У випадку промислового застосування пальників HiTAC паливні форсунки та форсунки подавання повітря та згорання розташовані на пальнику на певній відстані одна від одної. Паливо та повітря з високою температурою вприскуються безпосередньо в піч з великою швидкістю. Завдяки цьому газ у зоні біля пальника ретельно перемішується, а парціальний тиск кисню в ньому знижується. Сталість горіння палива, яке вприскується безпосередньо в цю зону за низького парціального тиску кисню, досягається у тому випадку, якщо температура підігрітого повітря перевищує температуру самозаймання палива.

У промисловій печі повітря, що подається для згорання, можна нагріти до температури від 800 до 1350 °C за допомогою високоефективного теплообмінника. Наприклад, сучасний регенеративний теплообмінник, переведений на високотемпературний цикл, здатний регенерувати аж 90 % відхідного тепла. Завдяки цьому заощаджується велика кількість енергії.

Застосовність
Нагрівальні печі, у яких можна застосувати регенеративні пальники з технологією безполуменевого горіння, поширені у кількох секторах промисловості по всій Європі, серед яких – чорна металургія, виробництво цегли та плитки, кольорова металургія, ливарна промисловість та, на час укладання цього документа, потенційно кілька сфер застосування у невеликих скловарних печах. Наприклад, 5,7 % первинної енергії в ЄС споживається у сталеливарній промисловості. У цих галузях на енергію також припадає велика частка собівартості виробництва.

Цю технологію не завжди можливо застосувати до існуючих виробничих ліній, оскільки печі повинні бути спроєктовані таким чином, щоб пальники в них помістилися. Крім того, пальники HiTAC вимагають досить високої чистоти атмосфери: якщо у процесі горіння використовується технологічний газ, у печі буде надто багато пилу, щоб можна було використовувати пальники HiTAC.

Економіка
Недоліком цієї технології є інвестиційні витрати на пальники. Проте період окупності зазвичай менший, ніж 3 – 5 років. Тому важливими чинниками, які потрібно враховувати в аналізі витрат та вигод, є підвищення продуктивності печі та зниження викидів оксидів азоту.

Рушій для впровадження
Важливими чинниками є підвищення продуктивності печі та зниження викидів оксидів азоту.

Приклади
На заводі з виробництва сталі SSAB Tunnplat AB у місті Бурленге, Швеція, у печі з крокуючим балковим черенем була встановлена одна пара регенеративних пальників з технологією HiTAC. Піч підігріває сталеві плити з загальною продуктивністю 300 тонн/час. У якості палива в пальники подається важкий мазут. Установка складається з двох пальників, які у регенеративному режимі горять поперемінно з інтервалом у 60 секунд (тобто щохвилини перемикаються між спалюванням палива та всмоктуванням відхідного газу).

Пальники HiTAC встановлені у зоні підігрівання печі, де пальників раніше не було. Після зони підігрівання йде зона нагрівання (зона 2). Потужність нової установки – близько 10 % потужності в зоні 2. Потужність кожного пальника HiTAC – приблизно 2 МВт. Загальна кількість пальників у печі – 119.

Це довготермінове випробування пари регенеративних пальників у мазутній печі продемонструвало високу надійність рішення і малу потребу установки у технічному обслуговуванні.

Порівняння зі звичайною системою рекуперативних пальників показує, що завдяки вищому ступеню регенерації тепла вдається заощадити приблизно 12 % палива. Розміри однієї пари регенеративних пальників були підібрані таким чином, щоб збільшити продуктивність печі на 2 %. Вимірювання вмісту NO_X у димових газах поблизу пальників HiTAC також показало, що пара пальників HiTAC не робить додаткового внеску у загальну концентрацію NO_X, яка становить приблизно 150 млн$^{-1}$ (за вмісту O_2 4 %).

Довідкова інформація
[17, Асбланд, 2005], [26, Нейсекке, 2003], [277, ADEME].

5.2 Сховище енергії на стисненому повітрі

Опис
Сховище енергії на стисненому повітрі (CAES) – це складна технологія зберігання енергії, у якій енергія (як правило, електроенергія, отримана з електромережі у позапікові періоди) використовується для стискання повітря, а потім за потреби видобувається з цього повітря для виробництва надлишкової енергії. Стиснене повітря часто зберігається у належних підземних шахтах або печерах, створених у сольових пластах.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Залежно від випадку застосування. За допомогою сховища енергії на стисненому повітрі можна постачати в мережу велику кількість вітрової енергії або зменшити частоту пусків і зупинок електростанцій.

Міжсередовищні наслідки
Якщо для зберігання повітря потрібно вирити печеру, це може завдати шкоди навколишньому середовищу.

Експлуатаційні параметри
На заводах, описаних у якості прикладу нижче, надлишок потужності з мережі використовується в електричному двигуні, який приводить у дію компресор. Стиснене повітря охолоджується і використовується для наповнення великої печери, а звідти подається на модифіковану газову турбіну. Енергія стисненого повітря разом з енергією, отриманою від процесів згорання, приводить у рух ступінь турбіни, а відтак і електрогенератор, який перетворює її в електроенергію і постачає назад у мережу.

Застосовність
Наразі експлуатуються два такі заводи. Сховище енергії на стисненому повітрі – це радше методика енергетичного менеджменту, аніж технологія підвищення енергоефективності, оскільки вона дає змогу рознести у часі виробництво та споживання електроенергії. Проте енергія при цьому втрачається, оскільки ККД зберігання менший, ніж 80 %.

Технологія може підійти для тих випадків, коли є належне сховище для стисненого повітря та надлишок позапікової енергії для виробництва стисненого повітря.

Економіка
Цю технологію можна реалізувати за такими трьома рентабельними сценаріями:

- централізований пристрій (300 МВт, найкращі перспективи з комерційної точки зору);
- децентралізований пристрій (50 МВт);
- віддалений острів (30 МВт).

Рушій для впровадження
Велика потреба у сховищі енергії, яке дасть змогу за потреби постачати енергію.

Приклади заводів
Установка потужністю 290 МВт була побудована в поселенні Хундорф (Hundorf), що в Німеччині, у 1978 році, і ще одна установка потужністю 110 МВт була побудована у місті Макінтош, штат Алабама (США), у 1991 році. Планується будівництво третього комерційного сховища енергії на стисненому повітрі (2700 МВт) у місті Нортон, штат Огайо (США).

Довідкова інформація
[281, Європейська конференція з вітрової енергетики (EWEC), 2004], [282, Асоціація з питань зберігання енергії]

6 ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ

6.1 Графік та хід виконання роботи

Установче засідання технічної робочої групи (ТРГ) відбулося у травні 2005 року, і перший ескіз був випущений для проведення консультацій у квітні 2006 року. Другий ескіз, який містив пропозиції щодо найкращих доступних технологій та методів управління, був випущений для проведення консультацій у липні 2007 року. Заключне засідання ТРГ було проведене у листопаді 2007 року.

6.2 Джерела інформації

У сучасному суспільстві та галузях його промисловості існує багато способів використання енергії. Важливість енергоефективності усвідомили, коли у ході промислової революції було винайдено перші парові двигуни. Наука про енергію та перетворення енергії була названа термодинамікою, і саме в той час були відкриті фундаментальні закони термодинаміки, стисло викладені у цьому документі. Останнім часом пріоритетними питаннями, які викликають велику зацікавленість, і за якими опубліковані великі обсяги інформації, стали наслідки зміни клімату внаслідок спалювання енергоносіїв (це основний шлях отримання різних типів енергії у всьому світі) та вартість і надійність енергопостачання. Більшість даних, які використовувалися у цьому обміні інформацією, були взяті з досліджень за 2000 – 2007 роки, однак також було додано деякі дані за 1990-ті роки, оскільки важливі ключові принципи з того часу не змінилися.

Величезна кількість наявних даних на тему енергоефективності охоплює вкрай широкий спектр питань, не всі з яких стосуються комплексного запобігання та контролю забруднень. Втім, обсяг наскрізних Довідкових документів з НДТМ (BREF) часто виявляється дуже широким, і обидва ці моменти ускладнюють організацію обміну інформацією. Тому у ході розробки цього документа зверталася увага на те, щоб розглядати енергоефективність як одне з головних міркувань Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), надаючи інформацію про найкращі доступні технології та методи управління (НДТМ) для сприяння впровадженню комплексного запобігання та контролю забруднень на загальноєвропейському рівні та на рівні установки.

Дані дуже розрізняються за типом інформації, головним чином:

- специфічні дані, основним чином з енергоємних галузей (наприклад, скляної, хімічної промисловості, металургії);
- дані про наскрізні технології (наприклад, спалювання, пара, приводи від двигуна, насоси, стиснене повітря);
- загальні дані щодо енергоефективності, отримані для всіх галузей та видів господарської діяльності – не лише тих, що підпадають під комплексне запобігання та контроль забруднень.

Джерела інформації, яка використовувалася, також дуже різнилися – це були, наприклад, проєкти, що фінансуються ЄС, програми з підвищення енергоефективності у країнах-членах ЄС та інших країнах (головним чином США та Японії), галузеві документи та журнали, а також підручники. Щоб зацікавити в енергоефективності широке коло читачів, у багатьох із цих документів було наведено приклади однієї або (зазвичай) кількох технологій, що використовувалися разом установками або компанії. Це ускладнило представлення даних, оскільки окремі технології, як наслідок, довелося визначати і описувати згідно з Планом та Методичним посібником для документів BREF. Щоб полегшити розуміння технологій і пояснити, як їх можна використовувати разом, багато які з прикладів було викладено у додатках і доповнено перехресними посиланнями.

Настанови з хорошої практики або НДТМ у сфері енергоефективності було отримано від таких країн-членів ЄС: Австрія, Німеччина, Нідерланди та Велика Британія. Ці матеріали

надають хороше загальне уявлення, у той час як детальніші дані було надано у джерелах, специфічних для конкретних технологій або галузей: наприклад, Франція надала понад 100 документів, присвячених окремим технологіям, питанням та прикладам, а Фінляндія надала ще 11 документів. Іспанія надала огляд основних принципів термодинаміки для полегшення наукового розуміння цієї роботи, який був доданий у якості додатка.

Дані, які походять безпосередньо з промисловості, отримані з деяких найбільших енергоємних галузей (хімічна та нафтохімічна промисловість, спалювання відходів, чорна металургія, виробництво електроенергії та скляна промисловість), а також від виробників систем стисненого повітря. Дані про інші енергоспоживчі системи, технології та приклади з неенергоємних галузей взято з програм, які фінансуються ЄС, або отримано від країн-членів ЄС.

Важливим джерелом даних були зауваження ТРГ до двох ескізів та супутня додаткова інформація – всього приблизно 2300 зауважень. Для уточнення та перевірки окремих даних про технології та зауважень було здійснено додатковий пошук та обмін інформацією. Серед багатьох інших джерел для роз'яснення певних термінів використовувалася онлайн-енциклопедія «Вікіпедія», і думки про її корисність розділилися. Деякі члени ТРГ віддають перевагу традиційним рецензованим джерелам та посиланням, у той час як інші цінують простоту доступу до неї у порівнянні з цими традиційними джерелами. Визначення з «Вікіпедії» не використовувалися у критично важливих сферах, як-от висновки щодо НДТМ.

Мало що було відомо про рівні енергоефективності, яких можна досягти за допомогою окремих технологій, і були наявні лише обмежені дані про загальні орієнтовні заощадження енергії у деяких наскрізних технологіях та прикладах. Тому було неможливо зробити висновки щодо значень показників енергоефективності для окремих технологій, хоча для деяких технологій у частинах 2 та 3 і в прикладах у додатках наведено деякі орієнтовні значення. Передбачається, що вони надають корисну інформацію про різні масштаби заощаджень енергії при виборі технологій на рівні об'єкта.

Інформація також збиралася шляхом відвідувань об'єктів та двосторонніх зустрічей у країнах-членах ЄС та з представниками галузей.

Додаткові труднощі в оцінці та використанні даних створило те, що у багатьох документах (або підходах, що застосовувалися різними джерелами) одного й того ж результату було досягнуто різними шляхами, і одним і тим же технологіям часто давали різні назви, не пов'язані між собою. Це означало, що дані могли бути не знайдені у тих документах, у яких їх очікувалося знайти, або їх було важко розпізнати у ході електронного чи ручного пошуку. Джерела не завжди стосувалися того типу установок, який підлягає комплексному запобіганню та контролю забруднень, і/або ці теми могли суміщатися. Наприклад, на багатьох ділянках установки застосовується опалення, вентиляція та/або охолодження. У будівельних технологіях ця сфера називається ОВіК (опалення, вентиляція і кондиціювання повітря). Проте більшість отриманих даних, схоже, стосувалися офісів і комерційних будівель, і було незрозуміло, стосуються вони промислових ситуацій, таких як вентиляція промислових процесів з метою видалення парів, чи на цю тему потрібно додати інші дані.

6.3 Рівень згоди

На заключному засіданні ТРГ у листопаді 2007 року було досягнуто високого рівня згоди щодо формату документа і технологій, які потрібно розглядати – і, найголовніше, також було досягнуто повної згоди з приводу того, що висновки потрібно викласти у вигляді наскрізних НДТМ для всіх галузей та установок, на які поширюється зміст Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC). Розбіжностей у точках зору не зареєстровано.

У цьому наскрізному документі (який охоплює дуже різні галузі та сфери застосування) було неможливо вказати дані про значення показників енергоефективності для кожної технології. Проте слід зазначити два моменти:

- одна з ключових погоджених НДТМ полягала в тому, що кожна установка повинна узгодити власні маркери енергоефективності і зіставляти з ними свої власні робочі показники за допомогою ряду методик підвищення енергоефективності;
- ключові технології підвищення енергоефективності та дані для першого кола «галузевих» документів BREF, які стосуються конкретного технологічного процесу, підсумовані у джерелі [283, EIPPCB].

6.4 Прогалини та повтори у знаннях і рекомендації щодо майбутнього збору інформації та досліджень

6.4.1 Прогалини та повтори у даних

Дані щодо технологій
Не вистачало (або виявилося, що не вистачає) наданих даних або ясності у таких питаннях:

- Енергоефективне проєктування (EED): у наданих даних відзначалося, що вдавалося досягти виграшу в енергоефективності шляхом залучення зовнішніх фахівців з енергоефективності та визначення (і відбракування) учасників тендеру та/або виробників, які б не виграли від оптимізації енергоефективності (наприклад, які пропонували найнижчі початкові капітальні витрати, а не вартість життєвого циклу). Проте енергоємні галузі мають значний внутрішній експертний потенціал і вважали, що ці питання достатньо добре вирішуються на внутрішньому рівні, тому не вдалося дійти висновку щодо внесення цих методик до складу НДТМ. Потрібна додаткова детальна інформація про приклади застосування цих двох методик в енергоефективному проєктуванні.

- Ефективне керування технологічними процесами: при оновленні документів BREF потрібно буде дослідити конкретні технології та параметри для конкретних вертикальних секторів.

- Як вимірювання, так і моніторинг мають життєво важливе значення для досягнення енергоефективності. Хоча отримані дані, які використовуються у розділі 2.10, виявилися корисними, вони не повністю відображають спектр можливих технологій, які можна використовувати у всіх секторах. Це може свідчити про те, що в документах, які слугували джерелами, на це недостатньо звертали увагу. Тому було б корисно описати відповідні технології у галузевих документах BREF для конкретних секторів – у вигляді безпосереднього тексту або посилань з цього документа. Для перегляду цього документа також потрібна додаткова інформація про моніторинг та вимірювання.

- Спалювання та пара: на ці теми існує великий обсяг інформації. Обидві ці теми докладно розглядаються у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), в якому зазначено, що робота з обміну інформацією на тему великих спалювальних установок охоплювала всі види і розміри традиційних електростанцій (наприклад, енергетичні котли, теплоелектроцентралі, теплоцентралі), які використовуються для виробництва механічної потужності та тепла, потужністю вище і нижче 50 МВт – порогової потужності, вище якої спалювальна установка вважається великою, у контексті комплексного запобігання та контролю забруднень. Проте у ході обміну інформацією на тему енергоефективності було надано дані про велику кількість

додаткових технологій, яких немає у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP). Було вирішено перелічити в цьому документі технології, які є у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), і навести посилання на них, а також додати додаткові технології. Потрібна додаткова інформація на такі теми:

- технології спалювальних та/або парових систем, які наразі не використовуються на великих установках. Наприклад, хоча спалювання у киплячому шарі (FBC) й описане у Довідковому документі з НДТМ для великих спалювальних установок (LCP), воно застосовується більш широко, і в цьому документі було б корисно навести огляд його застосовності в інших секторах та його переваги і недоліки. Також див. високотемпературне безполуменеве горіння (розділ 5.1);
- пара: потрібні дані для визначення випадків, коли пара вважається НДТМ для обігрівання і використання у технологічному процесі.

- Регенерація тепла: відсутні дані, які б підкріпляли визначення НДТМ, які стосуються використання теплообмінників та теплових насосів.

- Опалення, вентиляція і кондиціювання повітря (ОВіК): розділ 3.9 побудований навколо даних про вентиляційні системи. Проте, хоча у ньому й наведені посилання на інші компоненти системи ОВіК (як-от насоси та теплообмінники), були відсутні дані про ОВіК як узгоджену систему (у тому числі й на вказаному сайті ЄС). Також можуть знадобитися додаткові дані про промислові витяжні технології для технологічних процесів (аналогічні тим, які є у Довідковому документі з НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію – STM): ці дані можна зібрати для використання у цьому наскрізному документі BREF або галузевих документах BREF для окремих секторів.

- Чилерні системи: очікувалося, що цю тему буде охоплювати розділ, присвячений ОВіК. Проте потужні чилери, які охолоджують ділянки зберігання швидкопсувної сировини та продукції (зокрема, харчових продуктів) у різних секторах промисловості ЄС, споживають значну кількість енергії, і для перегляду цих матеріалів потрібна додаткова інформація. Дані Програми ООН з довкілля (UNEP) про останні обговорення щодо Монреальського протоколу, були отримані надто пізно, тож їх не вдалося додати в цей документ. Виявилося, що важливою технологією є використання правильних холодоагентів (а отже, правильних систем обладнання) у промислових чилерах. Важливими виявилися такі моменти:

  - холодоагенти повинні мати не лише нульовий озоноруйнівний потенціал, а й низький потенціал парникового ефекту, і кількість енергії, яка витрачається на їх використання, повинна бути невеликою;
  - має бути наявне обладнання та методики поводження з холодоагентом для керування ризиком їх викидів під час експлуатації, а також під час заміни або припинення використання.

Потрібно більше інформації.

- Системи охолодження: ця тема розглядається у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS). У Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) зроблено висновок, що первинною НДТМ для охолодження є використання надлишкового тепла з одного джерела для повного або часткового задоволення потреби іншої системи у теплі (ця система може входити до складу того ж технологічного процесу чи установки або знаходитися за межами установки). Цей та інші принципові висновки щодо НДТМ, взяті з Довідкового документа з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS), підсумовані у цьому документі для зручності користувача.

- Компенсація коефіцієнта потужності для систем електропостачання: два джерела надають цифру в 0,95 у якості коефіцієнта потужності, до якого потрібно прагнути. Проте у деяких видах діяльності, як-от в електродугових печах, коефіцієнт потужності неможливо компенсувати до цього рівня з економічних міркувань. Інші галузі також не були впевнені, які коефіцієнти потужності підійдуть для їх видів діяльності, тому не вдалося досягти згоди щодо того, до якого значення потрібно прагнути, і чи залежить це значення від конкретної галузі. На цю тему потрібно більше даних. Належні коефіцієнти для конкретних галузей потрібно буде точно встановити при оновленні галузевих документів BREF для конкретних секторів.

- Системи стисненого повітря (ССП): не вистачало інформації, яка б дала змогу визначити, у яких випадках використання стисненого повітря вважається НДТМ. Звісно, коли така система інтегрована в основну технологічну діяльність (наприклад, слугує для виробництва азоту низької частоти у якості технологічного газу або використовується для видування скла), її важко замінити. Однак для деяких наскрізних супутніх видів діяльності – як-от використання стисненого повітря у якості транспортного середовища, в монтажних інструментах, тощо – потрібно більше даних, щоб можна було надати рекомендації з приводу того, коли використання ССП є НДТМ. Було надано орієнтир для порівняння енергоефективності з хорошою практикою, проте він надто загальний, щоб використовувати його з НДТМ. Потрібна додаткова інформація для визначення орієнтирів за типом компресора, тощо.

- Технології сушіння та сепарації: ці теми об’єднані, оскільки один із ключових висновків щодо НДТМ полягав у тому, що при сушінні продуктів слід, якщо це технічно можливо, використовувати більше одного ступеня – наприклад, використовувати механічне розділення, після якого йде ступінь термічного сушіння. Проте залишилися деякі сфери та технології сушіння і сепарації, не розглянуті у цьому документі.

- Не отримано даних на такі теми:

  - вакуумні системи;
  - ізоляція будівель: не надано даних у формі, придатній для використання;
  - контроль втрат / притоків тепла у точках входу в будівлю, як-от двері та вікна;
  - внутрішні системи транспортування, як-от конвеєри, переміщення порошків стисненим повітрям, тощо.

Рекомендація
Визначені вище прогалини слід заповнити додатковою інформацію, коли цей документ буде переглядатися, або при перегляді інших пов’язаних з ним наскрізних документів у серії BREF (наприклад, Довідкових документів з НДТМ для промислових систем охолодження (ICS) та для загальних систем переробки / керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі (CWW)).

Дані про вартість
Як і у випадку з багатьма документами BREF, для багатьох технологій не вистачало даних про витрати та співвідношення витрат і вигод. Ці питання важко розглянути у наскрізному документі BREF, оскільки масштаб і застосування технологій різниться у різних галузях. У деяких випадках ці питання розглядаються на прикладах, наведених у додатках.

6.4.2 Конкретні експлуатаційні дані

У ході підготовки цього документа шукалися дані, які можна було б використати для оцінки різних технологій, описаних для різних типів установок. У документі наведено деякі орієнтовні дані – зокрема, у частині 3 та в прикладах, викладених у додатках. Проте більш конкретні експлуатаційні дані було неможливо надати з огляду на велике розмаїття можливих варіантів застосування у різних установках і технологічних процесах, які охоплює наскрізний документ BREF. (Також див. розділ 6.4.3 нижче).

Часто також було складно визначити дані про витрати, як-от діапазони вартостей обладнання та технологій.

Рекомендація
При перегляді цього документа слід, знову ж таки, шукати дані про споживання енергії та/або ККД – наприклад, від постачальників обладнання.

При перегляді галузевих документів BREF особливу увагу слід звертати на оновлення (або, якщо таких даних ще немає, надання) даних про енергію для конкретного технологічного процесу, щоб полегшити оцінку енергоефективності конкретних технологічних процесів. Дані повинні надаватися у вигляді величин, які є змістовними для відповідного сектора (див. обговорення у розділі 1.4). У даних також повинні розрізнятися нові та існуючі установки і, якщо це застосовно, інші відмінності в установках та/або технологічних процесах, регіональні відмінності, тощо.

Крім того, при перегляді цього документа слід шукати загальні дані про вартість застосування описаних технологій – у тому числі надані користувачами, виробниками та постачальниками технологій, обладнання та установок.

6.4.3 Питання для дослідження та подальша робота

Загалом на тему енергоефективності наразі ведеться значна кількість досліджень, і для подальших досліджень не було визначено нових фундаментальних сфер. Дослідження нових технологій процесів з великою ймовірністю будуть стосуватися конкретних секторів або продуктів, а не загальних принципів. Проте важливо зазначити, що дослідження у певних сферах, як показує практика, іноді призводять до розробки рішень, які підвищують енергоефективність. У цих рішеннях можуть бути закладені вигоди (як-от підвищення виходу та/або якості продукції та/або зниження викидів), наприклад:

- основна технологія процесу (наприклад, каталіз, біотехнологічний / біокаталітичний підходи);
- використання випромінювання з певною довжиною хвиль замість нагрівання за рахунок конвекції або теплопровідності (наприклад, використання мікрохвиль для ініціювання реакцій, використання технологій закріплення у системах нанесення покриття замість сушіння);
- використання регенерації тепла у новітніх сферах діяльності (наприклад, регенерація тепла в інтенсивних тваринницьких комплексах, використання теплових насосів);
- інтенсифікація технологічного процесу.

Була виявлена нагальна потреба у подальшій роботі в таких двох напрямках:

- більше даних – наприклад, у сферах, визначених у розділі 6.4.1 вище;
- більше демонстраційних проєктів та програм для заохочення до використання існуючих передових технологій у випадках, коли:
  - дані відсутні, та/або
  - ці технології наразі використовуються лише в одній галузі або набули лише обмеженого промислового вжитку.

Було визначено, що новітні для сектору технології не набувають достатнього вжитку через ризик, який покладається на одного оператора у разі зміни, наприклад, умов безперервного технологічного процесу, та через потенційну втрату якісного продукту / виробничого часу.

Конкретним прикладом такої технології є високотемпературне безполуменеве горіння. У промислових масштабах воно застосовується в Японії у виробництві сталі. Воно також використовується у США та в інших країнах у виробництві сталі, цегли та плитки, у кольоровій металургії, ливарній промисловості та – потенційно – у невеликих скловарних печах. У ЄС було успішно реалізовано пілотний проєкт із застосування цієї технології у виробництві сталі, проте випадків її комерційного впровадження не відомо, хоча у досліджених сценаріях ця технологія здатна скоротити споживання енергії приблизно на 30 %.

У рамках своїх науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських програм Європейська комісія запускає і підтримує серію проєктів, присвячених екологічно чистим технологіям, перспективним технологіям очищення та переробки стоків і стратегіям керування. Ці проєкти потенційно здатні зробити корисний внесок у майбутні редакції документів. Тому Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) запрошує читачів цього документа повідомляти про будь-які результати досліджень, що стосуються змісту цього документа (також див. передмову цього документа).

Поточні проєкти, пов’язані з енергоефективністю, які фінансуються ЄС у рамках програми CORDIS, можна знайти в базі даних проєктів на сайті http:/cordis.europa.eu.

Ця програма з часом змінюється, і ось кілька прикладів її поточних ініціатив:

- захист від змикання:
  - розробка тонких керамічних покриттів для захисту від зминання металевих поверхонь лопатей турбін під дією температури та напруження;
- SRS NET та EEE:
  - система наукових посилань на нові енергетичні технології, дослідження з ефективності кінцевого використання енергії і науково-дослідницькі та дослідно-конструкторські програми в енергетиці;
- ECOTARGET:
  - нові та інноваційні процеси для радикальних змін в європейській целюлозно-паперовій промисловості;
- FENCO-ERA:
  - ініціатива з переходу від технологій виробництва енергії з викопного палива до електростанцій з нульовими викидами;
- різні системи оцінки нових та екологічно чистих енергетичних технологій.

6.5 Перегляд цього документа

Дані про технології підвищення енергоефективності переважно свіжі (за 2000 – 2007 роки) і навряд чи суттєво зміняться у найближчому майбутньому. Структура документа була суттєво змінена у другому ескізі, в якому було зібрано багато додаткової інформації і вдалося виявити додаткові прогалини в цьому документі (див. розділ 6.4.1 вище). Заповнення цих прогалин буде корисним для галузей європейської промисловості, і перегляд цього документа, можливо, буде заплановано на 2013 рік, а завершено приблизно у 2015 році.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

2 Валеро-Капілья А. (Valero-Capilla, A.), Валеро-Дельгадо А. (Valero-Delgado A.) (2005). «Основи енергетичної термодинаміки» (Fundamentals of energy thermodynamics).

3 Європейська федерація керування відходами (FEAD) та представники європейської галузі переробки відходів (2005). «Доповнення до введення в енергетику» (Plug-ins to the Introduction to energy).

4 Європейська рада хімічної промисловості (Cefic) (2005). «Як охарактеризувати енергоефективність?» (How to define energy efficiency?)

5 Гарделл, Р. (Hardell, R.) та Форс, Д. (Fors, J.) (2005). «Як визначати поняття енергоефективності ?» (How should energy efficiency be defined?)

6 Cefic (2005). «Основні аспекти енергетичного менеджменту» (Key Aspects of Energy Management).

7 Літрас, К. (Lytras, K.), Каспар, К. (Caspar, C.) (2005). «Моделі енергетичного аудиту» (Energy Audit Models).

9 Болдер, Т. (Bolder, T.) (2003). «Нідерландський початковий документ щодо загальних технологій підвищення енергоефективності» (Dutch initial document on Generic Energy Efficiency Techniques).

10 Леєр, Г. (Layer, G.), Матула, Ф. (Matula, F.), Саллер, А. (Saller, A.), Ран, Р. (Rahn, R.) (1999). «Визначення енергетичних показників для установок, методів виробництва та продуктів (скорочена версія)» (Determination of energy indicators for plants, manufacturing methods and products (abridged version)).

11 Франко, Н.Д. (Franco, N.D.) (2005). «Енергетичні моделі» (Energy models).

12 Піні, А. (Pini, A.), Усала, А. (Usala, A.), Касула, А. (Casula, A.), Торнаторе, Д. (Tornatore, G.) та Веккі С. (Vecchi, S.) (2005). «Оцінка заощадження енергії за допомогою пінч-аналізу» (Energy saving evaluation using pinch analysis tool).

13 Дейкстра, А. (Dijkstra, A.). «Визначення бенчмаркінгу» (Definition of benchmarking).

16 Міжурядова рада країн-експортерів міді (CIPEC) (2002). «Методичний посібник з планування та керування енергоефективністю» (Energy Efficiency Planning and Management Guide).

17 Асбланд, А. (Asbland, A.) (2005). «Горіння у сильно підігрітому повітрі» (High temperature air combustion).

18 Асбланд, А. (2005). «Механічна рекомпресія пари» (Mechanical Vapour Recompression).

20 Асбланд, А. (2005). «Регенерація надлишку тепла на картонній фабриці» (Surplus heat recovery at board mill).

21 Шведська асоціація керування відходами (RVF) (2002). «Регенерація енергії за допомогою конденсації та теплових насосів на енергетичних установках, що працюють на відходах, у Швеції» (Energy recovery by condensation and heat pumps at Waste-to-Energy to plants in Sweden).

26 Нейсекке, П. (Neisecke, P.) (2003). «Заходи зі зниження енергоспоживання за допомогою окремих обраних технологій» (Maßnahmen zur Verminderung des Energiverbrauchs bei ausgewahlten Einzeltechniken).

28 Бергер, Г. (Berger, H.) (2005). «Енергоефективні технології та заходи з підвищення ефективності» (Energieeffiziente Technologien und effizienzsteigernde Maßnahmen).

29 Маес, Д. (Maes, D.), Францен, К. (Vrancen, K.) (2005). «Енергоефективність у парових системах» (Energy efficiency in steam systems).

31 Деспрец, Г. (Despretz, H.), Майєр, Б. (Mayer, B.). «Аудиторські інструменти. Аудит у рамках програми SAVE – II» (Auditor' Tools. SAVE-project AUDIT II).

32 Енергетичне агентство Португалії (ADENE) (2005). «Виробництво пари» (Steam production).

33 ADENE (2005). «Парові мережі» (Steam networks).

34 ADENE (2005). «Системи регенерації тепла» (Heat recovery systems).

36 ADENE (2005). «Системи керування технологічними процесами» (Process control systems).

40 ADENE (2005). «Енергетичний менеджмент у галузі транспорту» (Transport energy management).

48 Теодосі, А. (Teodosi, A.) (2005). «Процедура експлуатації теплообмінників з використанням м'ятої пари на глиноземному заводі» (Operating procedure of heat exchangers with flashed steam in an alumina refinery).

51 Піні, А., Касула, А., Торнаторе, Д., Веккі, С. (2005). «Оцінка заощадження енергії за допомогою пінч-аналізу» (Energy saving evaluation using pinch analysis tools).

55 Програма найкращих практик (1998). «Моніторинг і встановлення цільових показників у великих компаніях. Настанова з найкращих практик 112. Програма найкращих практик. SAVE» (Monitoring and Targeting in large companies. Good Practice Guide 112. Best Practice Programme. SAVE).

56 Програма найкращих практик (1996). «Моніторинг і встановлення цільових показників у компаніях малого та середнього розміру. Настанова з найкращих практик 125» (Monitoring and targeting in small and medium-sized companies. Good practice guide 125).

62 Палата лордів Великої Британії (2005). «Енергоефективність. Том I» (Energy Efficiency, Volume I).

63 Палата лордів Великої Британії (2005). «Енергоефективність. Том II. Фактичні дані» (Energy Efficiency. Volume II: Evidence).

64 Лінде Е. (Linde, E.) (2005). «Технології енергоефективних стаціонарних поршневих двигунів» (Energy-efficient stationary reciprocating engine solutions).

65 Нуутіла, М. (Nuutila, M.) (2005). «Енергоефективність у виробництві енергії» (Energy Efficiency in Energy Production).

67 Марттіла, М. (Marttila, M.) (2005). «Пінч-методика для енергетичного аналізу» (Pinch Technology for Energy Analysis).

89 Європейська комісія (2004). «Комплект інструментів з енергоефективності для малого та середнього бізнесу у рамках Схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS)» (EMAS Energy Efficiency Toolkit for Small and Medium sized Enterprises).

91 CEFIC (2005). «Настанови з енергоефективності на спалювальних установках» (Guidelines for Energy Efficiency in Combustion installation).

92 Motiva Oy (2005). «Схеми бенчмаркінгу та енергетичного менеджменту у малому та середньому бізнесі, ескіз» (Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs, Draft).

93 Толонен, Р. (Tolonen, R.) (2005). «Покращення екологічної ефективності централізованого опалення та централізованого охолодження у Хельсінкі» (Improving the eco-efficiency in the district heating and district cooling in Helsinki).

94 Французьке агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME) (2005). «Енергоефективність у галузі транспорту» (Energy efficiency in transport).

95 Саволайнен, А. (Savolainen, A.) (2005). «Електричні двигуни та приводи» (Electric motors and drives).

96 Гонскус, П. (Honskus, P.) (2006). «Підхід до матеріалів Довідкового документа з НДТМ для енергоефективності» (An approach to ENE BREF content).

97 Крейт, Ф. (Kreith, F.) та Вест Р.І. (West R.E.) (1997). «Посібник CRC з енергоефективності» (CRC Handbook of Energy efficiency), 0-8493-2514-5.

98 Сітні, П. (Sitny, P.), Добес, В. (Dobes, V.) (2006). «Моніторинг та встановлення цільових показників» (Monitoring and targeting).

107 Настанова з найкращих практик (2004). «Стратегічний підхід до енергетичного та екологічного менеджменту» (A strategic approach to energy and environmental management).

108 Раціональна енергетика – Європа (2005). «Схеми бенчмаркінгу та енергетичного менеджменту у малому та середньому бізнесі (BESS), ескіз» (Benchmarking and energy management schemes in SMEs (BESS), Draft).

113 Програма найкращих практик (1996). «Розробка ефективної енергетичної політики. Настанова з найкращих практик 186» (Developing an effective energy policy. Good practice guide 186).

114 Серія аналітичних досліджень Центру аналізу та поширення експериментальних енергетичних технологій (CADDET) № 28 (2001). «Енергозбереження у целюлозно-паперовій промисловості» (Energy Conservation in the Pulp and Paper Industry).

115 Серія аналітичних досліджень CADDET № 23. «Промислові теплові насоси» (Industrial Heat Pumps).

116 Центр теплових насосів Міжнародного енергетичного агентства. «Центр теплових насосів МЕА» (IEA Heat Pump Centre), http://www.heatpumpcentre.org.

117 Linnhoff March, «Пінч-аналіз» (Pinch methodology), www.linnhoffmarch.com.

118 KBC, «Пінч-аналіз» (Pinch methodology), www.kbcat.com.

119 Neste Jacobs Oy, «Пінч-аналіз» (Pinch methodology), www.nestejacobs.com.

120 Helsinki Energy (2004). «Що таке централізоване охолодження?» (What is District Cooling?) www.helsinginenergia.fi/kaukojaahdytys/en/index.html.

121 CADDET – Енергоефективність (1999). «Виробництво та розподіл повітря під тиском. Інформаційний лист CADDET щодо енергоефективності № 3» (Pressured air production and distribution. Caddet Energy Efficiency Newsletter No 3).

122 Вікіпедія – Горіння (2007). http: //en.wikipedia.org/wiki/Combustion.

123 Міністерство енергетики США. «Покращення роботи парових систем. Довідник для галузі» (Improving steam system performance. A source book for industry). Діяльність у рамках найкращих практик за Програмою промислових технологій Міністерства енергетики США (DOE).

125 Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для великих спалювальних установок» (LCP BREF).

126 EIPPCB. «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва цементу та вапна» (C&L BREF).

127 ТРГ «Зауваження ТРГ D1» (TWG comments D1), особисте повідомлення.

128 EIPPCB. «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин» (LVIC-S BREF).

130 Міністерство енергетики США – Коефіцієнт потужності. «Інформаційний бюлетень про підвищення енергоефективності двигунів: зниження вартості коефіцієнта потужності» (Motor Challenge Fact sheet, Reducing Power Factor Cost).

131 ZVEI. «Аналітична записка про Зелену книгу з енергоефективності: підвищення енергоефективності шляхом компенсації коефіцієнта потужності» (Position Paper on the Green Paper on Energy Efficiency: Improving Energy Efficiency by Power Factor Correction).

132 Вікіпедія – Гармоніки, http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics.

133 Іспанська асоціація зі стандартизації та сертифікації (AENOR) (2004). EN 12953-10.

134 Амальфі З. (Amalfi, X.) (2006). «Аудит котельної» (Boiler Audit House).

135 EUROELECTRICS. «Гармоніки» (Harmonics), особисте повідомлення.

136 Асоціація розвитку мідної промисловості (CDA). «Гармоніки» (Harmonics), http://www.copper.org/homepage.html.

137 Європейська комісія. EURODEEM, http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/eurodeem/index.htm.

139 Міністерство енергетики США. Motor Master Plus, http: //www 1.eere.energy .gov/industry/bestpractice s/software.html.

140 Європейська комісія (2005). «Зелена книга ЄС про енергоефективність, COM (2005) 265, остаточна версія від 22 червня 2005 року» (Green Paper on Energy Efficiency COM (2005) 265 final of 22 June 2005).

141 ЄС (2007). Берлінська декларація (Berlin Declaration).

142 Європейська комісія (2007). «План дій з енергоефективності, жовтень 2007 року, COM (2006) 545, остаточна версія» (Energy Efficiency Action Plan October 2007 COM (2006) 545 FINAL).

145 Європейська комісія (2000). «Зелена книга: реалізація Європейської стратегії забезпечення надійності енергопостачання, COM (2000) 769, остаточна версія від листопада 2000 року» (Green Paper: Towards a European Strategy for the security of Energy Supply COM (2000) 769 FINAL Nov 2000).

146 Європейська комісія (2004). «Директива 2004/8/ЕС Європейського парламенту та Ради щодо сприяння когенерації з урахуванням попиту на корисне тепло на внутрішньому ринку енергоресурсів, та Директива 92/42/ЕЕС, що вносить в неї зміни» (Directive 2004/8/EC of the EP and Council on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC).

147 Європейська комісія (2006). «Директива Ради Європи 2006/32/ЕС від 5 квітня 2006 року про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги, яка анулює Директиву Ради Європи 93/76/ЕЕС» (Council Directive 2006/32/EC of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC).

148 Європейська комісія (2005). «Рамкова Директива 2005/32/ЕС про встановлення вимог до екологічно свідомого дизайну для енергоспоживчих продуктів (EuP)» (Framework Directive 2005/32/EC for the setting of eco-design requirements for energy using products (EuP)).

152 Європейська комісія (2003). «Вказівки щодо тлумачення понять «установка» та «оператор» у контексті Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), з поправками від 2007 року» (Guidance on Interpretation of "Installation" and "Operator" for the Purposes of the IPPC Directive amended 2007).

153 Вікіпедія. Термодинаміка: закони, визначення, тощо.

154 Енциклопедія «Колумбія» (Columbia Encyclopedia). «Ентальпія» (Enthalpy).

156 Беркенс, Р.Г.К., (Beerkens, R.G.C.), ван Лімпт, Г.А.К. (van Limpt H.A.C.), Якобс, Д. (Jacobs, G.) (2004). «Бенчмаркінг енергоефективності скловарних печей» (Energy Efficiency benchmarking of glass furnaces), Glass Science Technology, с. 11.

157 Беркенс, Р.Г.К., ван Лімпт, Г. (2006). «Аналіз споживання енергії та заходів з енергозбереження для скловарних печей» (Analysis of Energy Consumption and Energy Savings Measures for Glass Furnaces).

158 Сабо, Л. (Szabo, L.), д-р (2007). «Показники енергоефективності» (Energy efficiency indicators), особисте повідомлення.

159 EIPPCB (2006). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників» (STS BREF: Surface treatment using organic solvents).

160 Агуадо, М. (Aguado, M.) (2007). «Відвідування об’єкта: сталеливарний завод Outokumpu у комуні Торніо, Фінляндія» (Site visit, Outokumpo Tornio steel works, Finland), особисте повідомлення.

161 Управління сталої енергетики Ірландії (SEI) (2006). «Сертифіковані системи енергетичного менеджменту» (Certified energy management systems).

162 SEI (2006). «Новий ірландський стандарт енергетичного менеджменту: досвід глиноземного заводу Aughinish Alumina» (The New Irish Energy Management Standard – Aughinish Alumina Experience).

163 Dow (2005). «Виступ на установчій нараді технічної робочої групи з енергоефективності» (ENE TWG kick off meeting presentation).

164 Організація економічного співробітництва та розвитку (OECP) (2001). «Застосування біотехнологій для сталого розвитку промисловості» (The application of biotechnology to industrial sustainability).

165 Схема бенчмаркінгу та енергетичного менеджменту у малому та середньому бізнесі (BESS) – Заява про вплив на навколишнє середовище (EIS). «Заощадження енергії при проєктуванні» (Energy savings in design).

166 Міністерство навколишнього середовища, продовольства та сільського господарства Великої Британії (DEFRA) (2003). «Досягнення заощаджень за рахунок енергоефективності» (Delivering energy efficiency savings).

167 EIPPCB (2006). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для економічних та міжсередовищних наслідків» (Economics and cross-media BREF).

168 Європейське об’єднання виробників компресорів, вакуумних насосів, пневматичних інструментів та супутнього обладнання (PNEUROP) (2007). «Запропонований новий текст для секції стисненого повітря (ССП)» (Proposed new text for compressed air section (CAS)).

169 Європейська комісія (1993). «Програми SAVE – схема впровадження директиви 93/76/EEC з метою обмеження викидів вуглекислого газу шляхом підвищення енергоефективності» (SAVE programmes – set up to implement directive 93/76/EEC to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency).

170 Європейська комісія (2003). «Програма з підвищення енергоефективності двигунів: програма для насосних систем» (European motor challenge programme – Pumping systems programme), Програма з підвищення енергоефективності двигунів.

171 де Смедт П. (de Smedt P.), Петела Е. (Petela E.), М. І. (M. I.), Бродкорб М. (Brodkorb M.) (2006). «Оптимізація та керування засобами інженерного забезпечення шляхом моделювання» (Model-based utilities management optimisation and management).

172 Мааге Петерсен П. (Maagøe Petersen, P.) (2006). «Енергоефективне проєктування» (Energy-Efficient Design).

173 EIPPCB (2003). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для інтенсивного тваринництва» (Intensive livestock farming BREF).

174 Європейська комісія (2007). «Інноваційний процес переробки картоплі – проєкт LIFE, LIFE04ENV/DK/67» (Novel potato process – LIFE project LIFE04ENV/DK/67), LIFE, LIFE04ENV/DK/67.

175 Сондерс Р. (Saunders R.) (2006). «Електронно-променева система: спосіб боротьби зі зростанням цін на енергію» (Electron Beam: One Way to Mitigate Rising Energy Costs), звіт RADTECH.

176 Боден М. (Boden M.) (2007). «Підтвердження: результати звіту EEFIN досі дійсні» (Confirmation: EEFIN report results still valid), особисте повідомлення.

177 Бікок, С. (Beacock, S.) (2007). «Проєкт EUREM» (EUREM project), особисте повідомлення.

179 Стейнс, П.Г. (Stijns, P.H.) (2005). «Система енергетичного менеджменту: лікарня Atrium, Херлен, Нідерланди» (Energy management system – Atrium Hospital, Heerlen. NL), Euro Heat and Power.

180 Анкірхнер, Т. (Ankirchner, T.) (2007). «Проєкт з навчання європейських енергоменеджерів» (European energy manger training project), особисте повідомлення.

181 Вікіпедія. «Техніка автоматичного керування процесами» (Process control engineering).

182 Вікіпедія. «Обговорення та інформація про забезпечення якості і керування якістю» (Discussion and information on quality assurance and quality management) http://en.wikipedia.org/wiki/ISO 9000.

183 Бованковіч (Bovankovich) (2007). «Енергетичний менеджмент: що потрібно знати» (Energy management: what you need to know), особисте повідомлення.

186 Федеральне агентство Австрії з охорони навколишнього середовища (UBA AT). «Енергоефективні технології та заходи з підвищення ефективності» (Energieeffiziente Technologien und effizienzsteigernde Massnahmen).

188 Вуглецевий фонд (Carbon_Trust) – Велика Британія (2005). «Використання енергії у свинарстві ECG089» (Energy use in Pig Farming ECG089), Посібник зі споживання енергії.

189 Радген (Radgen) та Блауштайн (Blaustein) (2001). «Системи стисненого повітря у Європейському Союзі» (Compressed Air Systems in the European Union), LOG-X, 3-932298-16-0.

190 Druckluft. «Оптимізація систем стисненого повітря» (System optimisation in CAS), http: //www .druckluft-effizient.de/e/facts/08-system-optimisation.pdf.

191 Druckluft. «Розподіл стисненого повітря» (Compressed Air Distribution), http://www.druckluft-effizient.de/e/facts/07-air-distribution.pdf.

193 Druckluft «Стиснене повітря: приклади установок» (Compressed Air – Example plants), http://www.druckluft-effizient.de/e/links/downloads.php?m=link.

194 ADEME (2007). «Стиснене повітря» (Compressed Air).

195 DETR. «Повітряні компресори з вбудованим частотно-регульованим пристроєм керування» (Air compressors with integral variable speed control), Програма найкращих практик, Енергоефективність, http: //www .druckluft-effizient.de/links/demoproj ekte/uk-vsd.pdf.

196 Вікіпедія. «Стиснене повітря» (Compressed Air).

197 Вікіпедія. «Сушіння» (Drying).

199 ТРГ. «Додаток 1622. Периферійні насосні системи» (Annex 1622 Front Ends Pump Systems).

200 ТРГ. «Додаток 1612. Периферійні насосні системи» (Annex 1612 Front Ends Pump Systems).

201 Дреш, М. (Dresch, M.) – ADEME (2006). «СУШІННЯ: пропозиція для Довідкового документа з найкращих доступних технологій та методів управління „Технології енергоефективності“» (DRYING-Proposal for "Energy Efficiency Techniques" BREF).

202 IFTS, CMI (1999). «Внесок у розробку стратегії Французького агентства з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME) з керування енергією у процесах сепарації / концентрування» (Contribution a l'elaboration de la strategie de l'ADEME pour la maitrise de l'energie dans les procedes de separation / concentration).

203 ADEME (2000). «Процеси сушіння у промисловості» (Les procedes de sechage dans l'industrie).

204 Технічний центр пневматики та теплотехніки (CETIAT) (2002). «Виграш в енергії завдяки використанню енергії випромінювання у промисловості: тепловий баланс на об’єкті та відгук про досвід» (Gains energetiques induits par l'utilisation des energies radiantes dans l'industrie: bilans thermiques sur site et retours d'experience).

205 ADEME. «Енергетична оптимізація сушіння натурального латексу» (Optimisation energetique du sechage du latex naturel), www.ademe.fr.

206 ADEME (2002). «Енергія випромінювання та її промислове застосування» (Les energies radiantes et leurs applications industrielles).

207 ADEME (2000). «Вимірювання вологості твердих речовин у промисловості» (Mesure de l'humidite des solides dans l'industrie).

208 Алі, Б. (Ali, B.) (1996). «Сушіння насиченою парою: сучасний рівень технологій» (Sechage a la vapeur d'eau saturee – Etat de l'art), Документи Французької асоціації сушіння у промисловості та сільському господарстві (AFSIA).

209 Вікіпедія. «Освітлення» (Lighting).

210 Європейська комісія (2000). «Європейська програма екологічного освітлення» (The European Green Light Programme), http://sunbird.jrc.it/GreenLight/.

211 ADEME (1997). «Фінансування заходів з енергозбереження у готелях» (Financer des travaux d'economie d'energie en hotellerie restauration).

212 BRE, Велика Британія (1995). «Фінансові аспекти енергетичного менеджменту в будівлях. Настанова з найкращих практик» (Financial aspects of energy management in buildings – Good practice guide 165).

213 Європейська комісія. «Посібник з рентабельних пропозицій щодо енергоефективності» (Guide to Energy Efficiency Bankable Proposals).

214 Європейська комісія (1996). «Угода про спільне енергозбереження та енергопостачання для будівель у Великій Британії» (Shared energy saving and supply agreement for UK buildings).

215 Ініціативи ICLEI (Органи місцевого самоврядування для сталого розвитку) (1993). «Отримуємо прибуток від енергоефективності! Фінансовий посібник для муніципалітетів» (Profiting from energy efficiency! A financing handbook for municipalities).

216 Ініціативи ICLEI (1995). «Міста з розумною енергетикою: механізми фінансування заходів з енергоефективності» (Energy Smart Cities, Energy Efficiency Financing Directory).

217 П'ємонт, Р. (Piemonte, R.) (2001). «Керування послугами громадського освітлення та впровадження заходів з енергоефективності і дотримання нормативних вимог у муніципальних системах з можливістю фінансування третіми сторонами. Умови тендерів для міських адміністрацій» (Gestione del servizio di illuminazione pubblica e realizzazione di interventi di efficienza energetica e di adeguamento normativo sugli impianti comunali, con l'opzione del finanziamento tramite terzi - Capitolato tipo d'appalto per le amministrazioni comunali).

218 Всесвітня асоціація з питань ефективного використання енергії (WEEA) (1997). «Посібник з фінансування проєктів у сфері енергоефективності» (Manual on financing energy efficiency projects).

219 Інститут диверсифікації та енергозбереження (IDAE)] «Пропозиція до типового міського розпорядження про зовнішнє освітлення» (Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior).

220 Блясяк В. (Blasiak W.), Ян В. (Yang W.), Рафіді Н. (Rafidi N.), (2004). «Фізичні властивості полум’я зі зрідженого нафтового газу у сильно підігрітому повітрі на регенеративному пальнику» (Physical properties of a LPG flame with high-temperature air on a regenerative burner), Combustion and Flame, с. 567-569.

221 Ян В., Блясяк В. (25 травня 2005 року). «Математичне моделювання викидів NO від горіння у сильно підігрітому повітрі з механізмом утворення оксидів азоту» (Mathematical modelling of NO emissions from High Temperature Air Combustion with Nitrous Oxide Mechanism), Fuel Processing Technology, м. 943-957.

222 Ян В., Блясяк В. (2005). «Винесення полум’я під дією турбулентного реагуючого струменя з використанням високотемпературних і бідних на кисень окисників» (Flame Entrainments Induced by a Turbulent Reacting Jet Using High-Temperature and Oxygen Deficient Oxidizers), Energy and Fuels, с. 1473-1483.

223 Рафіді Н., Блясяк В. (2005). «Аналіз теплових характеристик стільникових регенераторів тепла з двох композитних матеріалів, які використовуються у пальниках HiTAC» (Thermal performance analysis on a two composite material honeycomb heat regenerators used for HiTAC burners), Applied Thermal Engineering, с. 2966-2982.

224 Мортберг М. (Mortberg M.), Блясяк В., Гупта А.К. (Gupta A.K.) (2005). «Горіння низькокалорійного палива у високотемпературному і бідному на кисень середовищі» (Combustion of Low Calorific Fuels in High Temperature and Oxygen Deficient Environment), Combustion Science and Technology.

225 Рафіді Н., Блясяк В., Євартовскі М. (Jewartowski M.), Шевчик Д. (Szewczyk D.) (червень 2005 року). «Збільшення надходження ефективної енергії від радіаційної труби, обладнаної регенеративною системою, у порівнянні з традиційною рекуперативною системою» (Increase of the Effective Energy from the Radiant Tube Equipped with Regenerative System in Comparison with Conventional Recuperative System), IFRF Combustion Journal, стаття № 200503.

226 Центр аналізу та поширення експериментальних енергетичних технологій (CADDET) (2003, березень). «Високоефективна промислова піч на базі технології спалювання у сильно підігрітому повітря: застосування в печі для термічної обробки» (High-performance Industrial Furnace Based on High-temperature Air Combustion Technology – Application to a Heat Treatment Furnace).

227 ТРГ «Зауваження до ескізу 2 Довідкового документа з НДТМ для енергоефективності» (Comments to Draft 2 ENE BREF).

228 Петрекка, Д. (Petrecca, G.) (1992). «Промисловий енергетичний менеджмент» (Industrial Energy Management).

229 Ді Франко, Н. (Di Franco, N.). «Енергетична діагностика на фабриці напівпровідників» (Energy diagnose in semi-conductors mill).

230 Асоціація розвитку мідної промисловості (CDA) (2007). «Гармоніки» (Harmonics), http://www.copper.org/applications/electrical/pq/issues.html.

231 Програма з підвищення енергоефективності двигунів «Програма з підвищення енергоефективності двигунів» (The motor challenge programme), http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/index.htm.

232 МЕК 60034-30 «Обертові електричні машини. Частина 30. Класи ККД одношвидкісних трифазних двигунів з короткозамкненим ротором (код IE») (Rotating electrical machines – Part 30: efficiency classes of single speed, three-phase, cage induction motors (IE code)).

233 Петрекка, Д. (1992). «Промисловий енергетичний менеджмент» (Industrial Energy Management).

234 PROMOT. «PROMOT», http://promot.cres.gr/promot_plone.

236 Фернандес-Рамос, К. (Fernandez-Ramos, C.) (2007). «Енергоефективні технології для Довідкового документа з НДТМ щодо великих спалювальних установок» (Energy-efficient techniques LCP BREF), особисте повідомлення.

237 Фернандес-Рамос, К. (2007). «Охолодження у Довідковому документі з НДТМ для промислових систем охолодження» (Cooling in CV BREF), особисте повідомлення.

238 Хокен, П. (Hawken, P.) (2000). «Природний капіталізм» (Natural Capitalism), ISBN 0-316-35300-0.

240 Харді, М. (Hardy, M.). «Практичний посібник з природного охолодження, альтернативних засобів охолодження, охолодження вночі та низькоенергетичних систем» (A Practical Guide to Free Cooling, Alternative Cooling, Night Cooling and Low Energy Systems), http://www.ambthair.com.

241 Coolmation. «Природне охолодження» (Free Cooling).

242 ДіЛуї, К. (DiLouie, C.) (2006). «Розширене керування освітленням: заощадження енергії, продуктивність, технології та сфери застосування» (Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity, Technology and Applications), ISBN 0-88173-510-8.

243 Науково-дослідницька робота (2002). «Концентрування стічних вод за допомогою механічної рекомпресії пари (MVR) або теплових насосів (TH)» (Waste water concentration by mechanical vapour recompression (MVR) or heat pump (HP)).

244 Програма найкращих практик. «Зниження витрат на стиснене повітря за допомогою автоматичної системи керування» (Compressed air costs reduced by automatic control system), http://www.druckluft-effizient.de/links/demoprojekte/gpcs137.pdf.

245 Ді Франко, Н. (2008). «Енергоефективне керування трансформаторами» (Energy-efficient management of transformers).

246 Вищий інститут охорони довкілля та наукових досліджень (ISPRA) (2008). «Рисунок. Порівняння енергоефективної та звичайної насосних систем» (Figure – Comparison of energy-efficient and conventional pumping system), особисте повідомлення.

248 ADEME (2007). «Сушильні системи: пропозиція для Довідкового документа з НДТМ для енергоефективності» (Drying systems – Proposal for ENE BREF).

249 ТРГ (2007). «Заключне засідання технічної робочої групи з питань Довідкового документа з НДТМ для енергоефективності у листопаді 2007 року» (TWG Final ENE BREF Meeting Nov 2007).

250 ADEME (2006). «Система відліку для енергетичної діагностики у промисловості» (Energy Diagnosis Reference Frame for Industry), особисте повідомлення.

251 Євростат (2007). «Панорама енергії» (Panorama of Energy).

252 Європейське агентство з охорони довкілля (EEA) (2005). «Концентрації парникових газів в атмосфері» (Atmospheric greenhouse gas concentrations), CSI 013.

254 EIPPCB (2005). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для спалювання відходів» (Waste Incineration BREF), документ BREF.

255 Європейська комісія (2005). «Пропозиція щодо Директиви Європейського парламенту та Ради Європи про відходи COM (2005) 667» (Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on Waste COM (2005) 667).

256 Темпані, П. (Tempany, P.) (2007). «Постійне вдосконалення стану навколишнього середовища» (Continuing environmental improvement), особисте повідомлення.

257 Кларк, Д.Г. (Clark, J. H.) (2006). «Екологічно безпечна хімія: сьогодні (і завтра)» (Green Chemistry: today (and tomorrow)), Green Chemistry.

258 Цацароніс, Д. (Tsatsaronis, G.) та Валеро, А. (Valero, A.) (1989). «На перехресті термодинаміки та економіки: поєднання термодинаміки та економіки в енергетичних системах» (Thermodynamics meets economics – Combining thermodynamics and economics in energy systems), Mechanical Engineering.

259 MEA (2006). «Сценарії та стратегії до 2050 року» (Scenarios and strategies to 2050).

260 ТРГ (2008). «Зауваження щодо ескізу 3: частина про НДТМ, тощо» (Comments on Draft 3: BAT Chapter, etc).

261 Вуглецевий фонд – Велика Британія (2005). «Використання енергії у свинарстві» (Energy use in Pig Farming).

262 Королівська Скарбниця Великої Британії (2006). «Звіт Стерна: економіка зміни клімату» (The Stern report: The economics of climate change).

263 Темпані, П. (2008). «Сушіння з безпосереднім нагріванням» (Directly heated drying).

264 Темпані, П. (2008). «Сушіння з опосередкованим нагріванням» (Indirectly heated drying).

265 Темпані, П. (2008). «Ізоляція та сушіння» (Insulation and drying).

266 Енциклопедія Ульмана (Ullmann's) (2000). «Енциклопедія Ульмана з промислової хімії, 6-та редакція, електронний випуск» (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 6th edition electronic release).

267 EIPPCB (2006). «STM: поверхнева обробка металів та пластмас» (STM: Surface treatment of Metals and Plastics).

268 Віттакер, Д. (Whittaker, G.) (2003). «Визначення промислових систем ізоляції» (Specifying for industrial Insulation Systems), Steam Digest, том 4.

269 Валеро, А. (2007). «Введення в термодинаміку для Довідкового документа з НДТМ для енергоефективності» (Introduction to Thermodynamics for the ENE BREF).

270 Темпані, П. (2008). «Оцінки та розрахунки» (Estimations and calculations), особисте повідомлення.

271 Міністерство енергетики США (2004). «Зменшення кількості та регенерація відхідного тепла для підвищення ККД і продуктивності печей та зниження викидів» (Waste Heat Reduction and recovery for improving furnace efficiency, productivity and emissions performance), DOE/GO-102004-1975.

272 Фінляндія, Motiva Oy (2007). «Енергетичний аудит для транспортних ланцюжків» (Energy audit for transport chains).

276 Управління з охорони навколишнього середовища США (1997). «Енергозбереження у целюлозно-паперовій промисловості» (Energy Conservation in the Pulp and Paper Industry), 4712/4.

277 ADEME. «Рекуперація тепла шляхом підігрівання повітря» (Recuperation de chaleur par prechauffage de l'air).

278 ADEME. «Опалення приміщень» (Space heating).

279 Чехія (2006). «Контракти на підвищення енергетичної ефективності: поняття енергосервісних компаній (ESCO)» (Energy Performance Contracting – The ESCO concept).

280 Федеральне агентство Німеччини з охорони навколишнього середовища (UBA DE) (2006). «Поняття енергосервісних компаній (ESCO)» (Energy Services Company (ESCO) concept).

281 Європейська конференція з вітрової енергетики (EWEC) (2004). «Матеріали Європейської конференції з вітрової енергетики» (Proceedings of the European Wind Energy Conference).

282 Асоціація з питань зберігання енергії (ESA), http://www.electricitystorage.org/tech/technologies technologies caes.htm.

283 EIPPCB «Підсумок питань енергоефективності у серії Довідкових документів з найкращих доступних технологій та методів управління» (Summary on Energy Efficiency issues in the BREF series).

284 Валеро, А., Торрес, К. (Torres, C.). «Термоекономічний аналіз» (Thermoeconomic analysis).

285 Валеро, А. (1989). «Термоекономіка: новий розділ фізики» (Thermoeconomics: A new chapter of physics).

286 Франгопулос (Frangopoulos), http://www.eolss.net/E3-19-toc.aspx.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
Позначення	
мкм	мікрометр (1 мкм = 10-6 м)
~	приблизно; більше або менше
°C	градус Цельсія
0	атмосферні умови
ΔT	різниця температур (підвищення температури)
ε	ексергетичний ККД
σ	приріст ентропії, Дж/К
η	термічний ККД
A	
A	A (ампер). Позначення SI для електричного струму
AC	змінний струм
AEA	Австрійське енергетичне агентство, або AEA Technology (британська консультаційна компанія)
aka	також відомий як
AH	нітрат амонію (NH_4NO_3)
ППГ	Повітряний підігрівач
API	Американський нафтовий інститут
APQP	перспективне планування якості продукції – це структурований метод визначення і впровадження кроків, необхідних для того, щоб продукт задовольнив клієнтів. Він дає змогу обмінюватися даними з усіма задіяними суб'єктами, аби переконатися, що всі потрібно кроки виконуються вчасно
ASTM	велика міжнародна організація зі стандартизації. Спочатку це було Американське товариство з випробування та матеріалів, тепер – міжнародна організація ASTM International
AT	Австрія
атм.	атмосфера (1 атм. = 101325 Н/м^2).
сер.	середнє
B	
B	ексергія
бар	бар (1,013 бар = 1 атм.)
бар абс.	абсолютний тиск у барах
бар надл.	надлишковий тиск у барах, який означає різницю між атмосферним тиском і тиском газу. На рівні моря тиск повітря дорівнює 0 бар надл. або 101325 бар абс.
НДТМ	найкращі доступні технології та методи управління
BOOS	пальник виведений з експлуатації
бк	бекерель (с$^{-1}$) – одиниця активності радіонукліда
BREF	Довідковий документ з НДТМ
BTEX	бензол, толуол, етилбензол та ксилен
C	
C	швидкість, м/с
C	питома теплоємність нестискної речовини, Дж/(кг·К)
потік C_4	суміш молекул, кожна з яких містить чотири атоми вуглецю. Зазвичай це: бутадієн (C4H6) бутен-1, бутен-2 та ізобутилен (C4H8) н-бутани та ізобутен (C4H10)
CAES	сховище енергії на стисненому повітрі
ССП	система стисненого повітря

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
кавітація	коли в об'ємі рідини створюється достатньо низький тиск, рідина може розірватися, і в ній утворюється порожнина. Це явище називається кавітацією і може виникнути за лопаттю робочого колеса чи пропелера, який швидко обертається, або на будь-якій поверхні, яка вібрує під водою (або загалом у текучому середовищі) з достатньою амплітудою та прискоренням. Кавітація зазвичай є небажаним явищем. У таких пристроях, як пропелери та насоси, кавітація призводить до сильного шуму, пошкодження компонентів, вібрації та зниження ККД. Хоча при захлопуванні порожнин виділяється порівняно невелика кількість енергії, вона зосереджується на дуже вузькій ділянці і може навіть призвести до роз'їдання металів, таких як сталь. Точкова корозія, зумовлена захлопуванням порожнин, призводить до сильного зношування деталей і значно скорочує термін служби пропелера чи насоса.
CC	комбінований цикл
ПГУ	парогазова установка
CCP	продукти згорання вугілля
CDM	механізми чистого розвитку
CEM	безперервний моніторинг викидів
CEMS	система безперервного моніторингу викидів
CEN	Європейський комітет зі стандартизації
CENELEC	Європейський комітет з електротехнічної стандартизації
CFB	циркулюючий киплячий шар
CFBC	спалювання в циркулюючому киплячому шарі
ХФВ	хлорфторвуглець – це сполука, яка складається з хлору, втору та вуглецю. ХФВ дуже стабільні у тропосфері. Вони переміщаються у стратосферу і розпадаються під дією потужного ультрафіолетового випромінювання, виділяючи при цьому атоми хлору, які руйнують озоновий шар
CHP	комбіноване виробництво тепла та електроенергії (когенерація)
CIP	система очищення на місці
см	сантиметр
ХПК	хімічна потреба в кисні: кількість дихромату калію, вираженого через кисень, потрібна для хімічного окиснення речовин, що містяться у стічних водах (за температури приблизно 150 °C)
COP	коефіцієнт продуктивності (наприклад, для теплових насосів)
COPHP	коефіцієнт продуктивності циклу теплового насоса
COPR	коефіцієнт продуктивності холодильного циклу
c_p	питома теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг·К)
постійне покращення	процес постійного покращення з року в рік результатів енергетичного менеджменту з підвищенням ефективності та уникненням зайвого споживання
CP	масова витрата, помножена на питому теплоємність
міжсередовищні наслідки	розрахунок впливів на навколишнє середовище викидів у воду/повітря/ґрунт, використання енергії, споживання сировини, шуму та забору води (тобто всього, що встановлено Директивою з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC))
CTM	централізоване технічне керування
C_V	питома теплоємність за сталого об'єму, Дж/(кг·К)
к.о.	контрольний об'єм
D	
д	доба
DBB	котел з твердим шлаковидаленням. Найбільш поширеним типом вугільної печі в електроенергетиці є котел з твердим шлаковидаленням, який працює на пилоподібному вугіллі. Коли у котлі з твердим шлаковидаленням спалюється пилоподібне вугілля, близько 80 відсотків неспаленого матеріалу або золи захоплюються димовими газами і уловлюються і повторно використовуються як зола-унос. Решту 20 відсотків золи становить суха подова зола – темно-сірий, зернистий, пористий матеріал з розміром часток переважно як у піску, який осідає у воді

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
DC	постійний струм
DC	централізоване охолодження
DCS	розподілена система керування
DDCC	безпосереднє цифрове керування спалюванням
DE	Німеччина
DH	централізоване опалення
DK	Данія
E	
E	ексергія, Дж
E	питомий потік
e	ексергія на одиницю маси, Дж/кг
EA	енергетичний аудит
EAM	модель енергетичного аудиту
EDTA	етилендіамінтетраоцтова кислота
ПЕЕ	показник енергоефективності
EFF	схема класифікації ККД двигунів, розроблена Європейською комісією та виробниками двигунів у ЄС (Європейським комітетом виробників електричного обладнання та силової електроніки – CEMEP). Існує три класи ККД: EFF1 (двигуни з високим ККД), EFF2 (двигуни зі стандартним ККД) та EFF3 (двигуни з низьким ККД), які застосовуються до низьковольтних дво- та чотириполюсних двигунів з номінальною потужністю від 1,1 до 90 кВт
EGR	рециркуляція вихлопних газів
КЕЄ	коефіцієнт енергоємності
EII	індекс енергоємності індекс, впроваджений компанією Solomon Associate у якості орієнтира для нафтопереробних заводів
EIPPCB	Європейське бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)
ELV	граничне значення викидів маса, виражена через певні питомі параметри, концентрація та/або рівень викидів, які не повинні перевищуватися протягом одного або кількох періодів часу.
EMAS	Схема екологічного менеджменту та аудиту Європейської спільноти
викид	безпосереднє або опосередковане виділення речовин, створення вібрацій, випромінювання тепла або шуму окремими або дифузними джерелами на установках у повітря, воду або землю.
EMS	система керування навколишнім середовищем
EN	Європейська норма (стандарт)
ENE	енергоефективність
ENEMS	система керування енергоефективністю
енергетичний аудит	процес визначення споживання енергії, потенційних можливостей енергозбереження та належних практик з підвищення енергоефективності
енергетична ефективність	спожита кількість енергії відносно досягнутих результатів. Чим нижча питома витрата енергії, тим вища енергетична ефективність
EO	вихід енергії
EOP, EoP	у кінці виробничого циклу
EPC	контракти на підвищення енергетичної ефективності
EPER	Європейський реєстр викидів забруднюючих речовин
ESCO/ESCo	енергосервісна компанія
E_T	повна енергія, Дж
ЄС-15	15 країн-членів Європейського Союзу
ЄС-25	25 країн-членів Європейського Союзу
EVO	Організація з оцінки ефективності
F	
f	насичена рідина
FAD	вільна подача повітря

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
FBC	спалювання в киплячому шарі
FBCB	котел зі спалюванням у киплячому шарі
f_g	різниця у властивості між насиченою парою та насиченою рідиною
FI	Фінляндія
FMEA	аналіз характеру і наслідків відмов. Систематичний процес визначення потенційних (проєктних та) технологічних відмов з метою їх усунення або мінімізації пов'язаного з ними ризику
FR	Франція
Г	
g	прискорення сили тяжіння, м/с^2
г	грами
g	насичений газ
G	вільна енергія Гіббса
Г	гіга, 109
ГДж	гігаджоуль
ГМО	генетично модифікований організм
галони/хв.	галони за хвилину
зелений сертифікат	ринковий інструмент для стимулювання використання відновлюваних джерел енергії. Зелені сертифікати відображають корисність виробництва енергії з відновлюваних джерел для навколишнього середовища. Сертифікатами можна торгувати окремо від виробленої енергії
ГТ	газова турбіна
GTCC	газова турбіна комбінованого циклу
ГВт	гігават
ГВт·год.	гігават-години
ГВт$_e$·год.	гігават-години електричної енергії
GWP	потенціал глобального потепління
Н	
H	ентальпія, Дж
h	питома ентальпія, Дж/кг
год.	година
удар	гідроудар, див. гідравлічний удар
гармоніка	синусоїдна складова періодичної хвилі або величини, частота якої є цілочисловим кратним основної частоти. Це спотворення чистого електроживлення.
ВТЗ	вища теплота згоряння, вища теплотворна здатність
ГХФВ	гідрохлорфторвуглеці. Клас галогеноалканів, у яких не всі атоми водню заміщені хлором або фтором.
ПВЩ	поліетилен високої щільності
ВЧ	високочастотне випромінювання Електромагнітне випромінювання з частотою радіохвиль від 3 до 30 МГц
ВМ	важкий мазут
HiTAC	Технологія спалювання у сильно підігрітому повітрі
ГІ	графічний інтерфейс
ВТ	високий тиск
ПВД	пара високого тиску. Пара, тиск якої значно перевищує атмосферний
HRSG	теплоутилізаційний парогенератор
ВН	висока напруга. Міжнародна електротехнічна комісія та її національні відповідники (IEE, IEEE, VDE, тощо визначають ланцюги високої напруги як ланцюги з напругою понад 1000 В змінного струму та принаймні 1500 В постійного струму і розмежовують ці ланцюги та ланцюги низької напруги (50 – 1000 В змінного струму або 120 – 1500 В постійного струму) та наднизької напруги (<50 В змінного струму або <120 В постійного струму). Це робиться з міркувань безпеки електроприладів.

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
ОВіК	опалення, вентиляція і кондиціювання повітря
реактор гідроочищення	установка гідродесульфурації – очищення від сірки у присутності водню (HDS). Ці установки широко застосовуються у нафтопереробній галузі і також часто називаються реакторами гідроочищення. У цих установках протікає каталітичний хімічний процес, метою якого є видалення сірки (S) з природного газу з очищених нафтопродуктів, таких як бензин, авіаційне паливо, керосин, дизельне паливо та мазути
Гц	герц
I	
$D_{вн.}$	внутрішній діаметр
IE	Ірландія
MEA	Міжнародне енергетичне агентство
IEC	Міжнародна електротехнічна комісія
IEF	Форум з обміну інформацією (неформальний консультаційний орган, що діє у рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)
IGCC	комбінований цикл з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля
установка	Стаціонарна технічна одиниця, на якій виконується один або кілька видів діяльності, перелічених у Додатку I до Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), та будь-які інші безпосередньо пов'язані з ними види діяльності, технічно пов'язані з діяльністю, що здійснюється на об'єкті та може впливати на викиди і забруднення
IPCC	Міжурядова група експертів з питань змін клімату
IPPC	комплексне запобігання та контроль забруднень
ІЧ	інфрачервоне випромінювання Електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого більша, ніж у видимого світла, але коротша, ніж у терагерцового випромінювання та мікрохвиль, тобто від 750 нм до 1 мм.
IRR	внутрішня норма рентабельності
ISO	Міжнародна організація зі стандартизації
ISO 14001	Стандарт керування охороною навколишнього середовища Міжнародної організації зі стандартизації
IT	Італія
J	
Дж	джоуль
JRC	Об’єднаний дослідницький центр
K	
K	Кельвін (0 °C = 273,15 K)
ккал	кілокалорія (1 ккал = 4,19 кДж)
кг	кілограми
кДж	кілоджоуль (1 кДж = 0,24 ккал)
K	кінетична енергія, Дж
кПа	кілопаскаль
кт	кілотонна
кВт·год.	кіловат-година (1 кВт·год. = 3600 кДж = 3,6 МДж)
I	
л	літр
LCP	велика спалювальна установка
НТЗ	нижча теплота згоряння, нижча теплотворна здатність
ощадливість, ощадливе виробництво	загальна філософія керування процесами, почерпнута переважно з виробничої системи «Тойоти» (TPS), проте також і з інших джерел. Вона відома своїм акцентом на зменшенні кількості «семи відходів», початково визначених компанією «Тойота», з метою підвищення загальної споживчої цінності. Ощадливе виробництво часто пов’язують з методикою шести сигм, оскільки остання зосереджена на зменшенні відхилень у процесі (або, навпаки, на його рівномірності)

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
ПНЩ	поліетилен низької щільності
ЛМ	легкий мазут (легший, ніж важкий мазут)
НТЗ	нижча теплотворна здатність
лм	люмен: одиниця вимірювання світлового потоку в системі SI. 1 лм = 1 кд1 · со = 1 люкс•м^2
НТ	низький тиск
пара НТ	пара низького тиску: пара, тиск якої менший, дорівнює або незначно перевищує атмосферний тиск
ЗНГ	зріджений нафтовий газ
ПНТ	пара низького тиску
люкс	(позначення: люкс) одиниця вимірювання освітленості в системі SI. Вона використовується у фотометрії як міра інтенсивності світла, довжини хвиль якого зважені за функцією спектральної світлової ефективності, стандартизованою моделлю сприйняття яскравості людиною. У англійській мові слово «люкс» (lux) вживається для позначення як однини, так і множини
LVOC	великосерійна органічно-хімічна промисловість (документ BREF)
M	
m	маса
м	метр
M	мега, 10^6
м/хв.	метри за хвилину
м^2	квадратний метр
м^3	кубічний метр
MBPC	прогнозне керування на базі моделей
мг	міліграм (1 мг = 10^{-3} грамів)
MIMO	багатоканальний вхід, багатоканальний вихід
MJ	мегаджоуль (1 МДж = 1000 кДж = 106 Дж)
мм	міліметр (1 мм = 10^{-3} м)
моніторинг	процес, призначений для оцінки або визначення фактичного значення та коливань рівня викидів або іншого параметра, що базується на процедурах систематичного, періодичного або точкового спостереження, огляду, відбору проб, вимірювання або інших методів оцінки, призначених для отримання інформації про кількість викидів та/або тенденції у викидах забруднюючих речовин
СТ	середній тиск
ПСТ	пара середнього тиску
MRC	Рада з медичних досліджень
MS	Країна-член ЄС
MSA	аналіз вимірювальних систем. Метод, який полягає у тому, щоб за допомогою експериментів та математичних розрахунків визначити, наскільки відхилення у процесі вимірювання впливає на загальну мінливість процесу
Мт	1 Мт = 106 тонн
MTBF	середній наробіток між відмовами
мВ	мілівольт (мВ), 10^{-3} вольт, 1/1000 вольта
MB	мегавольт (MB), 10^6 вольт, 1 000 000 вольт
MVR	система механічної рекомпресії пари. Тип теплового насоса
M&V	вимірювання та верифікація
MX	мікрохвильове випромінювання. Електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль від 1 мм до 1 м.
МВт$_е$	мегавати електричної енергії
МВт$_е$·год.	мегават-години електричної потужності
МВт$_т$·год.	мегават-години теплової потужності
МВт$_т$	мегавати теплової енергії

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
N	
N	форсунка
н/з	не застосовно АБО немає (залежно від контексту)
н/д	немає даних
нг	нанограм (1 нг = 10^{-9} грам)
ПГ	природний газ
$м^3$ н. у.	кубічний метр у нормальних умовах (за 101325 кПа, 273 К)
NMHC	неметанові вуглеводні
NMVOC	леткі органічні сполуки неметанового ряду
NPSH	допустимий кавітаційний запас. Показує різницю між тиском у будь-якому поперечному перерізі типового гідравлічного контуру і тиском парів рідини у цьому перерізі. У експлуатації насосів використовуються два різновиди цього параметра, які називаються відповідно NPSH (a), допустимий кавітаційний запас (наявний), та NPSH (r), допустимий кавітаційний запас (необхідний); при цьому параметр NPSH (a) розраховується на вхідному отворі насоса, а параметр NPSH (r) – це граничне значення допустимого кавітаційному запасу, яке насос може витримати без виникнення кавітації. Дані взято зі сторінки http://en.wikipedia.org/wiki/NPSH
O	
OECP	Організація економічного співробітництва та розвитку
OFA	гостре дуття
оператор	будь-яка фізична чи юридична особа, яка експлуатує чи керує установкою, або, якщо це передбачено національним законодавством, якій делегована вирішальна господарська влада над технічним функціонуванням установки
°R	градус Ранкіна
цикл Отто	чотиритактний двигун
P	
П	пета, 10^{15}
P, P	тиск
Па	паскаль
ПХБ	поліхлоровані біфеніли
ПХДД	поліхлоровані дибензодіоксини
ПХДФ	поліхлоровані дибензофурани
PDCA	цикл «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів»
PFBC	спалювання в киплячому шарі під тиском
PI	інтегрований у технологічний процес
ПІД	пропорційно-інтегрально-диференційне регулювання
ПЛК	програмовані логічні контролери
ПМ	постійний магніт
забруднююча речовина	окрема речовина або група речовин, які можуть шкодити або впливати на навколишнє середовище
$млрд^{-1}$	кількість часток на мільярд
$млн^{-1}$	кількість часток на мільйон (за вагою)
$млн^{-1}_{об.с.}$ (ppmvd)	кількість часток на мільйон за об’ємом у сухому стані
PRV	клапан скидання тиску
P	потенційна енергія
Q	
Q	теплота, Дж
Q	швидкість зміни теплоти
QFD	розгортання функції якості
QMS	система керування якістю
R	
R	газова стала, Дж/(г·К)
R&D	науково-дослідна робота

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
R_u	універсальна газова стала, Дж/(моль·К)
готовність з першого разу	система керування якістю. Концепція, яка є невід'ємною складовою загального управління якістю, якщо компанія зобов'язується перед клієнтами не робити помилок. Цей підхід вимагає, щоб працівники на всіх рівнях зобов'язалися досягати цієї цілі і несли відповідальність за її досягнення. У якості методу, що допомагає в цьому процесі, іноді використовуються кола якості.
ROI	період окупності
S	
S	ентропія, Дж/К
s	питома ентропія, Дж/(кг·К)
с	секунда
насичена пара	пара з температурою точки кипіння, яка відповідає її тиску
програма SAVE	програма ЄС з підвищення енергоефективності, наразі завершена
SCADA	диспетчерське керування та збір даних
SE	Швеція
ПВЕ	питома витрата енергії
SEI	Управління сталої енергетики Ірландії. Організація, яка заохочує і допомагає в розвитку сталої енергетики.
відчутна теплота	теплова енергія, що передається тілом з температурою вищою, ніж у навколишнього середовища, за рахунок теплопровідності, конвекції або обох цих процесів. Відчутна теплота – це добуток маси тіла, його питомої теплоємності та його температури відносно (прийнятої) опорної температури
ПГ	парогенератор
шість сигм, 6 сигм, 6-σ	система якості, у якій імовірність неочікуваної відмови не перевищує шість середньоквадратичних відхилень (де сигма – це середньоквадратичне відхилення, яке дорівнює 3,4 дефекту на мільйон)
SME	малий та середній бізнес
SPC	статистичне керування процесом
SPD	
питоме споживання	споживання, віднесене до опорного показника, такого як потужність виробництва або фактичний об'єм виробництва (наприклад, маса на тону або на одиницю виготовленої продукції)
SPOT	інструмент для оптимізації парової установки
застійність	втрата цікавості через перевантаження роботою, нудьгу та/або вік. Відсутність оригінальності через сірість та банальність
стаціонарний стан	ситуація, коли всі змінні стану залишаються сталими незважаючи на поточні процеси, які намагаються їх змінити
перегріта пара	пара, нагріта до температури, яка перевищує точку за відповідного тиску. Така пара не може існувати у контакті з водою або містити воду і є ідеальним газом; її також називають сухою парою, безводною парою та парогазом
T	
t	час
т	метрична тонна (1000 кг або 10^6 грам)
T	температура
T	тера, 10^{12}
т/рік	кількість тонн на рік
TAC	загальна допустима концентрація
TDS	загальна мінералізація води
TEE	скорочення, яке означає білий сертифікат в Італії, див. білий сертифікат
тиристорний привід	поєднання двигуна та контролера включно з валом привода, у якому змінний струм живлення регулюється шляхом тиристорного регулювання зсуву фази з метою подання змінної напруги на двигун постійного струму

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
ЗОВ	загальний органічний вуглець
вище керівництво	особа або група осіб з найвищими повноваженнями, які керують компанією або її частиною
TQM	загальне керування якістю – це комплексний і структурований підхід до організаційного керування, мета якого полягає в покращенні якості продуктів та послуг за допомогою поточних вдосконалень у відповідь на безперервний зворотний зв'язок. Процеси загального керування якістю поділяються на чотири послідовні категорії: планування, виконання, перевірка та вжиття заходів (цикл PDCA)
ТРГ	технічна робоча група
U	
U	внутрішня енергія, Дж
u	внутрішня енергія на одиницю маси, Дж/кг
UHC	неспалені вуглеводні
ДБЖ	джерело безперебійного живлення. Пристрій, який підтримує безперервне постачання електричної потужності у під'єднане обладнання шляхом подавання живлення від окремого джерела, якщо живлення від енергосистеми відсутнє
V	
V	об'єм
v	питомий об'єм, $м^3$/кг
В	вольт. Одиниця вимірювання різниці потенціалів або електрорушійної сили, яка є похідною з системи SI.
ВА	вольт-ампер: з електричної точки зору означає повну потужність у ланцюгу змінного струму, яка відповідає струму в один ампер за електрорушійної сили в один вольт. Вона еквівалентна ватам у ланцюгах без реактивної потужності (у промисловості зазвичай використовується у масштабі кВ: 10 кВА = потужність у 10 000 ват (де префікс «к» з системи SI означає «кіло»); 10 МВА = потужність у 10 000 000 ват (де «М» означає «мега»)
VAM	мономер вінілацетату
ЛОС	леткі органічні сполуки. Речовини з достатньо великим тиском парів, щоб помітно випаровуватися за атмосферних умов. До цих речовин належить велике розмаїття молекул, як-от альдегіди, кетони та вуглеводні. Вони часто зустрічаються в розчинниках для фарби, друкарському чорнилі, клеях, деяких видах палива, тощо. Див. Довідковий документ з НДТМ для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників» (STS)
об'ємний %	відсоток за об'ємом (також об'ємна частка)
спіральна камера	спіральний кожух, у якому розташований ротор відцентрового насоса
W	
W	робота, Дж
гідравлічний удар	(у англійській мові – water hammer, «водяний удар», або узагальнено fluid hammer, «рідинний удар») стрибок тиску або хвиля, створений кінетичною енергією рідини, яка рухається, коли вона змушена зупинитися або різко змінює напрямок руху. Місце, у якому тиск різко зміниться, залежить від стискності рідини. Наприклад, якщо на кінці трубопровідної системи раптово закриється клапан, хвиля від гідравлічного удару пошириться по трубі. Парові системи опалення будівель також можуть бути вразливими до гідравлічного удару. У паровій системі гідравлічний удар найчастіше виникає, коли частина пари конденсується, перетворюючись на воду, на горизонтальній ділянці паропроводу. Як наслідок, ця вода підхоплюється парою, утворює водяну «пробку» і на високій швидкості врізається в коліно труби. Це супроводжується гучним звуком удару, а у трубі виникають значні напруження. Це явище, як правило, зумовлене поганою стратегією відведення конденсату

ТЕРМІН УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ	ЗНАЧЕННЯ
волога пара	пара, яка містить воду, що механічно утримується у зваженому стані; її також називають сирою парою
WBB	Котел з рідким шлаковидаленням. Котел, у складі якого є топка з рідким шлаковидаленням. Це різновид котла, що використовується для спалювання пилоподібного палива. У котлі з рідким шлаковиділенням подова зола утримується в розплавленому стані і зливається через лотки у вигляді рідини. У зольному бункері топки з рідким шлаковидаленням міститься охолоджувальна вода. Коли розплавлений шлак контактує з охолоджувальною водою, він миттєво тріскається, кристалізується і перетворюється на гранули. Котлам з рідким шлаковидаленням краще підходять для палива з низьким виходом летких речовин, з якого утворюється багато золи. Проте вони потребують більших інвестиційних витрат і витрат на технічне обслуговування, тому їх будують рідше
білий сертифікат	ринковий інструмент, який організовує заощадження енергії для певної категорії операторів (розподільників, споживачів, тощо) у поєднанні з системою торгівлі заходами з підвищення енергоефективності, які забезпечують заощадження енергії. Заощадження перевіряються і засвідчуються так званими «білими сертифікатами»
WI	спалювання відходів
ваговий %	відсоток за вагою (також масова частка)
W-t-E	перетворення відходів у енергію
X	
x	молярна частка, ступінь сухості
X	ступінь сухості
Y	
рік	рік
Z	
Z	коефіцієнт стискності
z	висотна відмітка, положення у м

7 ДОДАТКИ

7.1 Енергія та закони термодинаміки

[269, Валеро, 2007]

Для енергетичної діагностики промислових установок принципове значення мають процеси аудиту: вони необхідні, щоб зрозуміти, де використовується енергія, і переконатися в ефективності її використання та керування нею. Для аудиту потрібно скласти баланси маси, енергії та ексергії в обладнанні та відповідних процесах. Після цього можна надати рекомендації стосовно того, як підвищити показники ефективності та/або мінімізувати кількості енергії, які в результаті розсіюються. Фундаментальною наукою, яка має вивчає енергію та різні принципи і закони, що описують збереження енергії при її перетворенні з однієї форми в іншу, а також різні задіяні в цьому системи у рівноважному стані, є термодинаміка. Тут підсумовані основні принципи термодинамікою з особливою увагою до тих сфер, які особливо важливі для оптимізації використання енергії та енергоефективності у промисловості. Детальні пояснення можна знайти в університетських підручниках (див. «Список використаної літератури» у розділі 7.1.4.1).

7.1.1 Загальні принципи

7.1.1.1 Визначення характеристик систем та процесів

(Примітка: у випадках, коли позначення або формули мають розмірність, вона вказана в одиницях SI).

Термодинамічна система – це кількість речовини в межах заданої границі, яка розглядається; все, що знаходиться за межами цієї системи, називається навколишнім середовищем. Системи можуть вважатися закритими або відкритими. Система може вважатися закритою, якщо вона не обмінюється речовиною з навколишнім середовищем. Якщо обмін присутній, система вважається відкритою.

Дуже важливим класом систем, з якими часто стикаються інженери, є системи зі стаціонарним потоком. Систему зі стаціонарним потоком можна визначити як систему будь-якої фіксованої області простору, через яку рухається текуче середовище, і властивості цього текучого середовища – всередині системи або на її границях – не змінюються з часом. Типовими прикладами таких систем є повітряні компресори, газові турбіни, парові турбіни, котли, насоси, теплообмінники, тощо. Спільною рисою всіх цих пристроїв є наявність кількох потоків текучого середовища, які входять у пристрій та виходять із нього. Пристрої з такими характеристиками також відомі як стаціонарні системи або системи зі стаціонарним потоком, контрольні об’єми зі стаціонарним потоком або системи з рухомим середовищем.

Будь-яка характеристика системи називається властивістю. Одні з найвідоміших прикладів властивостей – температура, об’єм, тиск і маса. Властивості вважаються інтенсивними, якщо вони не залежать від розміру системи (температура, тиск, густина), або екстенсивними, якщо їх значення залежать від розміру або величини системи (маса, об’єм, повна енергія). Якщо екстенсивну властивість розділити на загальну масу системи, результуюча властивість буде називатися питомою властивістю. Стан системи – це умови в системі, описані її властивостями. Рівняння стану – це будь-яке рівняння, що пов’язує між собою властивості речовини.

Система у рівноважному стані не зазнає жодних змін, коли вона ізольована від навколишнього середовища. Будь-яка зміна, якої може зазнавати система, називається процесом. Система називається стаціонарною, якщо жодна з її властивостей не змінюється з часом. Якщо система у кінці процесу повертається у свої початкові умови або стан, це

означає, що система пройшла цикл. Зворотні процеси – це ті процеси, у яких всі причетні об'єкти (системи та навколишнє середовище) можна повернути в їх початковий стан після того, як процес виконався. Після незворотного процесу це неможливо. Процес, у якому присутнє тертя або неврівноважений потенціал, не може бути зворотним. Хоча всі реальні процеси незворотні, зворотні процеси досить корисно вивчати, щоб зрозуміти межі поведінки систем та процесів.

7.1.1.2 Форми зберігання та переносу енергії

7.1.1.2.1 Зберігання енергії

Енергія може зберігатися у багатьох формах. Найбільш важливими формами, які зустрічаються в термодинамічних задачах, є внутрішня, кінетична та потенційна енергія. Інші форми енергії, як-от магнітні, електричні ефекти та ефекти поверхневого натягу, бувають суттєвими лише у деяких спеціалізованих випадках і розглядатися тут не будуть. Енергія вимірюється у джоулях (Дж) або в інших одиницях, як-от кіловат-години (кВт·год.).

Внутрішня енергія (U) пов'язана з мікроскопічними формами енергії, тобто з рухом, положенням і внутрішнім станом атомів або молекул речовини.

Енергія, пов'язана з рухом системи у цілому відносно певної системи відліку, називається кінетичною енергією K. Кінетична енергія описується виразом:

$$K = \frac{mC^2}{2} \text{ (J)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.1}$$

де: C = швидкість системи відносно певної системи відліку
m = маса тіла, яке рухається.

Зміна гравітаційної потенційної енергії, P, пов'язана з положенням системи у цілому (висотою) у гравітаційному полі Землі і може бути описана виразом:

$$P = mgz \text{ (J)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.2}$$

де: g = прискорення сили тяжіння, і
z = висота центру ваги системи відносно певної довільним чином вибраної площини відліку.

Енергія системи, яка складається з кінетичної, потенційної та внутрішньої енергій, описується виразом:

$$U_{K,P} = U + K + P = U + \frac{mC^2}{2} + mgz \text{ (J)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.3}$$

7.1.1.2.2 Перенос енергії

Розглянуті вище форми енергії, які разом складають повну енергію системи, – це статичні форми енергії, які можуть зберігатися в системі. Проте енергію також можна перетворювати з однієї форми в іншу і передавати між системами. У випадку закритих систем енергію можна передавати шляхом виконання роботи і теплопередачі. Теплота і робота – це не властивості, оскільки вони не є просто кінцевими станами, а залежать від характеристик процесу. Швидкість переносу енергії виражається у ватах (1 ват = 1 джоуль/1 секунду).

Теплота
Теплоту (Q) можна визначити як енергію, що переходить від однієї маси до іншої через різницю температур між цими двома масами. Вона характеризує кількість енергії, передану закритій системі під час процесу, що здійснюється за рахунок явища, відмінного від роботи. Енергія передається лише в напрямку меншої температури.

Теплота може передаватися у три різні способи: за рахунок теплопровідності, конвекції та випромінювання. Теплопровідність – це передавання енергії від часток речовини, які мають більшу енергію, до сусідніх часток, які мають меншу енергію, за рахунок взаємодій між частками. Теплопровідність можлива у твердих речовинах, рідинах та газах. Конвекція – це передавання енергії між твердою поверхнею з певною температурою та газом або рідиною, що рухається повз поверхню, з іншою температурою. Теплове випромінювання виділяється речовиною внаслідок змін у конфігураціях електронних оболонок атомів або молекул у речовині. Енергія переноситься електромагнітними хвилями і здатна поширюватися без проміжного середовища – навіть у вакуумі.

Робота
Термодинамічне визначення роботи (W) таке: система виконує роботу над навколишнім середовищем, якщо єдиним її впливом на все, що знаходиться за межами системи, могло б бути піднімання ваги. Як і теплота, робота – це також енергія, що передається. Швидкість переносу енергії у вигляді роботи називається потужністю і в системі SI позначається літерою W.

7.1.2 Перший і другий закони термодинаміки

Два фундаментальні та універсальні закони термодинаміки такі: (1) енергія зберігається, і (2) неможливо спричинити жодну зміну або ряд змін, єдиним кінцевим результатом стане перенос енергії у вигляді теплоти від низької до високої температури. Іншими словами, теплота сама по собі не перетікає від низьких до високих температур.

Процес може відбутися лише за умови, що він задовольняє як першому, так і другому законам термодинаміки.

7.1.2.1 Перший закон термодинаміки: енергетичний баланс

Перший закон термодинаміки є загальним принципом фізики і постановляє, що енергія зберігається. Хоча цей закон зустрічається в різних формулюваннях, усі вони, по суті, означають одне й те ж. Ось приклади типових формулювань:

- при перетворенні енергії з однієї форми в іншу енергія завжди зберігається;
- енергію не можна ні створити, ні знищити;
- повна сума всіх енергій для даної системи залишається сталою;
- чиста енергія у вигляді теплоти, внесеної в систему або відібраної від системи, яка працює циклічно, дорівнює чистій енергії у вигляді роботи, що виконується системою або над системою;
- величина корисної роботи, виконаної замкненою системою або над замкненою системою, у якій протікає адіабатний процес між певними двома станами, залежить виключно від кінцевих станів, а не від характеристик адіабатного процесу.

7.1.2.1.1 Баланс енергії для закритої системи

У випадку закритої системи з першого закону випливає, що зміна енергії системи дорівнює чистому переносу енергії в систему за рахунок теплоти та роботи. Тобто:

$$U_2 - U_1 = Q - W \text{ (J)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.4}$$

У Рівнянні 7.4 використовується загальноприйнята система знаків: теплота вважається додатною, якщо вона вноситься в систему, а робота вважається додатною, якщо вона виконується системою.

7.1.2.1.2 Баланс енергії для відкритих систем

Більшість задач інженерної термодинаміки розглядаються в контрольному об'ємі. У таких випадках діє принцип збереження маси. Похідна за часом від маси, накопиченої в межах контрольного об'єму, дорівнює різниці між сумарними значеннями масових потоків, що входять і виходять через границю.

$$\frac{dm}{dt} = \sum_1 m_1 - \sum_2 m_2 \text{ (кг/с)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.5}$$

Баланс змін енергії для такої системи матиме вигляд:

$$\frac{dU}{dt} = Q - W + m_1\left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1\right) - m_2\left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2\right) \text{ (в одиницях SI} - \text{Вт)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.6}$$

У Рівнянні 7.6 h – це питома ентальпія потоків, що входять у систему і виходять з неї:

$$h = u + Pv \text{ (Дж/кг)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.7}$$

Для систем зі стаціонарним потоком масові потоки та швидкості переносу енергії у вигляді тепла та роботи не змінюються з часом.

$$\sum_1 m_1 = \sum_2 m_2 \text{ (кг/с)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.8}$$

Отже, перший закон термодинаміки для стаціонарного стану можна описати так:

$$Q - W = m_1\left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1\right) - m_2\left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2\right) \text{ (Вт)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.9}$$

7.1.2.1.3 ККД за першим законом термодинаміки: термічний ККД та коефіцієнт продуктивності

ККД термічної системи загалом означає співвідношення між виробленою корисною енергію та кількістю спожитої енергії.

Термічний ККД теплового двигуна – це частка підведеної теплоти, яка перетворюється на корисну роботу:

$$\eta = \frac{W_{\text{корисна,вих.}}}{Q_{\text{вх.}}} \quad \text{(безрозмірна величина)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.10}$$

Іншими показниками ефективності є коефіцієнти продуктивності (COP), у тому числі будь-якого холодильного циклу (COP_X) та циклу теплового насоса ($COP_{ТН}$), які описуються так:

$$COP_{\text{Х}} = \frac{Q_{\text{Х}}}{Q_{\text{Г}} - Q_{\text{Х}}} \quad \text{(безрозмірна величина)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.11}$$

$$COP_{\text{ТН}} = \frac{Q_{\text{Г}}}{Q_{\text{Г}} - Q_{\text{Х}}} \quad \text{(безрозмірна величина)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.12}$$

На відміну від термічного ККД, значення коефіцієнта продуктивності може бути більшим, ніж одиниця. Це означає, що, наприклад, кількість теплоти, відібраної від простору, який охолоджується, може бути більшою, ніж кількість підведеної роботи.

7.1.2.2 Другий закон термодинаміки: ентропія

Другий закон термодинаміки дає нам змогу дізнатися, які типи перетворень можливі або неможливі, і в якому напрямку вони протікають. Як і перший закон, другий закон можна постулювати у найрізноманітніші способи, два з яких наведені нижче:

- неможливо побудувати тепловий двигун, який не буде чинити жодної дії, крім теплообміну з єдиним джерелом, яке початково перебувало в рівноважному стані, та виконання роботи. Теплові двигуни завжди повинні віддавати тепло вмістищу теплову енергію;
- жоден пристрій циклічної дії не може здійснювати перенос тепла від вмістищ теплової енергії з низькою температурою до вмістищ із високою температурою без жодних інших наслідків.

Щоб виразити другий закон термодинаміки у загальній і придатній для використання формі, потрібно впровадити поняття ентропії.

7.1.2.2.1 Ентропія

Коли два стабільні стани системи сполучаються різними процесами, які всередині є незворотними, виявляється, що інтеграл перенесеної теплоти, приведеної до температури, не залежить від шляху протікання процесу. Це означає, що існує функція, яка залежить лише від властивостей стану системи: ця функція називається ентропією. Зміна ентропії визначається так:

$$\underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Зміна ентропії}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)}_{\text{Перенос ентропії, зворотний процес}} \quad \text{(Дж/К)} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.13}$$

Ентропія – це абстрактна властивість; її можна вважати мірою невпорядкованості. Користуючись ентропією, можна впровадити ще кілька формулювань другого закону термодинаміки:

- сумарна ентропія двигуна та всіх складових навколишнього середовища, які взаємодіють з двигуном, повинна збільшуватися, якщо процес теплового двигуна не повністю зворотний;
- протікати можуть лише ті процеси, у яких ентропія ізольованої системи збільшується (це положення відоме як принцип зростання ентропії).

7.1.2.2.2 Баланс ентропії для закритих систем

Оскільки практично кожен реальний процес має незворотний характер, ентропія – це не консервативна властивість. Баланс ентропії для закритої системи описується таким виразом:

$$\Delta S = \underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Зміна ентропії}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)}_{\text{Перенос ентропії}} + \underbrace{\sigma}_{\text{Приріст ентропії}} \quad (\text{Дж/К}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.14}$$

Перший член з правого боку Рівняння 7.14 описує теплопередачу до системи або від системи у ході процесу, і його можна сприймати як перенос ентропії, яким супроводжується теплопередача. Додатне значення означає, що ентропія вноситься в систему, а від'ємне значення означає, що ентропія виноситься з системи. Цей член називається приростом ентропії і відображає незворотності, що з'являються у процесі. Приріст ентропії буде додатним щоразу, коли у процесі з'являється незворотність, і буде нульовим в ідеальному випадку, коли незворотності відсутні.

$$\underbrace{\frac{dS_{cv}}{dt}}_{\text{Швидкість зміни ентропії}} = \underbrace{\sum_j \frac{Q_j}{T_j}}_{\text{Швидкість переносу ентропії з теплотою}} + \underbrace{\sum_i m_i s_i - \sum_e m_e s_e}_{\text{Швидкість переносу ентропії з масою}} + \underbrace{\sigma}_{\text{Швидкість приросту ентропії}} \quad (\text{Вт/К}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.15}$$

З цього моменту величину незворотностей у вигляді приросту ентропії можна виміряти за допомогою простого балансу ентропії. Незворотності є ключем до розуміння процесу погіршення якості енергії і так званих заощаджень енергії та технологій енергозбереження. Оскільки енергія не знищується, а лише деградує, головне завдання будь-якого енергоаналітика полягає в тому, щоб точно вказати на незворотності у процесах і запропонувати рішення для їх усунення.

7.1.2.3 Баланс ентропії для відкритої системи

Похідна від ентропії в межах контрольного об'єму під час процесу дорівнює сумі швидкості переносу ентропії через границю контрольного об'єму за рахунок теплопередачі, чистої швидкості переносу ентропії у контрольний об'єм масовим потоком та швидкості приросту ентропії в межах границь контрольного об'єму внаслідок незворотностей:

Члени $m_i s_i$ та $m_e s_e$ – це швидкості переносу ентропії в систему та з системи, якими супроводжується масовий потік. Q_j – це похідна за часом від величини теплопередачі в точці на границі, де миттєва температура – T_j. Відношення Q_j/T_j відображає швидкість супутнього переносу ентропії. Член □ означає похідну за часом від приросту ентропії внаслідок появи незворотностей у контрольному об'ємі.

7.1.2.4 Аналіз ексергії

7.1.2.4.1 Ексергія

Ексергія термодинамічної системи – це максимальна теоретична корисна робота (робота на валу або електрична робота), яку можна отримати, якщо привести систему в повну термодинамічну рівновагу з термодинамічним середовищем, у той час як система взаємодіє лише з цим середовищем. Коли система перебуває в термодинамічній рівновазі з навколишнім середовищем, кажуть, що вона перебуває в мертвій точці. У мертвій точці система має температуру і тиск навколишнього середовища; вона не має кінетичної або потенційної енергії і не взаємодіє з навколишнім середовищем. Ексергія – це міра відхилення стану системи від навколишнього середовища. Після того, як навколишнє середовище було задане, ексергії можна приписати значення, виражене через значення властивостей, які характеризують лише систему, і тоді ексергію можна вважати властивістю системи. Значення ексергії, описане Рівнянням 7.16, не може бути від'ємним і не зберігається, а знищується внаслідок появи незворотностей. Питома ексергія, приведена до одиниці маси, має вигляд:

$$e = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{C^2}{2} + gz \ \ (\text{Дж/кг}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.16}$$

Нижній індекс 0 означає мертву точку.

Якщо границі контрольного об'єму перетинає потік маси, потоки маси та роботи супроводжуються переносом ексергії. Це називається питомою ексергією потоку або фізичною ексергією потоку речовини і описується рівнянням:

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{C^2}{2} + gz \ \ (\text{Дж/кг}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.17}$$

7.1.2.4.2 Баланси ексергії

Баланс ексергії для закритої системи отримують шляхом об'єднання балансів енергії та ентропії. Зміна ексергії у закритій системі дорівнює сумі переносу ексергії, яким супроводжується перенос теплоти та переносу ексергії, яким супроводжується робота за вирахуванням знищення ексергії. Остаточне рівняння виглядає так:

$$\Delta E = \underbrace{E_2 - E_1}_{\text{Зміна ексергії}} = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right)\delta Q}_{\text{Перенос ексергії з теплотою}} - \underbrace{[W - P_0(V_2 - V_1]}_{\text{Перенос ексергії з роботою}} - \underbrace{T_0\sigma}_{\text{Знищення ексергії}} \quad (\text{Дж}) \ \text{Рівняння } \mathbf{7.18}$$

T_0 та P_0 означають тиск і температуру за умов навколишнього середовища. T_j – температура поверхні, на якій відбувається теплопередача. Швидкість зміни ексергії у відкритих системах описується рівнянням:

$$\underbrace{\frac{dE_{cv}}{dt}}_{\text{Швидкість зміни ексергії}} = \underbrace{\sum_j \left(1-\frac{T_0}{T_j}\right)Q_j - \left(W_{cv} - P_0\frac{dVcv}{dt}\right) + \sum_i m_i e_i - \sum_e m_e e_e}_{\text{Швидкість переносу ексергії}} - \underbrace{I}_{\text{Швидкість знищення ексергії}} \quad (\text{Вт}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.19}$$

7.1.2.4.3 ККД за другим законом термодинаміки: ексергетичний ККД

Термічний ККД та коефіцієнт продуктивності базуються лише на першому законі термодинаміки і не враховують найкращу можливу роботу. Проте ексергетичний ККД, або ККД за другим законом термодинаміки, заповнює цю прогалину і слугує мірою наближення до зворотної роботи. Ексергетичні ККД корисні, коли потрібно відрізнити термодинамічно ефективні засоби використання енергоресурсів від неефективних. За їх допомогою можна оцінити дієвість інженерно-технічних заходів, вжитих для покращення роботи термічної системи. Ексергетичний ККД в універсальній формі визначається як відношення засвоєної ексергії до постаченої ексергії:

$$\varepsilon = \frac{\mathrm{E}_{\text{засвоєна}}}{\mathrm{E}_{\text{постачена}}} \quad (\text{безрозмірна величина}) \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.20}$$

Ексергетичні ККД можуть виражатися у багатьох різних формах залежно від системи, яка аналізується. Для теплового двигуна постачена ексергія – це зменшення ексергії теплоти, переданої двигуну, тобто різниця між ексергією постаченої теплоти та ексергією відданої теплоти. Корисна робота – це засвоєна ексергія. Для холодильника або теплового насоса постачена ексергія – це підведена робота, а засвоєна ексергія – це ексергія теплоти, переданої високотемпературному середовищу у випадку теплового насоса, або ексергія теплоти, відібраної від низькотемпературного середовища, у випадку холодильника.

7.1.3 Термодинамічні діаграми, таблиці, банки даних та комп’ютерні програми

7.1.3.1 Термодинамічні діаграми

Згідно з постулатом стану, якщо для простої чистої речовини задано будь-які дві змінні стану, за ними можна визначити третю. Звідси випливає, що стан цієї речовини можна відобразити на діаграмі двох незалежних властивостей. На термодинамічних діаграмах зазвичай відображаються такі п’ять основних властивостей: тиск (P), температура (T), питомий об’єм (v), питома ентальпія (h), питома ентропія (s), а також ступінь сухості (x), якщо розглядається суміш двох фаз. Найчастіше зустрічаються такі термодинамічні діаграми: «тиск – температура» (P-T), «тиск – питомий об’єм» (P-v), «температура – питомий об’єм» (T-v), «температура – (питома) ентропія» (T-s) та «(питома) ентальпія – (питома) ентропія» (h-s). Ці діаграми дуже зручні для побудови графіків. Крім того, перші три діаграмі зручні для пояснення залежностей між трьома фазами речовини.

Наприклад, на Рисунку 7.1 зображена діаграма T-s. Діаграми T-s широко застосовуються у термодинаміці, оскільки за їх допомогою дуже зручно візуалізувати незворотності процесів. На діаграмах T-s зображаються лінії сталого об’єму, сталого тиску та сталої ентальпії. Вертикальним лініям на діаграмах T-s відповідають процеси ізоентропійного (з однаковою ентальпією) стиснення / розширення, а горизонтальні лінії всередині куполоподібної кривої – це ізотермічні зміни фази (випаровування / конденсація).

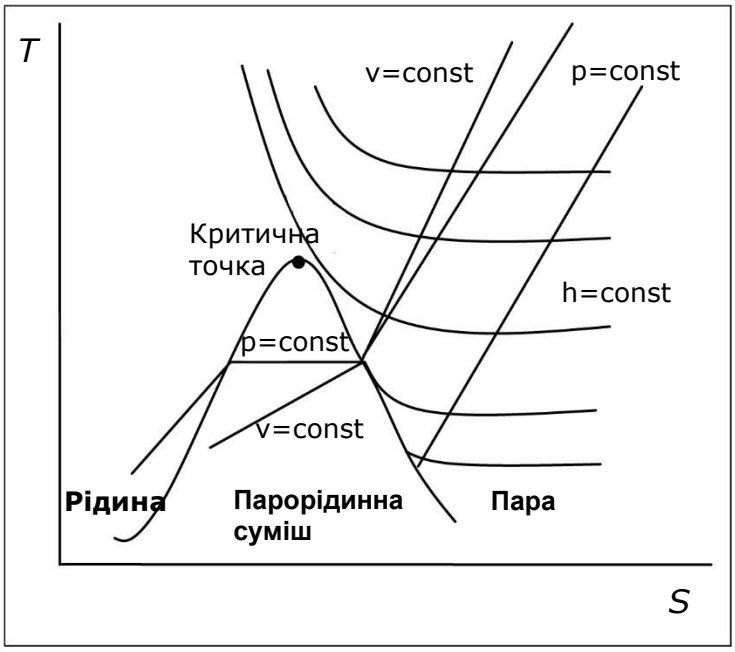


Рисунок 7.1. Діаграма «температура – ентропія»

7.1.3.2 Таблиці властивостей, банки даних та комп'ютерні програми

У реальній практиці таблиць недостатньо, і необхідно знати термодинамічні властивості багатьох речовин – як чистих речовин, так і сумішей. По суті, в основі будь-якої комп'ютерної програми для енергетичного моделювання лежать складні банки термодинамічних даних та відповідні моделі фізичних властивостей. Потреба в них настільки важлива, що неточність або відсутність даних може призвести до відмови від привабливих енергозберігальних рішень. На щастя, в літературі та на ринку є чимало баз даних і комп'ютерних програм. Складність у тому, щоб винести судження, спираючись на надійні критерії, навіть якщо було виявлено суперечливі дані. Якісна, точна та актуальна інформація у багатьох випадках має критичне значення. Це головна проблема у розрахунку властивостей сумішей, які нерідко відхиляються від ідеальної поведінки. Деякі великі компіляції даних доступні в Американському нафтовому інституті (API) (США); Байльштайнському інституті органічної хімії, Байльштайнському проєктному інституті даних про фізичні властивості, Проєктному інституті фізичних властивостей (DIPPR) Американського інституту інженерів-хіміків (AIChE); Німецькому товаристві хімічних апаратів, хімічних технологій та біотехнологій (Deutsche Gesellschaft fur Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V. – DECHEMA); Службі даних про фізичні властивості (PPDS) у Великій Британії та інших організаціях. Наприклад, у Проєктного інституту фізичних властивостей (DIPPR) є вичерпна компіляція даних про чисті компоненти, а Німецьке товариство хімічних апаратів, хімічних технологій та біотехнологій (DECHEMA) є головним джерелом даних про суміші. Можна з легкістю знайти комерційні програми для моделювання з потужними можливостями розрахунку термодинамічних властивостей. Три з найбільш широковживаних програм зареєстровані під торговими марками: ASPEN PLUS, HYSIM та PRO/II. Проте ці пакети комп'ютерних програм можуть вміти більше, ніж потрібно аналітику, який виконує типові розрахунки для визначення заощаджень енергії, або, навпаки, можуть бути розраховані на менш спеціалізовану роботу. Ці програми витратні як з точки зору зусиль, яких потребує робота в них, так і з точки зору придбання та супроводу. До проміжних рішень, за допомогою яких аналітик може побудувати власні інструменти для моделювання і додати в них властивості чистих речовин, належать, наприклад, EES, Thermoptim та BBlocks. Тому важливо, щоб аналітик присвятив достатньо часу вибору інструмента, який варто придбати. Починати з нуля у більшості випадків небажано.

7.1.3.3 Виявлення проявів неефективності

Ці питання розглядаються у розділі 1.2.2.6.

7.1.4 Умовні позначення

Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
C	Швидкість	м/с
E	Ексергія	Дж
$\dot{E}$	Швидкість зміни ексергії	Дж/с
e	Ексергія на одиницю маси	Дж/кг
$E_т$	Повна енергія	Дж
g	Прискорення сили тяжіння	м/с^2
H	Ентальпія	Дж
h	Питома ентальпія	Дж/кг
I	Незворотність	Дж
$\dot{I}$	Швидкість зміни незворотності	Дж/с
K	Кінетична енергія	Дж
m	Маса	кг
$\dot{m}$	Швидкість зміни маси	кг/с
P, p	Тиск	Па
P	Потенційна енергія	Дж
Q	Теплота	Дж
$\dot{Q}$	Швидкість зміни теплоти	Дж/с
S	Ентропія	Дж/К
s	Питома ентропія	Дж/(кг·К)
t	Час	с
T	Температура	К
U	Внутрішня енергія, енергія	Дж
u	Внутрішня енергія на одиницю маси	Дж/кг
V	Об’єм	м^3
v	Питомий об’єм	м^3/кг
W	Робота	Дж
$\dot{W}$	Швидкість зміни роботи	Дж
z	Висота, положення	м
Грецькі літери		
η	Термічний ККД	-
ε	Ексергетичний ККД	-
σ	Приріст ентропії	Дж/К
$\dot{\sigma}$	Швидкість приросту ентропії	Дж/(кг·К)
Нижні індекси		
0	Умови навколишнього середовища	
сер.	Середнє значення властивості, яка розглядається	
К	Компресор	
к.о.	Контрольний об’єм	

7.1.4.1 Список використаної літератури

- Андерсон, Е.Е. (Anderson, E.E.), «Термодинаміка» (Thermodynamics). International Thomson Publishing. 1994
- Аваллон, Е.А. (Avallone, E.A.), «Стандартний посібник Маркса для інженерів-механіків» (Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers). 9-те видання. McGraw Hill. 1978

- Беян А. (Bejan, A.), Цацароніс, Д. (Tsatsaronis, G.) та Моран, М. (Moran, M.), «Тепловий розрахунок та оптимізація» (Thermal Design and Optimization). Wiley Interscience. 1996
- Кенгел, Ю.А. (Qengel, Y. A.) та Боулз, М.А. (Boles, M. A.), «Термодинаміка: інженерний підхід» (Thermodynamics: an engineering approach). Міжнародне
- видання. Mc Graw Hill. 1994
- Даннер Р.П. (Danner R.P.), Спенсер К.Ф. (Spencer C.F.), Нагвекар М. (Nagvekar M.), «Теплофізичні властивості для розрахункового моделювання у проєктуванні термічних систем» (Thermophysical Properties for Design Simulations in Developments in the Design of Thermal Systems), під редакцією Р.Ф. Боема (R.F. Boehm), Cambridge Univ. Press, 1997
- Герінг, Е. (Hering, E.) та Модлер, К. (Modler, K.), «Основи для інженера» (Grundwissen des Ingenieurs). Мюнхен: Carl Hanser Verlag, копія, 2002
- Лосано, М.А. (Lozano, M.A.) та Валеро, А. (Valero, A.), «Визначення ексергії для речовин промислового значення. Хімічна інженерія» (Determinacion de la exergia para sustancias de interes industrial. Ingenieria qrnmica). Березень 1986 року.
- Моран, М.Д. (Moran, M.J.) та Шапіро, Г.Н. (Shapiro, H.N.), «Основи інженерної термодинаміки» (Fundamentals of Engineering Thermodynamics). 4-те видання. John Wiley & Sons. 2000
- Моран, М.Д., Шапіро, Г.Н., Мансон (Munson) та Девітт (Dewitt). «Введення в інженерне проєктування термічних систем» (Introduction to thermal systems engineering). John Wiley & Sons. 2003
- Мур, В.Д. (Moore, W.J.), «Фізична хімія» (Physical Chemistry), 1974
- Перрі, Р.Г. (Perry, R.H.) та Грін, Д. (Green, D.), «Посібник Перрі для інженерів-хіміків» (Perry's chemical engineers' handbook). Mc Graw Hill. 1984
- «Посібник CRC з теплотехніки» (The CRC Handbook of thermal engineering). Головний редактор Крейт Ф. (Kreith F.). CRC Press Springer. 2000
- Валеро, А. та Лосано, М.А., «Баланси енергії, ентропії, ексергії та вільної енергії. Методи діагностики промислових об'єктів. Інженерна хімія» (Los balances de energia, entropia, exergia y energia libre). Metodos para el diagnostico de instalaciones industriales. Ingenieria qrnmica). Травень 1987 року
- Валеро, А. та Лосано, М.А., «Введення у термоекономіку для проєктування термічних систем» (An Introduction of Thermoeconomics in Developments in the Design of Thermal Systems), під редакцією Р.Ф. Боема, Cambridge Univ. Press, 1997
- Валеро-Капілья А. (Valero-Capilla, A.) та Валеро-Дельгадо А. (Valero-Delgado A.), «Основи енергетичної термодинаміки» (Fundamentals of energy thermodynamics), 2005.
- Ворк, К. (Wark, K.), «Термодинаміка» (Thermodynamics). Mc Graw Hill. 1983

7.2 Ситуаційні дослідження термодинамічних незворотностей

7.2.1 Випадок 1. Дросельні пристрої

Дросельні пристрої дуже поширені у промисловості і використовуються для регулювання та зниження тиску – головним чином за допомогою клапанів. Оскільки процес дроселювання ізоентальпійний (тобто це процес, у якому висхідні та низхідні потоки ентальпії однакові), енергія в ньому не втрачається, і, згідно з першим законом термодинаміки, його ефективність оптимальна.

Проте це типова механічна незворотність, яка призводить до зниження тиску і збільшення ентропії текучого середовища, не даючи жодних додаткових вигод. Як наслідок, ексергія втрачається, і текуче середовище стає менш здатним виробляти енергію, наприклад, у процесі розширення в турбіні.

Тому, якщо мета в тому, щоб знизити тиск текучого середовища, бажано намагатися використовувати ізоентальпійне розширення, додатково виконуючи корисну роботу у турбінах. Якщо це неможливо, робочий тиск завжди повинен бути якомога нижчим: це позбавить необхідності використовувати компресори чи насоси для транспортування текучого середовища (тобто витрачати додаткову корисну енергію).

На промислових установках дуже часто підтримують проєктний тиск на вході турбіни. Це зазвичай передбачає використання впускних клапанів і зловживання ними для керування турбіною. Згідно з другим законом термодинаміки, краще мати плаваючі характеристики тиску (ковзний тиск), і при цьому тримати впускні клапани повністю відкритими.

Загалом рекомендується підбирати клапани якомога більшого розміру. Прийнятний процес дроселювання можна отримати, якщо падіння тиску за максимальної витрати буде становити 5 – 10 %, а не 25 – 50 %, як було в минулому, коли використовувалися клапани малого розміру. Звісно, розмір насоса, який рухає текуче середовище, також потрібно підібрати з урахуванням змінних умов.

Нарешті, необхідно наголосити, що труби також діють як дросельні пристрої, знижуючи тиск текучого середовище, яке по них рухається. Таким чином, продумане проєктне рішення з використанням хороших матеріалів і з мінімумом перешкод, як-от зайві клапани, коліна, вигини, тощо, зменшить втрати ексергії у процесі.

Звісно, в будь-якому випадку необхідно здійснювати облік ексергії з урахуванням усіх рівнів енергії, які існують на установці, оскільки через призму першого закону термодинаміки незворотності дуже важко або неможливо виявити.

Числовий приклад
Під час введення агрегату в експлуатацію на електростанції турбонасос живиться за рахунок відбору пари з турбіни високого тиску (P = 40 кг/см^2, T = 350 °C).

Оскільки турбонасос працює з тиском всмоктування 8 кг/см^2, пару, яка надходить від турбіни високого тиску, необхідно дроселювати (див. Рисунок 7.2). У викладеному нижче термодинамічному прикладі змінні, які характеризують пару, оцінюються на вході та виході клапана. Процес будується на діаграмах T-s та h-s (див. Рисунок 7.3), і потік ексергії визначається для номінальної витрати 45 000 кг/год.

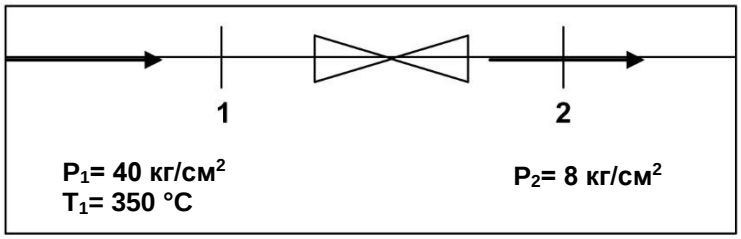


Рисунок 7.2. Процес дроселювання пари

Розв'язок

З першого закону термодинаміки випливає, що процес ізоентальпійний, оскільки процес дроселювання не супроводжується виконанням роботи або теплопередачею:

$$O = m_1(H_2 - H_1) \geq \; H_2 = H_1$$

З таблиць властивостей отримуємо такі значення питомої ентальпії та ексергії:

- за P_1 та T_1:
  - h_1 = 3091,95 кДж/кг та S_1 = 6,58 кДж/(кг·К)
- за P_2 та h2 = h1
  - T_2 = 319 °C
  - S_2 = 7,30 кДж/(кг·К)

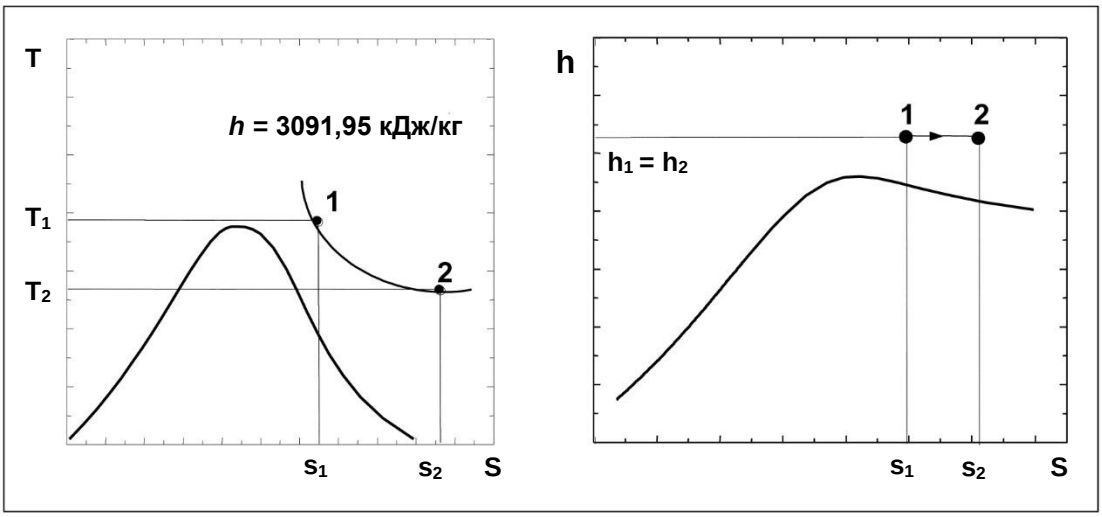


Рисунок 7.3. Діаграми T-S та h-S для процесу дроселювання пари у прикладі

Питома ексергія потоку розраховується за формулою:

$$\mathrm{e} = \mathrm{H} - \mathrm{T}_0\mathrm{s} \quad \textbf{Equation 7.22}$$

де T_0 = 273 K, а потенційною та кінетичною енергією можна знехтувати. Отже:

- e_1 = 3091,95 - 273 x 6,58 = 1295,61 кДж/кг

та

- e_2 = 3091,95 - 273 x 7,30 = 1099,05 кДж/кг

Цей процес повністю незворотний (механічна незворотність). Втрата ексергії визначається з балансу ексергії системи. Оскільки теплопередача відсутня, і робота не виконується, баланс ексергії зводиться до виразу:

$$I = m(e_1 - e_2) = \frac{45000\ \text{кг}}{\text{год.}} \times \frac{\frac{1}{3600}\ \text{с}}{\text{год.}} \times (1295{,}61 - 1099{,}05) = 2457\ \text{кВт} = 2{,}457\ \text{МВт}$$

7.2.2 Випадок 2. Теплообмінники

Теплообмінники – це пристрої, у яких два потоки обмінюються теплотою. Кожен перенос тепла зумовлений різницею температур, а отже, завжди супроводжується приростом ентропії і знищенням ексергії. Таким чином, мінімальна втрата ексергії несумісна з максимальною ефективністю теплопередачі.

У протитечійному теплообміннику, приклад якого зображено на Рисунку 7.4, гаряче текуче середовище з температурою $T_{1,вх.}$ охолоджується до $T_{1,вих.}$, віддаючи теплоту холодному текучому середовищу, яке нагрівається від $T_{2,вх.}$ до $T_{2,вих.}$, тож втрата ексергії у цьому процесі розраховується так:

Зміною кінетичної та потенційної енергії зазвичай можна знехтувати, і взаємодії, які б супроводжувалися виконанням роботи, відсутні. У першому наближенні падінням тиску також можна знехтувати. Незворотність, яка створюється у теплообміннику, описується рівнянням:

Користуючись наведеним вище рівнянням, можна показати, що величина I завжди додатна і збільшується зі зростанням різниць температур на вході та виході текучих середовищ у протитечійний теплообмінник та між верхом і низом у прямоточному теплообміннику. У будь-якому випадку, з точки зору ексергії протитечійний теплообмінник завжди кращий, ніж прямоточний теплообмінник (теплообмінник з паралельними течіями), оскільки ексергія в ньому завжди віддається системі за однакової температури.

Незворотності, які виникають у теплообмінниках, зумовлені двома чинниками: теплопередача внаслідок різниці температур і втрата тиску внаслідок циркуляції текучого середовища. Як тертя текучого середовища, так і незворотну теплопередачу можна зменшити шляхом зменшення витрати текучого середовища. Проте для отримання також ж ефекту від теплообміну потрібна більша площа теплопередачі, тобто потрібно спроєктувати більші теплообмінники.

Ідея поширення протитечійного теплообміну на всю установку – тобто його поширення на всі потоки в установці, які потрібно нагрівати або охолоджувати, щоб зміна температури, за якої повинна перетікати теплота, була у розумних межах низькою – переростає в енергетичну інтеграцію технологічних процесів та використання енергетичних каскадів. Це філософія пінч-аналізу, розроблена для інтеграції мереж теплообмінників. Цю інтеграцію також можна максимально ефективно поширити на цикли енергетичних установок, теплові насоси та холодильні цикли. У підсумку ця процедура гарантує мінімальне споживання пари (або будь-якого іншого джерела теплоти) та мінімальне споживання охолоджувальної води (або будь-якого іншого джерела холоду) за термодинамічних і технічних умов, які можна оцінити.

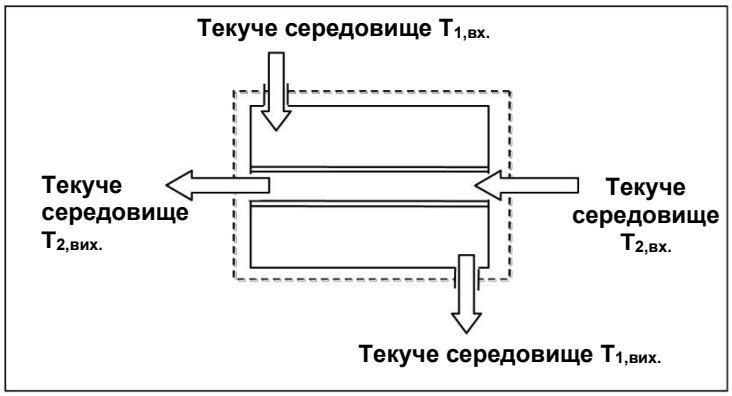


Рисунок 7.4. Протитечійний теплообмінник

Числовий приклад

У перегрівачі котла (див. Рисунок 7.5) пара з витратою 1 100 000 кг/год. нагрівається від 350 до 540 °C за тиску 40 кг/см^2. Тепло, яке поглинається парою, відбирається від вихлопних газів, що утворюються у процесі згорання. Середня температура, за якої відбувається теплопередача, – 1000 °C. На Рисунку 7.6 цей процес побудовано на діаграмах T-s та h-s, і визначено тепло, яке поглинається парою, та втрати ексергії.

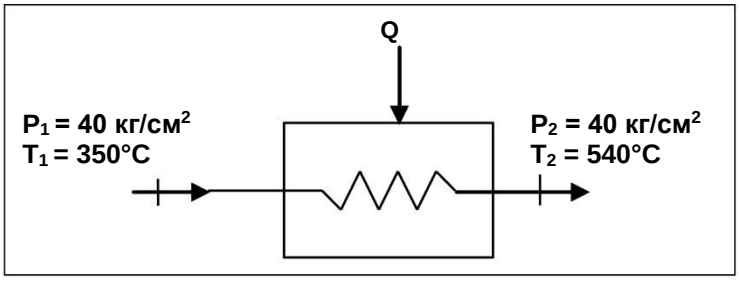


Рисунок 7.5. Процес перегрівання потоку пари

Розв'язок

Баланс енергії у системі, яка розглядається на Рисунку 7.5, має вигляд:

- $m (h_2 - h_1) = Q$

З таблиць властивостей отримуємо такі значення питомої ентальпії та ексергії:

- за P_1 та T_1:
  - h_1 = 3091,95 кДж/кг та
  - s_1 = 6,58 кДж/(кг·К)
- за P_2 та T_2:
  - h_2 = 3530,85 кДж/кг та
  - s_2 = 7,21 кДж/(кг·К)

Отже, отримуємо такий перенос теплоти:

- $Q = 11\,100\,000 \times (3530{,}85 - 3091{,}95) = 438{,}9$ кДж/кг = $482{,}7 \times 10^6$ кДж/год.

Діаграми T-s та h-s зображені на Рисунку 7.6:

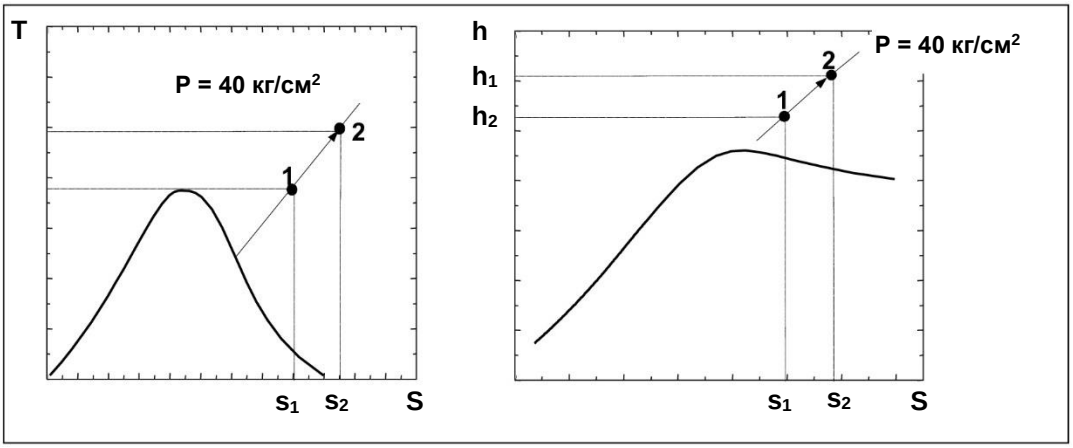


Рисунок 7.6. Діаграми T-s та h-s для процесу перегрівання пари у прикладі

Питома ексергія потоку розраховується за формулою:

$e = h - T_0 s$

де $T_0 = 273$ K, а потенційною та кінетичною енергією можна знехтувати. Отже:

$e_1 = 3091{,}95 - 273 \times 6{,}58 = 1295{,}61$ кДж/кг

та

$e_2 = 3530{,}85 - 273 \times 7{,}21 = 1562{,}52$ кДж/кг

Результуюча втрата ексергії описується рівнянням:

$$I = \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) Q - W + m_1(e_1 - e_2) \Rightarrow$$

$$I = \left(1 - \frac{273}{1273}\right) 482{,}7 \times 10^6 + 1{,}1 \times 10^6 (1295{,}61 - 1562{,}52) = 85{,}82 \times 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{год.}} = 23{,}84 \text{ МВт}$$

7.2.3 Випадок 3. Процеси змішування

Змішування рідин з різним складом або температури – це ще один дуже поширений процес у промисловості. Ця концепція охоплює процеси підмішування з метою регулювання температури, процеси змішування з метою контролю якості, процеси очищення речовин, дистиляції, тощо.

Розглянемо, наприклад, адіабатну суміш двох різних ідеальних газів, які течуть за однакової температури та тиску, а n_1 та n_2 – це кількість молів у кожному потоці. Приріст ентропії у процесі змішування дорівнює сумі приростів ентропії кожного газу внаслідок їх розширення від тиску P до їх нового парціального тиску в суміші. Отже:

$$\sigma = \frac{1}{n_1 + n_2}\left[n_1 R \ln\frac{P_1}{P} - n_2 R \ln\frac{P_2}{P}\right] = -R\sum x_i \ln x_i \ \text{(Дж/К)}$$

Оскільки $P_i = x_i P_i$ та $x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$, втрата ексергії розраховується так:

$$I = T_0\sigma = -RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad \text{(Дж)}$$

Цей вираз завжди додатний і симетричний відносно значення $x_i = 0{,}5$. Він прямує до нуля, коли x_i прямує до нуля (максимальна чистота). На Рисунку 7.7 зображена залежність величини I_i/RT_0 від молярної частки одного компонента суміші x_i. Максимальна ексергія досягається, коли $x_i = 0$, проте за цих умов два компоненти порівняно легко розділити. У міру того, як суміш очищується, втрата ексергії на моль відокремленого компонента збільшується.

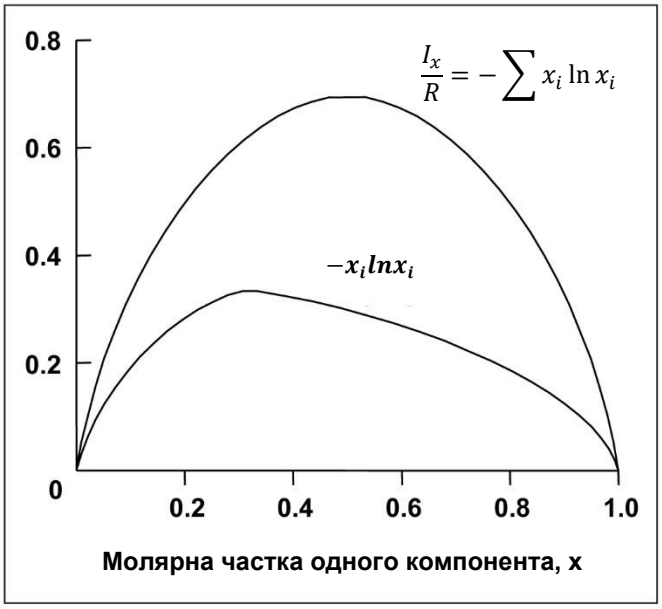


Рисунок 7.7. Залежність величини I_i/RT_0 від молярної частки одного компонента суміші

Для двокомпонентної системи, яка розглядається, незворотність дорівнює:

$$I = -RT_0[x \ln x + (1-x)\ln(1-x)] \text{ та } \frac{dI}{dx} = -RT_0 ln\left[\frac{x}{(1-x)}\right]$$

Деякі значення цієї похідної наведені у Таблиці 7.1:

x	I/RT_0	(I/RT_0) dI/dx
0,10	0,325	2,20
0,01	0,056	4,96
10^{-3}	$7{,}91 \times 10^{-3}$	6,91
10^{-4}	$1{,}02 \times 10^{-3}$	9,21

Таблиця 7.1. Деякі значення похідної

Ця похідна показує, яку роботу необхідно виконати, щоб підвищити чистоту продукту, і наскільки легко її забруднити. Інакше кажучи, значення ексергії продукту пов'язане з цією похідною. Багатокомпонентні суміші поводяться таким же чином. Максимальні значення функції $-\Sigma\, x_i \ln x_i$ для еквімолярних сумішей наведені у Таблиці 7.2:

N	$-\Sigma x_i \ln x_i$	N	$-\Sigma x_i \ln x_i$
2	0,693	5	1,609
3	1,099	7	1,946
4	1,386	10	2,302

Таблиця 7.2. Максимальні значення для сумішей

Зі збільшенням кількості компонентів у суміші прояви незворотності стають усе помітнішими. З огляду на ці міркування можна сформулювати ряд рекомендацій щодо заощадження енергії у процесах змішування. Насамперед, процесів змішування слід уникати завжди, коли це можливо. Для отримання високоякісної пари або дуже чистої речовини потрібна велика кількість ексергії, більшість якої втрачається при змішуванні з потоком меншої якості (навіть якщо втрата енергії нульова). По-друге, не слід перевищувати технічні умови на якість певного продукту, і – найголовніше – якщо вони все-таки були перевищені, такі потоки у жодному разі не слід змішувати з потоками нижчої якості.

Таким чином, якщо продукт зі ступенем чистоти 0,1 % еквімолярно змішати з іншим продуктом зі ступенем чистоти 1 %, результуючий продукт матиме ступінь чистоти 0,55 %, проте значення ексергії цього продукту суттєво зменшиться порівняно з окремими потоками, оскільки воно пов'язане з похідною $\frac{dI}{dx}$, а не з середнім значенням для суміші.

Деякі технічні вимоги на якість продукції слід переглянути і, якщо це можливо, «пом'якшити». Це базова вимога для хімічної промисловості, у якій дуже поширені ситуації, коли частково очищена речовина з одного агрегату змішується з надмірно очищеними продуктами чи сумішами продуктів, що надходять з другого паралельно увімкненого агрегату, з метою отримання усередненого ступеня чистоти.

Числовий приклад

Потік пари під тиском 180 кг/см^2 та з температурою 550 °C змішується з насиченою рідиною під тиском 180 кг/см^2 з метою досягнення необхідної проєктної температури у певному обладнанні (див. Рисунок 7.8).

На Рисунку 7.9 визначається кінцева температура суміші та втрата ексергії для випадку, коли масова витрата пари – 1 100 000 кг/год., а масова витрата рідини – 30 000 кг/год.

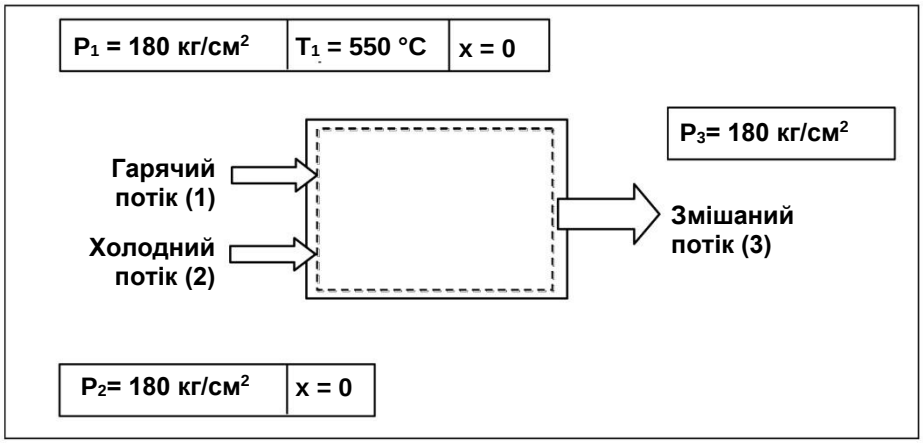


Рисунок 7.8. Камера змішування двох потоків

Розв'язок
Баланс мас у системі виглядає так:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Оскільки робота не виконується, теплопередача відсутня, а кінетичну та потенційну енергії можна прийняти рівними нулю, баланс енергії зводиться до такого виразу:

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = (m_2 + m_1) h_3$$

З таблиць властивостей отримуємо такі значення питомої ентальпії та ексергії за тиску P_1 та температури T_1: h_1 = 3414,2 кДж/кг та s_1 = 6,41 кДж/(кг·К) відповідно. Щоб охарактеризувати стан насиченої рідини у холодному потоці (2), потрібна лише одна властивість (у даному випадку – тиск): h_2 = 1717,06 кДж/кг та s_2 = 3,85 кДж/(кг·К). Зі складеного вище балансу енергії отримуємо:

$$h_3 = \frac{1{,}1 \times 10^6 (3414{,}2) + 30 \times 10^3 (1717{,}06)}{1{,}13 \times 10^6} = 3369{,}14 \text{ кДж/кг}$$

У змішаному потоці (3) з ентальпією h_3 та тиском P_3 маємо: T_3 = 534 °C та s_3 = 6,35 кДж/(кг·К).
Зміну питомої ентальпії та ентропії можна визначити за таблицями властивостей Питома ексергія потоку розраховується за умов, коли T_0 = 273 K, а потенційною та кінетичною енергією можна знехтувати. Отже:

e_1 = 1664,52 кДж/кг	e_2 = 666,67 кДж/кг	та	e_3 = 1634,55 кДж/кг

Незворотність визначається з балансу ексергії:

$I = m_1 (e_1 - e_3) + m_2 (e_2 - e_3)$ =>
$I = 1{,}1 \times 10^6 (1664{,}52 - 1634{,}55) + 30 \times 10^3 (666{,}67 - 1634{,}55) = 3{,}76 \times 10^6$ кДж/год. = 1,04 МВт

Діаграма T-s зображена на Рисунку 7.9:

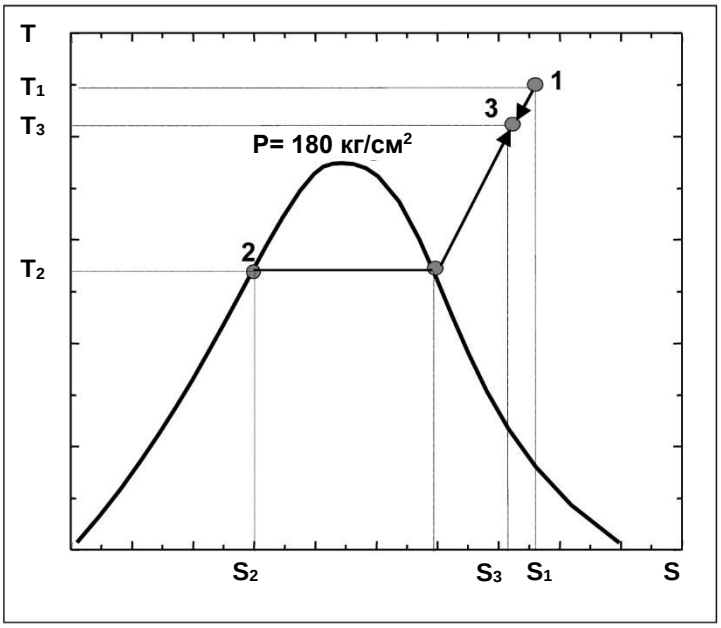


Рисунок 7.9. Діаграма T-s для процесу змішування у прикладі

Зауваження до всіх трьох ситуаційних досліджень
Незворотності є в кожній енергетичній системі, яку можна вдосконалити. Окрім того, що системи намагаються усунути скінченні різниці тиску, температури та хімічних потенціалів, енергетична неефективність проєкту також може бути пов'язана з відсутністю зв'язку між постачанням та потребою. Важливу роль в енергоефективних системах відіграє час. Енергетичні системи спонтанно знижують свій тиск, температуру та хімічні потенціали, щоб досягти рівноваги з навколишнім середовищем. Цього можна уникнути за допомогою двох стратегій:

- безпосередньо сполучити донорів енергії з акцепторами енергії;
- збереження стану: обгородити систему жорсткими стінками у випадку тиску, огородження адіабатичними стінками у випадку температури та/або обмежити хімічні системи таким чином, щоб утримувати їх у метастабільних станах.

Іншими словами, системи потрібно обмежити резервуарами, які будуть підтримувати інтенсивні властивості систем так, щоб ті не змінювалися з часом.

7.3 Приклад застосування заходів з підвищення енергоефективності

7.3.1 Крекінгова установка для виробництва етилену

Крекінгові установки для виробництва етилену перетворюють початкові матеріали, які надходять з нафтопереробного заводу, в етилен та пропілен, які є основною сировиною для виробництва полімерів. Крекінгові установки для виробництва етилену дуже енергоємні. Витрати на енергію становлять понад 50 % від експлуатаційних витрат агрегату.

Початкові матеріали (Fi) – це, як правило, лігроїн, зріджений нафтовий газ та газойль, що надходять з нафтопереробних заводів. Основними продуктами (P_1) є етилен та пропілен. Проте у галузі прийнято з метою порівняння додавати до основних продуктів три інші цінні продукти: бутадієн, бензол та водень. Бутадієн та бензол насправді не виходять із крекінгової установки у вигляді чистих продуктів. Бутадієн входить до складу потоку C4, а бензол – до складу бензинового потоку крекінгової установки. Вони зазвичай екстрагуються у спеціальних екстракторах, які не входять до складу загальної схеми крекінгових установок виробництва етилену.

Відношення кількості цих цінних продуктів до кількості етилену зазвичай варіюється у вузькому діапазоні (від 1,7 до 2,3) і залежить від умов крекінгу і якості / типу початкових матеріалів.

На заводах, економіка яких базується головним чином на виробництві етилену, більш осмисленим енергетичним показником може виявитися споживання енергії, розділене на обсяг виробництва етилену, а не цінних хімічних речовин.

Енергоносії

- пара: у типовій крекінговій установці для виробництва етилену зазвичай є кілька ступенів пари (ступінь високого тиску приблизно у 100 бар надл., ступінь середнього тиску приблизно у 20 бар надл. та ступінь низького тиску приблизно у 4 бар надл.). Крекінгова установка для виробництва етилену буде імпортувати пару на одних ступенів та експортувати її на інших ступенях, залежно від компонування;
- електроенергія: більшість крекінгових установок у підсумку є споживачами електроенергії. Установки, обладнані когенераційними системами, у підсумку можуть бути експортерами електроенергії. При перерахунку електроенергії в первинну енергію з метою порівняння різних установок у галузі прийнято використовувати коефіцієнт перетворення, рівний 37,5 %;

- гаряча вода: більшість крекінгових установок виробляють порівняно багато гарячої води. Проте у більшості випадків температура цієї гарячої води надто низька для використання іншими установками, хоча у деяких випадках можлива інтеграція з іншими установками або зовнішніми споживачами. У цьому випадку слід враховувати експорт цих калорій. Таким чином, покращення енергоефективності визначається «зовнішніми» обставинами, незалежно від «власних» робочих характеристик агрегату, який досліджується, тобто від фактичної можливості використовувати вихідну пару для виконання завдання, потреби якого інакше довелося б задовольняти за рахунок додаткової первинної енергії. Як наслідок, два агрегати з однаковими «власними робочими показниками» будуть розцінюватися по-різному, якщо лише один із них здатний знайти вжиток для одного зі своїх вихідних потоків (тобто здатний до теплової інтеграції);
- паливо: більшість крекінгових установок виробляють рідке паливо (піролітичний мазут) та газоподібне паливо (багату на метан суміш). Більша частина цього газоподібного палива повертається в процес у якості палива, на якому працюють крекінг-печі для виробництва етилену. Залежно від компонування та режиму роботи, виробленого газоподібного палива може бути достатньо для топлення всіх печей, а решта газоподібного палива буде експортуватися, або його може бути недостатньо, і потрібно буде імпортувати зовнішнє паливо – як правило, природний газ. У балансі енергії враховується лише паливо, спожите на самому об’єкті крекінговою установкою для виробництва етилену. Усе експортоване паливо враховується як продукти (це логічно, оскільки енергетичний потенціал палива вже був присутній у початкових матеріалах);
- охолоджувальна вода: у всіх крекінгових установках для виробництва етилену використовується охолоджувальна вода. Градирні іноді входять до складу крекінгових установок для виробництва етилену, проте ця охолоджувальна вода надходить з градирень, які також постачають охолоджувальну воду іншим виробничим агрегатам. У цьому випадку енергія, пов’язана з виробництвом охолоджувальної води, часто не вказується при розрахунку енергоефективності процесу;
- у процесах виробництва етилену також використовуються інші засоби інженерного забезпечення, як-от N_2 та стиснене повітря. Ці засоби інженерного забезпечення часто виробляються централізовано на об’єкті або третьою стороною. Енергія, пов’язана з цими засобами інженерного забезпечення, часто не обліковується.

7.3.2 Виробництво мономера вінілацетату (VAM)

Деякі зі складових розрахунку коефіцієнта енергоємності (КЕЄ), які пропонується використовувати в цьому розділі, можуть підходити не для всіх процесів. Тому розрахунок потрібно буде модифікувати відповідно до поточних потреб.

У якості прикладу розглядається установка з виробництва мономера вінілацетату (VAM). Деякі складові потоки установки з виробництва мономера вінілацетату не вимірюються і не обчислюються (на Рисунку 7.10 вони позначені символом «?»), а величини інших можна легко назвати (на Рисунку 7.10 вони позначені символом ✓).

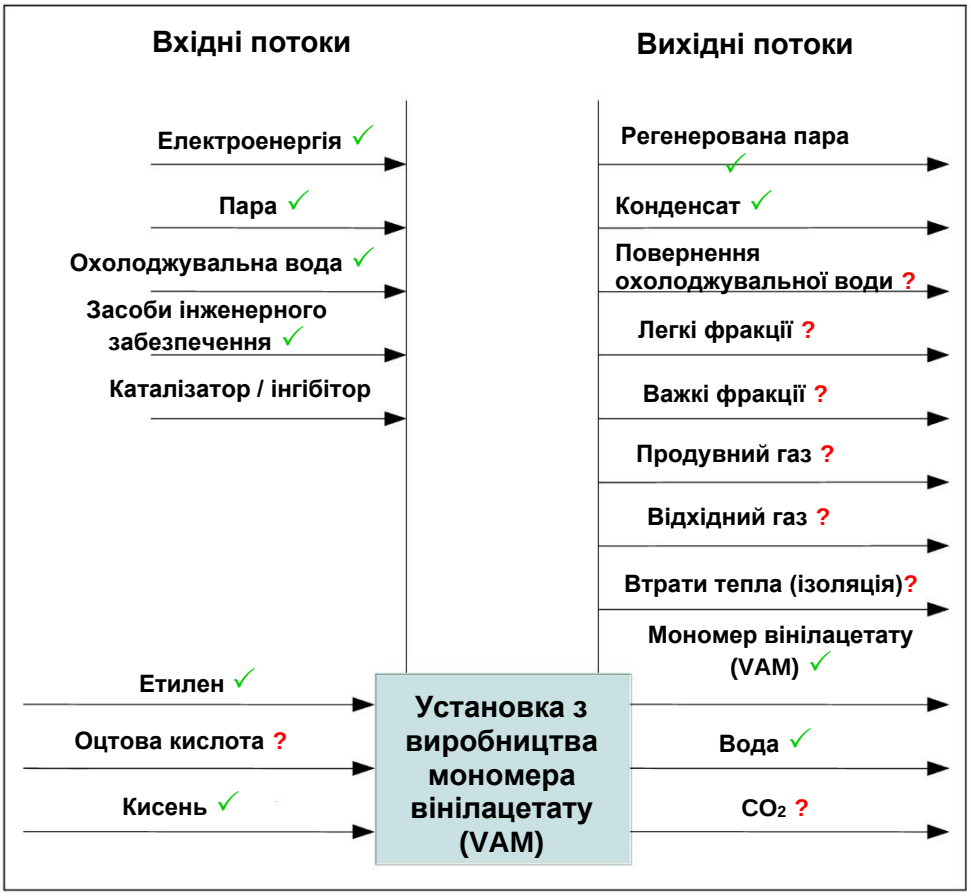


Рисунок 7.10. Вхідні та вихідні потоки установки з виробництва мономера вінілацетату (VAM)

У коефіцієнті енергоємності (КЕЄ) або показнику енергоефективності (ПЕЕ) у жодному разі не слід враховувати втрати тепла з охолоджувальною водою, яка повертається, та через ізоляцію. Відхідний газ та продувний газ не слід враховувати, якщо вони спалюються без регенерації тепла. Однак у випадку цих складових може бути корисно отримати уявлення про порядок їх величини, щоб перевірити економічний потенціал, потрібний для зменшення цих втрат або потоків відходів.

І навпаки, потрібно поглиблено вивчити інші складові, як-от легкі та важкі фракції, або проаналізувати, чи з відхідного та/або продувного газу отримується якась користь в інших процесах. У запропонованій моделі ці потоки не враховувалися, оскільки припускається, що паливо, яке міститься в цих потоках, вже було присутнє у початкових матеріалах. Проте визначити, як враховувати ці складові, – це справа оператора.

7.3.3 Стан гарячого прокату на сталеливарному заводі

Прокатний стан сталеливарного заводу у якості початкової сировини отримує плоскі сталеві плити товщиною приблизно 2 дециметри, які потрібно розкотити у смуги товщиною в кілька міліметрів. Прокатний стан складається з печей, обладнання прокатного стану, охолоджувального обладнання та допоміжних систем, у тому числі насосів, вентиляторів, гідравліки та змащувальних систем, освітлення, механічної майстерні, приміщення для персоналу, роздягалень, тощо.

Технологічна схема прокатного стану зображена на Рисунку 7.11.

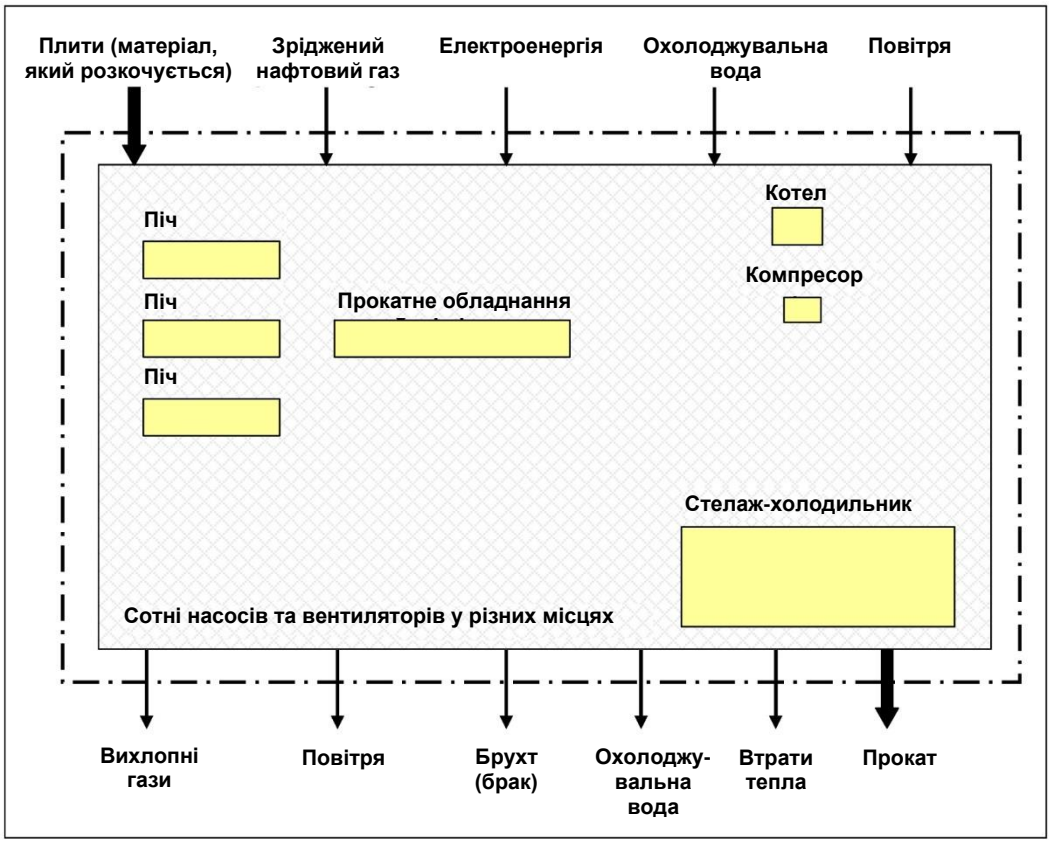


Рисунок 7.11. Технологічна схема прокатного стану

У цьому випадку використовується кілька різних джерел первинної енергії, однак викладені далі міркування стосуються лише використання електроенергії. Кількість компонентів або підсистем з електроприводом на прокатному стані можна оцінити у більш ніж одну тисячу.

Споживання електроенергії можна з легкістю реєструвати за допомогою надійних лічильників електроенергії. Обсяг виробництва сталі може означати вагу плит, що надходять на прокатний стан, або вагу розкочених і схвалених кінцевих продуктів. Різниця між ними відповідає вазі брухту, який може скидатися на різних ступенях прокатного стану.

Було проаналізовано дані, зібрані на існуючому прокатному стані за 11 тижнів, і деякі з результатів показані на Рисунку 7.12. Витрата енергії варіювалася від приблизно 80 до 120 кВт·год. випущеної продукції – залежно від того, скільки тонн виготовлялося за тиждень. Таким чином, середня витрата енергії становила 100 кВт·год., а розкид становив ± 20 %. Заходи з заощадження енергії у цей період не вживалися.

Рисунок 7.12. Питома витрата енергії на прокатному стані

Зменшення питомої витрати енергії при збільшенні темпу виробництва – це цілком нормальне явище, зумовлене двома чинниками:

- якщо темп виробництва високий, виробниче обладнання буде працювати протягом більш тривалого часу. Це означає, що періоди простоювання будуть коротшими. Деяке обладнання працює безперервно, навіть протягом непродуктивних періодів. Якщо непродуктивний час скоротиться, витрата енергії за рахунок цього чинника зменшиться;
- існує базова витрата енергії, яка не залежить від використання виробничої потужності. Ця витрата пов'язана з освітленням, використанням вентиляторів для вентиляції, офісною технікою, тощо. За вищих темпів виробництва ця витрата розподілиться між більшою кількістю тонн продукції.

Таким чином, зменшення питомої витрати енергії зі збільшенням темпу виробництва зумовлене коливаннями умов на ринку, які не залежать від компанії.

Потім на прокатному стані була виконана програма з підвищення енергоефективності. Було вжито ряд заходів з метою зниження витрати енергії; результати цих заходів проілюстровані на Рисунку 7.13. Результати, як виявилося, в основному не залежали від темпу виробництва. Як видно з Рисунка 7.13, результати зусиль, спрямованих на заощадження енергії, можна відрізнити від результатів, зумовлених іншими чинниками, як-от використання потужності.

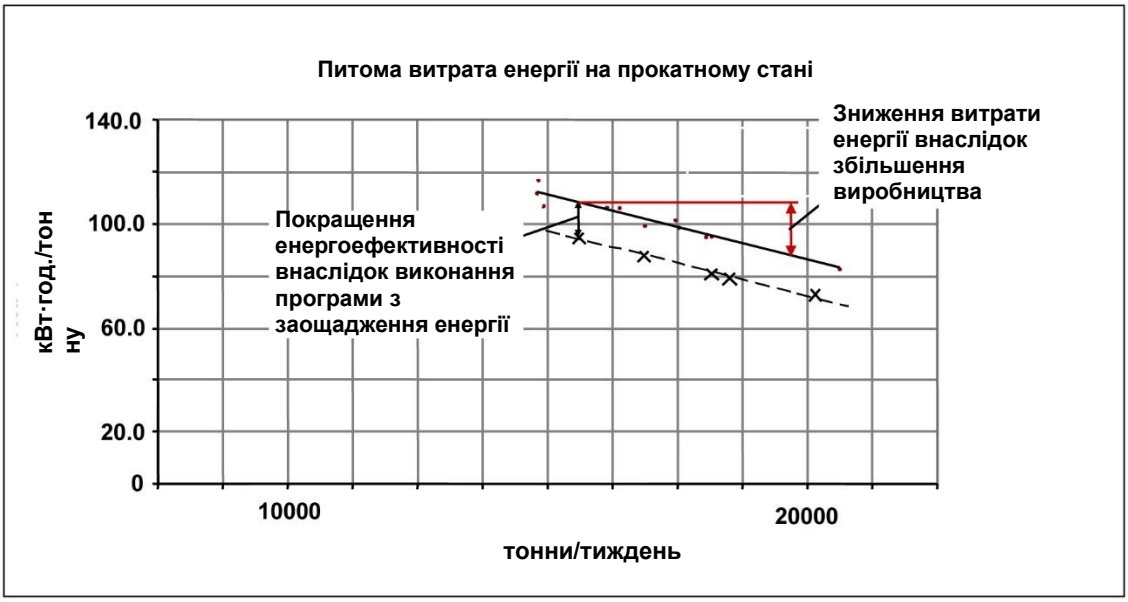


Рисунок 7.13. Зміни у питомій витраті енергії на прокатному стані

Також очевидно, що при порівнянні питомих витрат енергії за різні місяці або роки виникнуть труднощі з тлумаченням даних. Питома витрата енергії за певний період може зрости у порівнянні з попереднім періодом, незважаючи на те, що було вжито ряд заходів із заощадження енергії. Така ситуація означає, що ефект від цих заходів був недостатньо великим, щоб компенсувати збільшення витрати енергії внаслідок низьких темпів виробництва.

7.4 Приклади реалізації систем керування енергоефективністю

Приклад 1. Aughinish Alumina (AAL), Ірландія [161, SEI, 2006]
Aughinish Alumina (AAL) – це найбільший у Європі глиноземний завод, який виробляє з бокситової руди понад 1,6 мільйона тонн глинозему за рік. Глинозем, у свою чергу, експортується на металургійні заводи для переробки на алюміній. Цей завод, який знаходиться на острові Ауїніх у графстві Лімерик, є одним із найбільших споживачів енергії в Ірландії, і його штат налічує 400 працівників. Виробництво глинозему – це енергоємний процес, у якому на енергію припадає близько 30 % загальних витрат.

Компанія відгукнулася на пропозицію Управління сталої енергетики Ірландії (SEI) впровадити систему керування енергоефективністю (ENEMS). Для цього було обрано данську систему DS 2403 (на ній базується ірландська система IS 393, яка потім була випущена). Компанія обрала стандартизовану систему, щоб гарантувати систематичний і структурований підхід до підвищення енергоефективності і зменшення витрат, пов'язаних з енергією. Система DS 2403 дуже схожа на ISO 14001, і це було надзвичайно зручно, оскільки для її впровадження не довелося майже нічого робити, окрім як адаптувати систему керування енергоефективністю до існуючих процедур ISO 14001.

Данські консультанти виконали попередній аналіз та аудит, а також аналіз прогалин (gap-аналіз) на предмет того, що потрібно для дотримання вимог стандарту. Було призначено енергоменеджера на основі повної зайнятості для розробки необхідних систем. На заводі AAL вже була присутня масштабна система лічильників, тож акцент було зроблено на більш ефективному використанні наявних даних та ініціюванні формальних аналізів і процедур звітування з метою звернення уваги на проблеми та виявлення можливостей.

Усі інженери, ремонтний персонал та персонал, відповідальний за закупівлі, на чию роботу безпосередньо вплинули вимоги стандарту, пройшли одноденний навчальний курс на тему його роботи. Для решти 400 працівників була проведена одногодинна «ознайомча» презентація на тему енергозбереження, яка охоплювала більш загальні моменти.

Приклади визначених і вжитих заходів:

- *Удосконалена регенерація тепла*
  На заводі є ряд кожухотрубних нагрівників, які використовують регенеровану пару для нагрівання живильної води котла до 120 °C, перш ніж вона надійде в деаератори. Ці нагрівники деякий час погано працювали через присутність накипу у паропроводах. Це призвело до невідповідностей вимогам, внаслідок чого, у свою чергу, була впроваджена більш цілеспрямована програма пошуку та усунення несправностей з метою визначення найкращих способів усунення проблеми. Шляхом термографічного аналізу та замірів тиску було виявлено можливі ділянки великого падіння тиску у паропроводах. Ця інформація – у поєднанні з детальними розрахунками, метою яких було визначити, які падіння тиску були прийнятними, – показала, що завод AAL повинен внести певні зміни в одну ділянку у період щорічної зупинки заводу. Цей аналіз підтвердився, і внесені зміни значно покращили енергоефективність. Цей підхід був успішно застосований в іншому місці, і пізніше – після того, як у 2006 році будуть внесені зміни на інших ділянках – очікуються подальші покращення.

- *Вища температура подавання вхідного потоку*
  У вилуговувач потрібно додавати вапняну кашу для контролю екстракції. Температура каші повинна бути якомога вищою, інакше у вилуговувач потрібно буде подавати більше пари від котлів, щоб створити в ньому цільову температуру. На початку 2005 року виникли технологічні ускладнення, які призвели до подавання каші з низькими температурами та невідповідностей вимогам. Як наслідок, було проведено дослідження, у ході якого було виявлено простий та

дешевий спосіб усунення цієї проблеми; це навряд чи вдалося б зробити без стандарту. Хоча це заощадження було невеликим порівняно з загальними витратами заводу AAL на енергію, воно все ж було реальним, а також покращило роботу вапногасильного апарата.

Приклад 2. Outokumpu, завод у комуні Торніо, Фінляндія [160, Агуадо, 2007]
Outokumpu – це міжнародна компанія, а завод у комуні Торніо – це найбільший у світі об'єкт повного циклу, який виготовляє нержавіючу сталь, потужністю 1,65 мільйона тонн і зі штатом у 2300 працівників. Завод інтегрував керування енергоефективністю у свою систему керування навколишнім середовищем (EMS) ISO 14001, і звітування про споживання енергії в рамках цієї системи розпочнеться на об'єкті до 1 грудня 2007 року. У 2006 році завод увійшов до Індексу сталості екологічності Доу-Джонса, у якому оцінюється соціальна відповідальність компаній.

Інші об'єкти: заводи у містах Авеста, Дегерфорс та Нюбю (Nyby) у 2006 році успішно сертифікували свої системи керування енергоефективністю за стандартом SS 627750. Завод у місті Авеста поставив собі за мету до грудня 2007 року знизити споживання енергії на 3 %, з 980 до 950 кВт·год./тонну, і покращити паливний ККД на 2 %, знизивши споживання палива (зрідженого нафтового газу) з 608 до 596 кВт·год./тонну. Завод у місті Дегерфорс має на меті зменшити витрату енергії на опалення у зоні відвантаження на 40 % починаючи з 2005 року. Завод у місті Шеффілд (плавильний цех) планує впровадити систему енергетичного менеджменту, у рамках якої буде призначена група та відповідальний виконавець з питань енергоефективності, і має на меті скоротити невиробниче споживання енергії на 10 % порівняно з рівнем 2006 року (знову ж таки, до грудня 2007 року).

Приклад 3. Dow Chemical Company [163, Dow, 2005]
Dow Chemical Company – це міжнародна компанія, яка працює у шести операційних сегментах, володіє 28 підприємствами і випускає понад 3200 продуктів з річним об'ємом продажів у 29 400 мільйонів євро (1 долар США = 0,73416 євро, 1 січня 2005 року). На 208 виробничих майданчиках у 38 країнах по всьому світу працює 43 000 осіб. Компанія споживає 3500 МВт електроенергії, з яких 54 % виробляються самою компанію, і з них 74 % – це когенерація.

У компанії Dow вже діють системи управління, робочий процес та інструменти постійного вдосконалення.

Цілі, поставлені Глобальним правлінням: 1995 – 2005: покращення енергоефективності на 2 % в рік (усього 20 %; у якості базисного року прийнято 1994 рік). Цілі на 2005 – 2015 якраз встановлювалися у 2005 році.

Стратегія: щоб забезпечити сталість у довготерміновій перспективі, структурні підрозділи компанії враховують цілі та плани у сфері енергоефективності та енергозбереження у рамках свого стратегічного планування та реалізації проєктів.

У своїй реалізації енергоефективності компанія Dow враховує всі вимоги, викладені у розділі 2.1, як-от чітко визначена структура, комунікація, керування даними, виявлення можливостей та їх реалізація. Енергоефективність враховується у розробці «найбільш ефективних технологій» і належним чином оцінюється у довготермінових інвестиціях. Також застосовуються маркетинг, мозковий штурм та мобілізація ресурсів. У Dow є глобальний керівник з питань енергозбереження, який надає підтримку у всіх напрямках діяльності компанії. На кожному об'єкті є координаційний центр / керівник для координації діяльності у сфері енергоефективності на цьому об'єкті, а в основних вузлових центрах діють керівні групи з питань енергозбереження.

Персонал заохочується до участі шляхом оприлюднення історій успіху, надання інструментів для підвищення енергоефективності, якими може користуватися кожен, за допомогою зовнішніх зв'язків, змагань із заощадження та іншої діяльності.

Ця структура організована комплексно, керівні групи з питань енергозбереження на об'єктах входять до складу керівництва об'єкта та установки, і застосовується підхід «охоплення всіх напрямків діяльності». Це гарантує, що цілі технологічної установки дійсно втіляться у реальних заощадженнях на рівні компанії, максимізує інтеграцію та взаємовигідну координацію споживання енергії на установках, дає змогу ділитися ідеями та проєктами і залучати їх, а також виявляти можливості на рівні об'єкта і здійснювати планування.

Головною умовою є використання існуючих робочих процесів та інструментів постійного вдосконалення:

- з акцентом на інженерне проєктування / найбільш ефективні технології – енергоефективні рішення;
- з акцентом на команди, відповідальні за технічне обслуговування / експлуатацію / енергоефективність:
- з урахуванням побічного палива / альтернативних видів енергії у звітуванні про енергоємність (використання побічного палива може несприятливо впливати на загальний паливний ККД, проте знижувати викиди CO_2, зумовлені використанням інших видів викопного палива, тому на нього не слід накладати штраф як на чинник, що несприятливо впливає на енергоефективність);
- з реалізацією методики шести сигм: це методика, яка базується на даних, націлена на «зменшення обсягу переробок» та «збереження виграшів», і передбачає систематичне виконання циклу «вимірювання – аналіз – удосконалення – контроль». У ній застосовується (окрім іншого) оцінка вимог клієнтів, статистичний аналіз та інструменти розподілу можливостей за пріоритетами. Удосконалення реалізуються з акцентом на керування змінами, цілеспрямовану політику керівництва та комунікацію.

Досягнення

Компанія Dow досягла цільового зниження питомої витрати енергії (яку компанія Dow та інші хімічні і нафтохімічні компанії називають енергоємністю) на 20 % – з 13 849 кДж/кг продукту 11 079 кДж/кг, де кілограм вимірюється як кілограм повного асортименту продукції DOW.

Приклади конкретних удосконалень

Потужності Dow у центральній Німеччині (п'ять об'єктів):

- оптимізація балансу пари та газоподібного палива на об'єкті у місті Белен суттєво знизила річні викиди CO_2 і покращила (місцеву) енергоефективність;
- на двох об'єктах (розташованих на відстані 40 км один від одного) було запущено спільний проєкт з удосконалення локалізації водню, націлений на мінімізацію кількості водню, яка скидається / спалюється на факелах, та максимізацію ефективності використання хімічних речовин та палива, у результаті якого вдалося досягти замкненого балансу водню (з мінімальними втратами) та реалізувати заходи зі зниження викидів CO_2.

Об'єкт у місті Фріпорт, штат Техас, США:

- впровадження програми, націленої на зменшення споживання електроенергії системами з приводом від двигуна, в масштабі всього об'єкта. Було розроблено інструмент, за допомогою якого експлуатаційний персонал може оцінювати можливості заощадження енергії і розробляти експлуатаційні процедури, спрямовані на зниження споживання енергії, або виявляти можливості для конструктивних змін.

Об'єкт у місті Тернезен, Нідерланди:

- завдяки оптимізації балансів пари між системами електроживлення та інженерного забезпечення і крекінговими установками з виробництва олефінів було зменшено втрати пари і забезпечено більш ефективне редукування пари (на турбіні / редукційних вузлах).

7.5 Приклади енергоефективних основних процесів

Приклад 1. Ферментативне виробництво акриламіду (Mitsubishi Rayon, Японія) [164, OECP, 2001]

У класичних процесах акрилонітрил гідролізується шляхом додавання стехіометричних кількостей сірчаної кислоти у присутності інгібіторів полімеризації, які запобігають полімеризації як початкових матеріалів, так і продуктів. У 1970-их роках було розроблено гетерогенний мідний каталізатор, який усунув потребу в сірчаній кислоті. Він мав багато переваг і широко застосовувався.

Проте з розвитком технологій полімеризації та застосування полімерів виник новий попит на акриламідний мономер з вищим ступенем очищення. Виявилося, що акриламід каталітичного походження, який вважався високоякісним, все ж містить незначну кількість побічних продуктів, яка впливає на реакції полімеризації. Тому Рада з медичних досліджень (MRC) розпочала розробку ферментативного процесу виробництва акриламіду, у якому вміст побічних продуктів був би меншим. Таким процесом виявився гідроліз із використанням регенерованого іммобілізованого цільноклітинного каталізатора.

Розробка мікроорганізму першого покоління у напівпромисловому масштабі зайняла півтора роки: за цей час було розроблено технологічний процес і проведено контроль якості. Під час розробки другого і третього поколінь для перевірки застосування процесу та якості продукту вистачило приблизно шести місяців лабораторних випробувань. Розробка генетично модифікованого організму, у ході якої потрібно було налагодити відповідні технології, зайняла близько семи років. Обсяги світового виробництва акриламіду наведені у Таблиці 7.3.

	Потужність виробництва акриламіду у світі, 10^5 тонн/рік			
Процес	**Японія**	**Азія (крім Японії)**	**США**	**Європа**
Каталітичний	0,9	0,75	1,35	1,15
Ферментативний (1998)	0,2	0,2	0,1	0,35
Ферментативний (2001, за оцінками)	н/з	0,5	н/з	0,45

Таблиця 7.3. Потужність виробництва акриламіду у світі, 10^5 тонн/рік [164, OECP, 2001]

У першому ферментативному процесі були потрібні етапи знебарвлення та концентрування, проте у нових процесах їх немає – див. Таблицю 7.4

Процес реакції	**Каталітичний (1971)**	**Ферментативний (1985)**
Температура реакції	343 K	273 – 288 K
Вихід реакції за один прохід	70 – 80 %	≈ 100 %
Концентрація акриламіду	≈ 30 %	48 – 50 %
Концентрування	Потрібне	Не потрібне
Очищення	Вилучення каталізатора	Вилучення білків

Таблиця 7.4. Порівняння процесів виробництва акриламіду [164, OECP, 2001]

Були проведені порівняльні дослідження впливу каталітичних процесів – початкових ферментативних процесів та нових ферментативних процесів – на навколишнє середовище. Виявилося, що біотехнологічний підхід менше впливає на навколишнє середовище, ніж каталітичний процес, особливо з точки зору споживання енергії та утворення вуглекислого газу. Заощадження енергії наведені у Таблиці 7.5 та Таблиці 7.6.

	Каталітичний процес	**Ферментативний (старий процес)**	**Ферментативний (новий процес)**
Пара	1,6	2,8	0,3
Електроенергія	0,3	0,5	0,1
Сировина	3,1	3,1	3,1

Таблиця 7.5. Порівняння споживання енергії у МДж/кг акриламіду [164, OECP, 2001]

	Каталітичний	**Ферментативний (старий процес)**	**Ферментативний (новий процес)**
Пара	1,25	2,0	0,2
Електроенергія	0,25	0,25	0,1
Сировина	2,3	2,3	2,3

Таблиця 7.6. Порівняння утворення CO_2 у кг CO_2/кг акриламіду [164, OECP, 2001]

Приклад 2. Використання систем чорнила або фарби з радіаційним закріпленням замість традиційних систем на основі розчинника

Друкарська машина з нагрівальним пристроєм розміром 54" (≈ 1,37 м). Типова операція друку – це задрукування 35 – 40 % площі на легкому картковому папері товщиною 12 пунктів. Розрахунки виконувалися для роботи у три зміни, з перебуванням у стані експлуатаційної готовності протягом 75 % годин = 4680 годин на рік.

Звичайна система чорнила або фарби:
Чорнила та покриття на основі розчинника, з вмістом твердої речовини 60 – 65 %. Сушарки, як працюють на газі, нагрівають повітря приблизно до 150 °C. Електроенергія, що витрачається на переміщення повітря, врахована в розрахунку.

Матеріал, який задруковується, після сушильних шаф часто охолоджується на охолоджувальних валках. Насичене парами розчинника повітря (відхідний газ) зазвичай очищується (за допомогою окисників). Потреба цих двох систем в енергії не враховувалася в розрахунку.

Електронно-променеві (ЕП) системи:
Чорнила з електронно-променевим закріпленням на 100% складаються з твердої речовини. Під дією електронів високої енергії вони полімеризуються або закріпляються (плавляться, а потім тверднуть). При цьому в матеріал, який задруковується, вноситься мінімум теплоти (зсув температури становить близько 8 – 12 °C, тож охолодження не потрібне). Відхідні гази з парами розчинника, які потрібно було б очищати, відсутні. Проте для електронно-променевого закріплення потрібна інертна азотна атмосфера. Даних про енергію, витрачену на виробництво азоту, не надано, тому було припущено, що витрати на одиницю об'єму N_2 – це виключно електрична енергія, витрачена на його виробництво, і ця цифра була додана до спожитої енергії. Заощадження енергії, яких було досягнуто завдяки системі чорнила з електронно-променевим закріпленням, наведені у Таблиці 7.7.

ГДж на рік	Звичайна система	Електронно-променева система
Газ	4,67 x 10^4	-
Електроенергія	384	5,31 x 10^3
	4,7 x 10^4	5,31 x 10^3
Заощадження		41690 ГДж/рік
		89 %
Заощадження коштів		649162 доларів США (станом на 2006 рік, від сукупної вартості газоподібного азоту та електроенергії)

Таблиця 7.7. Заощадження енергії, досягнуті завдяки системі чорнила з електронно-променевим закріпленням
[175, Сондерс Р., 2006]

Приклад 3. Регенерація тепла в утриманні бройлерів (інтенсивне розведення курей)

Повітря у бройлерному пташнику, як правило, підігрівається. У системі підлоги з підстилкою, обігріванням та охолодженням (combideck) обігрівається підлога. Система складається з теплового насоса, підземної системи акумулювання, яка складається з труб, та шару розрізнених порожнистих рейок під підлогою. Приблизно до 21-ого дня життя бройлерам потрібне тепло (близько 28 °C), яке постачається шляхом прокачування гарячої води насосом крізь систему під підлогою. Після короткого рівноважного періоду у процесі росту птахів починає вироблятися надлишок тепла. Це тепло поглинається водою у системі під підлогою і зберігається в землі. Ця система покращує розведення бройлерів (зменшення смертності, вища ціна на м'ясо, краще співвідношення між ринковою ціною птахів та вартістю їх відгодовування) і сприятливо впливає на умови утримання тварин (менше теплове навантаження, нижча смертність, менша потреба у ветеринарній допомозі).

Інвестиційні витрати складають 2 євро на птахомісце за утримання 20 бройлерів на м^2. Експлуатаційні витрати (амортизація, відсоткова ставка та технічне обслуговування) складають 0,20 євро на птахомісце в рік. Повідомлялося, що зростання річного виходу продукції переважило річні експлуатаційні витрати приблизно у 3 рази. Наприклад, ветеринарні витрати знизилися приблизно на 30 %. Витрати на енергію знизилися приблизно на 52 %. Період окупності склав приблизно 4 – 6 років. [173, EIPPCB, 2003]

7.6 Приклад підтримання рушійної сили ініціатив з підвищення енергоефективності: високі стандарти господарської діяльності

Приклад 1. Shell Nederland Chemie, місто Мурдейк, Нідерланди (завод з виробництва етилену потужністю 900 000 метричних тонн/рік)
Ця компанія прагнула знизити витрати на енергію та викиди вуглекислого газу. У рамках програми компанії Energise було реалізовано проєкт у співпраці з Shell Global Solutions.

Персонал заводу постійно шукав способи заощадити енергію, проте мав обмаль часу, оскільки йому доводилося зосереджуватися на підтриманні безперервності виробництва та якості продукції. Існували сумніви щодо того, чи можна досягти суттєвих заощаджень на установці з виробництва нижчих олефінів, оскільки вона вже була дуже енергоефективною. Однак консультанти програми Energise працювали разом з представниками заводів над розробкою експлуатаційних удосконалень, спрямованих на зменшення споживання енергії.

Спочатку команда виявила 150 можливостей для вдосконалення, і після аналізу 23 з них були розроблені та реалізовані у вигляді формальних проєктів. Роботи виконувалися без зупинки у той час, як завод працював. Близько 59 % загальних заощаджень було досягнуто шляхом зміни стратегій керування технологічними процесами, у тому числі налагодження нових контурів керування та оптимізації уставок. Решта була заощаджена завдяки процедурним змінам (23 % від сумарної величини) та завдяки вдосконаленню технологічного обладнання і контрольно-вимірювальних приладів (18 %). Основні напрямки вдосконалення були такими:

- суттєві заощадження шляхом коригування рівнів тиску навколо компресорних систем та встановлення контрольно-вимірювальних приладів, щоб компресори могли працювати з оптимальною продуктивністю. Наприклад, завдяки змінам у керуванні компресорами, які працювали з пропіленовим холодоагентом, потреба в енергії скоротилася приблизно на 10 %;
- експлуатаційні відхилення, які також були суттєво зменшені у всьому діапазоні продуктивності: це зменшує ймовірність виникнення обмежень за потужністю і може усунути періодичну потребу у зниженні продуктивності всього заводу. Зокрема, вдалося великою мірою усунути випадки нестачі виробничої потужності влітку;
- велика частка енергії була заощаджена за рахунок кращого розуміння балансу пари на заводі, точного налагодження обладнання та інвестицій у контрольно-вимірювальні прилади для моніторингу робочих показників обладнання.

Основна увага була звернена не на інвестиції в нове обладнання, а на високі стандарти господарської діяльності, найкращі практики і стратегії керування технологічними процесами. Капіталовкладення у ряд невеликих проєктів склали 100 000 доларів США (за даними 2006 року: близько 75 000 євро): ці кошти пішли на проєктування, закупівлю та монтаж додаткових електронних контрольно-вимірювальних приладів.

Досягнуті заощадження енергії склали 5 мільйонів доларів США/рік (близько 3,6 мільйона євро), або 3,5 %.

Приклад 2. Dow Corning, кілька установок
Високі стандарти господарської діяльності були реалізовані на всіх заводах шляхом удосконалення виробничих активів у поєднанні з покращенням робочої дисципліни. Заводи стали більш надійними, а їх робота – передбачуваною: це принесло суттєву вигоду у вигляді кращої якості продукції та більш повного використання заводу. Ці приховані потужності, які вдалося виявити на всіх заводах з мінімальними капіталовкладеннями, складали зазвичай 15 – 20 %.

7.7 Моніторинг та облік

7.7.1 Кількісні вимірювання: облік

Два підрозділи організації (робочі підрозділи) використовували один і той же лічильник електроенергії. Витрати ділилися у пропорції 60/40. У підрозділу, який платив 60 %, витрати на енергію були непропорційно великими, і з огляду на ці закладені фіксовані витрати розглядалася можливість закриття цього підрозділу та його перенесення на інший об'єкт. З цією метою була встановлена система розширеного обліку з автоматизованим зчитуванням показів лічильників (див. розділ 2.15.2). Ця система показала, що підрозділ, який платив 60 %, насправді споживав <41 % електроенергії комплексу. Також було виявлено, що процес термічної обробки раз на тиждень призводить до стрибка споживання у розмірі 175 кВт. Цей процес було перенесено на інший час дня з дешевшим тарифом (див. розділ 7.11). Сумарні заощадження склали 324 000 доларів США (≈240 000 євро) на рік [183, Бованковіч, 2007], [227, ТРГ].

7.7.2 Інженерне забезпечення на базі моделей: оптимізація та керування

Приклад 1. Schott AG, Німеччина

Компанія виробляє різні види скляної продукції і має кілька виробничих об'єктів у Німеччині та в інших регіонах.

Історично склалося так, що для різних підрозділів у компанії призначалися фіксовані рівні споживання енергії та пов'язані з ним витрати без урахування фактичного споживання. Тому керівники не могли вплинути на те, скільки вони витрачають на енергію, і для зниження споживання не вистачало мотивації. Компанія впровадила автоматизовану систему моніторингу (систему керування енергоспоживанням – ECS) з повністю електронним обліком та програмним моделюванням:

- електроенергія: 940 точок вимірювання
- вода: 203 точки вимірювання
- газ: 49 точок вимірювання
- стиснене повітря: 43 точки вимірювання
- мазут: 8 точок вимірювання
- N_2, O_2, NH_3: 7 точок вимірювання.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти:

- заощадження енергії шляхом кращого усвідомлення структури витрат;
- оптимізація споживання енергії.

Експлуатаційні вигоди:

- швидше усунення недоліків з меншими виробничими втратами;
- згладжування профілю енергопостачання;
- прозорість потоків енергії.

Економіка:

- програмне забезпечення: близько 50 000 євро;
- апаратне забезпечення: близько 500 євро / точку вимірювання;
- заощадження за рік:
  - зниження пікового навантаження у постачанні електроенергії: приблизно 3 – 5 %;
  - період окупності: приблизно 0,9 – 2 роки (залежно від проєкту).

Виробник скла Schott: [127, ТРГ]

Приклад 2. Лікарня Atrium, місто Херлен, Нідерланди

У кінці 1990-их років лікарня побудувала сучасну тригенераційну установку для виробництва пари, тепла, електроенергії та охолодження і їх цілодобового постачання у лікарню зі 100 %-ою надійністю. Установка складається з котла гарячої води, двох парових котлів, електричних та абсорбційних чилерів, теплообмінників, двох станцій комбінованого виробництва тепла та електроенергії на базі газових двигунів та двох аварійних генераторів. З огляду на складність установки та вартість палива її неможливо було експлуатувати так, щоб це було оптимально з економічної точки зору. Тому було проведено вишукування. За його результатами було встановлено конденсатор димових газів, завдяки якому було досягнуто заощаджень у 520 – 713 МВт·год. на рік: 5 % від потреби в енергії. Була встановлена система керування засобами інженерного забезпечення у реальному часі, з внутрішньою рентабельністю інвестицій (ROI) у 49 % (приблизно 75 000 – 95 000 євро/рік) за змінних витрат на енергію приблизно у 1,2 мільйона євро [179, Стейнс, 2005].

7.7.3 Енергетичні моделі, бази даних та баланси

Приклад 1. Моделі електричної енергії

Приклад простої електричної моделі наведено у Таблиці 7.8.

		A	B	C	D	E	F	G
Підрозділи	**Пристрої**	**К-сть**	**Номінальна потужність, кВт**	**Номінальний ККД**	**Кількість годин роботи на рік**	**Коефіцієнт завантаження**	**Спожита енергія, кВт·год.**	**%**
Підрозділ 1	Пристрій 1	10	55	0,92	500	1	298913	
	Пристрій 2	20	4	0,85	4000	0,8	301176	
	Пристрій 3	15	10	0,9	4000	0,9	600000	
Усього за підрозділом 1			780				1200089	17,5
Підрозділ 2	Пристрій 1	1	500	0,85	3500	0,5	1029411	
	Пристрій 2	20	15	0,9	4000	1	1333333	
	Пристрій 3	5	7,5	0,8	4500	0,9	189844	
	Пристрій 4	10	2	0,75	1500	0,8	32000	
	Пристрій 5	3	150	0,92	3000	0,95	1394022	
Усього за підрозділом 2			1307				3978611	58,1
Підрозділ N	Пристрій							
УСЬОГО			3250				5425000	100,0

Таблиця 7.8. Проста електрична модель

«К-сть» у стовпці A – це кількість однакових пристроїв (як з технічної, так і з експлуатаційної точки зору), наявних у відповідному підрозділі.

«Спожита енергія» у стовпці F визначається як кількість пристроїв, помножена на номінальну потужність, на кількість годин роботи та на коефіцієнт завантаження і розділена на номінальний ККД:

$$F = \frac{A \times B \times D \times E}{C} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.24}$$

Шляхом додавання всіх енергій, спожитих у кожному підрозділі, можна розрахувати сумарну енергію, яка споживається всім заводом.

Якщо дослідження не дуже масштабне або складне, цієї моделі може бути достатньо для визначення сфер, у яких з найбільшою ймовірністю можуть знайтися можливості для заощадження енергії. Достатньо звернути увагу на розподіл споживань електроенергії кожним підрозділом, які наведені у стовпці G. Дуже ймовірно, що можливості для вжиття ряду заходів, які підвищать енергоефективність, буде виявлено у підрозділах з найвищим споживанням енергії, у той час як підрозділами з низьким споживанням можна буде знехтувати або врахувати їх пізніше.

Якщо контекст дослідження цього заслуговує (тобто якщо цикл виробництва дуже складний, або дані про енергію раніше ніколи не збиралися), для визначення заходів із заощадження енергії також буде корисно зібрати, наприклад, такі дані:

- для двигунів та приводів:
  - вид машини, яку приводить у дію двигун (компресор, вентилятор, насос, тощо);
  - ідентифікаційний код;
  - виробник і назва моделі;
  - тип двигуна;
  - рік встановлення або остаточний ресурс;
  - виконана наразі кількість перемотувань;
  - тип регулювання швидкості, якщо воно присутнє;
  - тип механічної передачі;
  - можливість перенесення роботи на інший час (щоб скористатися більш вигідними тарифами на електроенергію, які діють у конкретний час доби або у конкретні дні);

- для освітлювального обладнання:
  - тип світильника;
  - кількість ламп у світильнику;
  - кількість світильників;
  - тип ламп;
  - номінальна потужність лампи;
  - ККД лампи;
  - вид баласту (залізний, мідний або високочастотний).

Приклад 2. Моделі теплової енергії

Хоча всі згадані раніше дані повинні бути зібрані, у тепловій моделі першого рівня («з боку генераторів»), як і при складанні електричної моделі, потрібно враховувати лише деякі з них (див. Таблицю 7.9):

		A	B	C	D	E	F	G
Процес	**Пристрій**	**К-сть**	**Номі-нальна потужність, кВт$_т$**	**Номі-нальний ККД**	**Кількість годин роботи на рік**	**Коефі-цієнт заван-таження**	**Спожита енергія, м^3 н.у. CH_4**	**%**
Етап 1 (наприклад, спалювання)	**Великі печі**	4	800	0,85	7700	0,8	2417000	
	Невеликі печі	5	600	0,85	7700	0,8	2266000	
Усього за етапом 1			6200				4683000	76,5
Етап 2 (наприклад, виробництво тепла)	**Котел гарячої води**	2	2500	0,92	1000	0,5	283200	
	Паровий котел	2	1000	0,92	7000	0,5	793200	
	Котел гарячої води	2	1000	0,92	1600	0,5	181200	
Усього за етапом 2			9000				1257600	20,5
Етап 3 (наприклад, обслугову-вання)	**Розпилювальна сушарка**	1	400	0,7	200	1	11900	
	Калорифер	1	400	0,85	1600	0,5	39200	
	Невеликі нагрівники	37	30	0,8	1600	0,5	115700	
	Великі нагрівники	2	60	0,8	1600	0,5	12500	3,0
Усього за етапом 3			2030				179300	
УСЬОГО			3250				6119900	100,0

Таблиця 7.9. Дані у моделі теплової енергії (з боку генераторів)

У цьому випадку для полегшення порівняння спожита енергія оцінюється у м^3 н.у. природного газу. Спожита кількість природного газу у цьому випадку описується формулою:

$$F = \frac{A \times B \times D \times E \times 3600}{C \times 34500}$$

де:

• 3600	коефіцієнт перетворення кВт·год. у кДж
• 34 500	нижча теплотворна здатність природного газу (кДж/м^3 н.у.)

Теплову модель першого рівня (з боку генераторів) необхідно перевірити на предмет того, чи дорівнює сумарна потреба в енергії сумарній кількості енергії, вказаній у рахунках за постачання природного газу. Якщо так – модель надійна, і її корисно використовувати для визначення найкращих напрямків, у яких варто реалізувати заходи з заощадження енергії.

Під час оцінки використання теплової енергії також потрібно будувати моделі другого рівня («з боку користувачів»). Щоб скласти таку специфікацію, потрібно виконати перепис усіх машин, яким потрібна теплова енергія в будь-якій формі (гаряча вода, пара, гаряче повітря, тощо), крім палива (воно враховується в моделі першого рівня).

Для кожної одиниці обладнання слід зібрати такі дані:

- потрібний вид теплоносія;
- кількість годин/рік, коли є потреба в теплі;
- коефіцієнт завантаження, з яким використовується теплова енергія;
- номінальна теплова потужність.

Ці дані слід організувати так, як показано нижче у Таблиці 7.10.

		A	B	C	D	E	F	G
Підрозділи	**Пристрої**	**К-сть**	**Теплоносій**	**Теплова потужність, кВт$_т$**	**Кількість годин роботи на рік**	**Коефіцієнт завантаження**	**Потреба в енергії, м^3 н.у. CH_4**	**%**
Підрозділ 1	Пристрій 1	2	Пара	500	1000	1	104200	
	Пристрій 2	1	Пара	125	500	0,8	5200	
	Пристрій 3	5	Гаряча вода	75	5000	0,8	156400	
Усього за підрозділом 1							265800	21,8
Підрозділ 2	Пристрій 1	1	Пара	75	2500	0,5	9800	
	Пристрій 2	20	Гаряче повітря	10	3000	1	62500	
	Пристрій 3	5	Пара	50	2500	0,8	52100	
	Пристрій 4	10	Гаряча вода	5	1500	0,8	6300	
	Пристрій 5	3	Пара	25	3000	0,9	21100	
Усього за підрозділом 2							151800	12,5
Підрозділ	Пристрій							
УСЬОГО							1215700	100,0

Таблиця 7.10. Дані у моделі теплової енергії (з боку користувачів)

За допомогою моделі другого рівня («з боку користувачів») перевіряють, чи відповідає кількість тепла, яку постачають засоби інженерного забезпечення (котли, теплогенератори, тощо), кількості тепла, якої потребують споживачі. У цьому випадку кількості енергії, наведені у стовпці F, описуються формулою:

$$F = \frac{A \times C \times D \times E \times 3600}{34500}$$

У Таблиці 7.9 розрахунок мав такий вигляд:

1 257 600 + 179 300 = 1 436 900 м^3 н.у. постаченого природного газу.

У моделі другого рівня, наведеній у Таблиці 7.10, потреба у природному газі за результатами розрахунку склала 1 215 700 м^3 н.у. Різниця у 15 % пояснюється значеннями ККД на таких етапах: виробництво тепла, розподільні трубопроводи і регулювання розподілу та кінцеве використання.

Якщо ця різниця прийнятна, ці дві моделі можна вважати «сертифікованими», якщо ні – для досягнення збіжності потрібно внести певну поправку (як правило, у кількість робочих годин або коефіцієнти завантаження).

Якщо різниця між двома величинами надто велика, це зумовлено великими втратами різних енергоносіїв (наприклад, пари, гарячої води) у послідовності «виробництво – розподіл – використання». У цьому випадку з великою ймовірністю доведеться вжити інших заходів з підвищення енергоефективності – наприклад, у сфері ізоляції.

7.8 Інші інструменти для аудиту та підкріплення інших методик, що використовуються на рівні об'єкта

7.8.1 Інструменти для аудиту та енергетичного менеджменту

Для «стандартизації» змісту та підходів аудитів було розроблено багато інструментів. У зовнішніх аудиторських компаній зазвичай є власні спеціально розроблені інструменти, як-от листи контрольних питань, для використання у процедурах аудиту. Інші інструменти розроблені торгово-промисловими асоціаціями, державними органами, тощо. У викладеному нижче переліку стисло розглядаються деякі типи інструментів, що використовуються для полегшення аудиту і моніторингу діяльності у сфері енергоефективності. Функції багатьох із цих інструментів можуть перекриватися, і визначити, які з низ необхідно використовувати, – це справа аудитора або оператора. Описані тут інструменти універсальні і не специфічні для певного цільового сектора або моделі енергетичного аудиту, проте їх корисність часто відповідає одному або кільком етапам аудиторського вишукування:

- **керівництво з аудиту або посібник з аудиту, посібник з енергетичного менеджменту:** це центральна складова схеми енергетичного аудиту, яка закладає основу для навчальних семінарів і призначена головним чином для аудиторів. У цьому посібнику описано і пояснено, як проводити аудити, як виконувати розрахунки, а також роз'яснені типи і зміст можливих заходів з енергозбереження (ЕСО), які найчастіше пропонуються. Хоча передбачається, що аудитори мають деякі знання з термодинаміки (а також електротехніки), ці посібники часто містять розділ з повторенням цих тем, пов'язаних з енергією;
- **енергетичні перевірки, листи контрольних питань або покрокові керівництва:** ці допоміжні документи, пов'язані з моделями енергетичного аудиту оглядового типу, розробляються, щоб полегшити роботу аудитора, водночас гарантуючи високу якість і швидкість вишукування. Вони розраховані головним чином на енергоаудиторів, проте енергоменеджери на промислових майданчиках, які планують розпочати внутрішній процес енергетичного менеджменту, можуть використовувати ці документи як інструменти для самоаудиту, перш ніж звертатися за сторонньою допомогою. Листи контрольних питань можуть бути:
  - загальними (див. технічне обслуговування, розділ 2.9);
  - специфічними для певних видів діяльності (див. енергетичні аудити, розділ 2.11);
  - специфічними для певних технічних систем (засобів інженерного забезпечення та будівель);
  - специфічними для певних галузей промисловості (виробничих процесів).

Їх також можна використовувати для перевірки дотримання або визначення можливостей для заощадження енергії відповідно до найкращих практик у сфері енергетичного менеджменту або в технологіях (див. пункт «Впровадження і виконання процедур» у розділі 2.1 та пункт «Високі стандарти господарської діяльності» у розділі 2.5;

- **розрахункові методи та програмне забезпечення:** також відомі як енергетичні моделі. Це ще одна центральна складова схем енергетичного аудиту, пов'язана з аналітичними моделями енергетичного аудиту. Їх головна мета – допомогти аудитору кількісно оцінити потенційні можливості для заощаджень енергії і розрахувати інвестиційні витрати та окупність. Використання (аудитором) рекомендованого або сертифікованого розрахункового інструмента (за умови, що він використовується правильно) допомагає надати високоякісні результати клієнту, для якого виконується аудит;
- **форма (форми) збору даних:** ці допоміжні документи, зазвичай пов'язані з розрахунковим інструментом, для якого вони слугують вхідними даними, допомагають аудитору зібрати всю необхідну інформацію для вишукування. Ця інформація буде внесена у кінцевий звіт, а також допоможе в організації

подальшого контролю енергетичних функцій на об'єкті та у тлумаченні результатів аудиту і рекомендацій за ними;

- **шаблони звітів:** як і у випадку з формами збору даних, шаблони звітів також часто пов'язані з розрахунковим інструментом, вихідні результати якого вносяться у звіт. Оскільки звіт – це здавальний документ за результатами аудиту, використання шаблону допомагає всім учасникам максимально вигідно скористатися послугою аудиту і надати високоякісні звіти за аудитом;
- **листи контрольних питань для контролю якості звітів за аудитом:** такий контрольний лист – це документ, який можна використовувати як на рівні компанії, так і на рівні аудитора (самоаудит). Він доповнює шаблони звітів або використовується замість них і слугує практичною інтерпретацією моделей енергетичних аудитів: очікувані результати, вказані в моделі енергетичного аудиту, повинні бути присутні у звіті, і лист контрольних питань – це легкий спосіб переконатися, що вони присутні, а отже, робота виконана згідно з технічними умовами;
- **цільові значення або бенчмаркінг** (див. розділ 2.16): ці контрольні цифри можуть вказувати на потребу в енергетичному аудиті, і в той же час використовуються аудиторами у якості технічних даних для обґрунтування їх рекомендацій у випадку спрощеного аудиту;
- **бази даних можливих заходів з енергозбереження (ECO):** одним із складних моментів аудиту є отримання даних про вартість та наслідки втілення рекомендацій щодо заощадження енергії. База даних можливих заходів з енергозбереження (ECO) суттєво заощадить час та кошти аудитора / оператора, а відтак допоможе знизити вартість аудиту без погіршення його якості. Підтримання даних в актуальному стані – це досить трудомістке завдання. Наприклад:
  - дані за замовчуванням: ці дані можна використовувати у детальних аудитах для перевірки розрахунків, або заміняти ними ті дані, які важко виміряти або оцінити в інший спосіб. Вони можуть бути взяті з баз даних (див. вище), з довідкових даних або з досвіду іншого об'єкта, аудиту, тощо.

7.8.2 Протокол вимірювання та верифікації

Міжнародний протокол вимірювання та верифікації робочих показників (IPMVP) – це протокол промислового стандарту для вимірювання та верифікації заощаджень енергії. Це широка методична база, яка окреслює гнучкий і широкий набір підходів до вимірювання та верифікації з метою ході оцінки заощаджень енергії у будівлях та системах будівель, як-от освітлення (проте не в технологічних операціях). Це дає змогу власникам будівель, енергосервісним компаніям (ESCO) та сторонам, які фінансують проєкти з енергоефективності будівель, кількісно виразити робочі показники та заощадження енергії, досягнуті внаслідок заходів з енергозбереження (ECM).

Розроблено спеціальні методики для пристосування проєктних вимог щодо витрат та заощаджень до конкретним заходів та технологій підвищення ефективності. Кожен варіант можна застосовувати до різних програм та проєктів з огляду на такі чинники, як складність заходів з підвищення ефективності, які оцінюються, та очікувані ризики. Відповідно, кожен варіант може мати різну точність і вартість реалізації, а також сильні сторони та обмеження. Одна з масштабних цілей цієї ініціативи полягала в тому, щоб допомогти створити вторинний ринок для інвестицій в енергоефективність шляхом розробки узгодженого набору варіантів моніторингу та верифікації (M&V), які можна буде однаковим чином застосовувати до цілого спектру заходів із заощадження енергії, а отже, забезпечити надійні заощадження протягом усього терміну проєкту.

Керування протоколом здійснюється через Організацію з оцінки ефективності (EVO), і детальнішу інформацію можна знайти за адресою:

http://www.evo-worid.org/mdex.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=80 [92, Motiva Oy, 2005, 227, ТРГ, 250, ADEME, 2006, 261, Вуглецевий фонд – Велика Британія, 2005]

7.9 Бенчмаркінг

7.9.1 Нафтопереробні заводи з виробництва мінеральних олив

Підприємства нафтопереробної промисловості вже звернули серйозну увагу на питання енергоефективності, оскільки витрати на енергію у цій галузі становлять понад 50 % усіх експлуатаційних витрат. На рівні окремого нафтопереробного заводу енергетичну ефективність можна відстежувати за коефіцієнтом енергоємності (КЕЄ). Однак насправді простіше використовувати відношення енергії, спожитої на всьому об'єкті у цілому, до кількості очищеної сировини, яке еквівалентне КЕЄ. Відстежуючи це відношення в часі, потрібно визначитися з його тлумаченням, щоб уточнити, який внесок в нього робить енергетичний менеджмент, а який – інші чинники. Проте це відношення не можна використовувати для порівняння енергетичних показників різних нафтопереробних заводів, оскільки усі нафтопереробні заводи різняться за складністю, схемами, видами сировини, які на них переробляються, та асортиментами продукції. Усі ці параметри впливають на потребу нафтопереробних заводів у енергії.

Нафтопереробні заводи переробляють сиру нафту у товарні нафтопродукти, у ході цього процесу споживаючи енергію. Кожен нафтопереробний завод – це унікальне і складне поєднання окремих технологічних агрегатів. З метою моніторингу енергетичної ефективності конкретного нафтопереробного заводу у часі та оцінки енергетичної ефективності різних нафтопереробних заводів відносно один одного було розроблено показники, які намагаються охопити цю складність. Такою спробою уловити цю складність є енергетичний показник Solomon для нафтопереробних заводів. Компанія Solomon Associates впровадила поняття індексу енергоємності (EII). Solomon Associates раз на два роки проводить порівняльне дослідження нафтопереробних заводів у всьому світі. Це дослідження охоплює всі можливі аспекти, як-от потужність, витрати на технічне обслуговування, експлуатаційні витрати та енергетична ефективність. Енергетична ефективність вимірюється у вигляді індексу енергоємності (EII), який визначається так:

$$\text{EII} = 100 \times \frac{\text{Фактичне повне споживання енергії нафтопереробним заводом}}{\sum(\text{витрата палива х стандартна питома енергія}) + \text{відчутна теплота} + \text{енергія за межами об'єкта}}$$

У цьому рівнянні:

- чисельник – це фактичне повне споживання енергії нафтопереробним заводом (виражене у вигляді нижчої теплотворної здатності), яке дорівнює повному споживанню палива / електроенергії (як імпортованих, так і вироблених на самому об'єкті), проте також враховує експорт пари та/або електроенергії, якщо він присутній. Електроенергія з зовнішньої мережі приводиться до первинної енергії за допомогою стандартного коефіцієнта ефективності, який дорівнює 37,5 %;
- знаменник – це стандартне споживання енергії за даними Solomon (так звана вказівна енергія), яке складається з трьох основних елементів:

- сума вказівних енергій для кожного з виробничих агрегатів: ці вказівні енергії розраховуються шляхом множення використаної агрегатом потужності (звичайної продуктивності або швидкості подавання) на стандартний коефіцієнт питомої енергії агрегату, наданий компанією Solomon для кожного агрегату. Для деяких виробничих агрегатів цей коефіцієнт енергії залежить від якості подавання (наприклад, густини сировини) / важкості операції (каталітичні риформінгові установки, каталітичні крекінгові установки, тощо) / типу виробничого об'єкта, тощо. Підсумовуючи напрямні енергії для кожного агрегату, отримуємо повне стандартне споживання енергії для всіх виробничих об'єктів нафтопереробних заводів за методикою Solomon;
- коефіцієнт відчутної теплоти: цей коефіцієнт відображає енергію, потрібну для нагрівання вхідного потоку установки від температури навколишнього середовища до 104,4 °C. Усі вхідні потоки установки приводяться до вхідних потоків сировини брутто (з їх відповідними значеннями густини), які «переробляються» в технологічних агрегатах. Змішані компоненти не враховуються;
- коефіцієнт енергії за межами об'єкта: цей коефіцієнт відображає енергію, витрачену в розподільних системах інженерного забезпечення, на операції змішування продуктів, у баковому господарстві (підігрівання баків, підігрівання ліній відбору продукту, об'єкти нафтобаз) та на природоохоронних об'єктах. Розрахунок виконується за кількістю сировини, підведеної до технологічних агрегатів, а також в операції змішування, та за коефіцієнтом складності нафтопереробного заводу.

Індекс енергоємності (EII) безрозмірний і, на відміну від показника енергоефективності (ПЕЕ), визначення якого наведене у розділі 1.3, зменшується зі зростанням енергетичної ефективності.

Індекс енергоємності – це спроба встановити орієнтир для порівняння енергоефективностей нафтопереробних заводів різної складності та з різними агрегатами. Проте у нафтопереробній цей інструмент вважається недосконалим і придатним у найкращому випадку для порівняння. У деяких нафтопереробних заводів з низьким індексом енергоємності мало можливостей для покращення енергетичної ефективності, у той час як інші заводи з хорошим індексом енергоефективності іноді мають великий потенціал для вдосконалення. Крім того, індекс енергоефективності не дає уявлення про сфери / агрегати, які потребують удосконалення. З цієї точки зору може бути корисно детально розбити об'єкт на основні виробничі агрегати, щоб виявити можливості для покращення енергетичної ефективності [227, ТРГ].

7.9.2 Австрійське енергетичне агентство

У звіті Австрійського енергетичного агентства (AEA) «Енергетичний бенчмаркінг на рівні компанії: звітний щоденник компанії» наведені коефіцієнти бенчмаркінгу, відмінні від коефіцієнтів для питомої витрати енергії. Наприклад, підраховано показники використання певних технологій заощадження енергії (див. частину 3):

- частота перевірок котлів (100 % заводів повідомили, що часто перевіряють котли);
- частота перевірок ліній стисненого повітря (25 % заводів систематично видаляли тупики з систем, у яких змінився технологічний процес, і 50 % з них періодично перевіряли тупики);
- використання технологій заощадження енергії (частотно-регульовані приводи, енергоефективні двигуни (ЕЕД), регенерація тепла, теплові насоси та енергоефективне освітлення, технічне обслуговування котлів і стиснене повітря).

Проте такий бенчмаркінг може призвести до застосування радше висхідного підходу (тобто заміни конкретних компонентів), аніж заміни цілих систем.

7.9.3 Схема для малого та середнього бізнесу у Норвегії

У Норвегії існує онлайн-схема бенчмаркінгу для малого та середнього бізнесу. Бенчмаркінг базується на порівнянні питомих витрат компаній (наприклад, кВт·год./кг). Питомі витрати розраховуються за повною спожитою енергією та повним об'ємом виробництва на об'єкті. На сьогодні серед 800 компаній-учасниць впроваджено 43 різні порівняльні групи. Оскільки один завод зазвичай випускає різні продукти з різною енергоємністю, для нормалізації цих відмінностей використовуються поправні коефіцієнти.

7.9.4 Ковенанти про бенчмаркінг у Нідерландах

У Нідерландах діють довготермінові угоди (ковенанти), присвячені бенчмаркінгу, що укладаються між урядом та великими компаніями (тобто тими, які споживають понад 0,5 ПДж енергії на рік). Ковенанти закладають основу для зниження викидів CO_2.

Головним прикладом є нідерландська целюлозно-паперова промисловість з 26 заводами-виробниками, яка є одним із великих споживачів енергії у Нідерландах. Компанії-учасниці зобов'язуються вжити заходів зі скорочення споживання енергії, щоб їх установки увійшли в число найкращих установок світу у їх галузях промисловості. «Найкращими установками світу» в цьому сенсі вважаються перші 10 % установок з найкращою енергоефективністю. Національна галузева асоціація відіграла важливу роль у керуванні процесом бенчмаркінгу і призначила двох консультантів з досвідом у цій галузі – одного з бухгалтерських, а іншого з інженерних питань.

Ковенант постановляє, що енергоефективність слід розраховувати за нижчою теплотворною здатністю первинних видів палива, що використовуються для виконання кожного завдання на об'єкті (наприклад, для виробництва пари та електроенергії, централізованого опалення, у двигунах внутрішнього згорання). Електроенергія, яка береться з національної мережі або постачається в неї, перераховується з використанням стандартної частки виходу у 40 %.

Консультанти оцінили інформацію про енергетичну ефективність паперових фабрик у всьому світі – як із загального доступу, так і зі своїх власних баз даних. Оскільки нідерландські паперові фабрики працюють лише з кінцевими етапами виробництва паперу (без виробництва целюлози), в оцінці враховувалися лише агрегати, які працюють у цій частині технологічного процесу. Було виконано бенчмаркінг для таких узагальнених агрегатів:

- підготовка сировини;
- папероробна машина;
- остаточна обробка (намотування, різання, пакування, тощо);
- перетворення енергії;
- загальні засоби інженерного забезпечення та допоміжні системи.

Щоб інформацію про робочі показники різних агрегатів можна було порівнювати, було впроваджено поправні коефіцієнти. Вони відображали, наприклад, такі аспекти, як склад сировини, видалення типографського чорнила, проклеювання, установки очищення стічних вод та конфігурація потужності.

Найкращі практики з енергоефективності, що використовуються першими 10% найкращих установок світу, були визначені для шести сегментів галузі, залежно від кінцевого продукту:

- газетний папір;
- друкарський та письмовий папір;

- санітарно-гігієнічний папір;
- тарний картон;
- листовий картон та картон для складаних коробок;
- невеликі спеціалізовані паперові фабрики.

(Подібна схема діє у провінції Фландрія, що у Бельгії) [227, ТРГ].

7.9.5 Бенчмаркінг у скляній промисловості

У скляній промисловості досліджується кілька методів для визначення найбільш енергоефективних скловарних підприємств:

- методи передової практики та застосування енергетичних балансів;
- визначення теоретичної потреби в енергії або ентальпії та найнижчого практично можливого рівня споживання енергії;
- бенчмаркінг питомих рівнів споживання енергії промисловими скловарними печами;
- розробка нових технологій варіння скла та освітлення.

Починаючи з 1999 року було зібрано дані про приблизно 250 скловарних печей для бенчмаркінгу у різних секторах скляної промисловості. На жаль, отримати повні та надійні дані з усього світу було неможливо, проте вдалося отримати дані з Європи, Японії, США, Канади та Туреччини.

При цьому можна було використовувати різні методи складання рейтингу:

- від найнижчої до найвищої питомої витрати енергії з визначенням найкращих 10 % серед печей світу;
- найкращий показник у регіоні з використанням у якості орієнтиру усередненої печі в регіоні;
- найнижча витрата енергії скловарною піччю, якої можна досягти, застосувавши всі найкращі доступні технології та методи управління (з літератури, за даними постачальників та з Довідкового документа з НДТМ для виробництва скла (GLS).

Визначена теоретична потреба в енергії, і наявні термодинамічні моделі. За температури 1400 °C піч, яка працює з типовою вапняно-натрієво-силікатною шихтою, потребує приблизно 0,52 МДж/кг скла на хімічні реакції та 1,75 МДж/кг на нагрівання скляного розплаву.

Виявилося, що енергоефективність залежить від таких параметрів:

- частка скляного бою (відходів скла) у шихті;
- вибір сировини;
- вік і тип печі;
- питоме та повне знімання скломаси;
- вік печі;
- електричне форсування;
- підігрівання шихти;
- інші чинники, як-от:
  - конструкція та ізоляція печі;
  - баланс надлишкового повітря;
  - тип пальника та палива.

Дані були приведені до первинної енергії для врахування спожитої електроенергії та виробленого кисню у випадку киснево-паливних печей, а також частки скляного бою у

початковій сировині. Інші параметри теж, імовірно, могли б бути приведені – наприклад, піч можна було б привести до 0 років (тобто до стану нової печі), проте при цьому не вдалося б врахувати ремонти у холодному стані, які проводилися під час кампанії для підвищення енергоефективності.

У результаті виявилося, що для найкращих 10 % печей споживання енергії становило 4285 МДж/т розплавленої скломаси, а різниця між найбільш енергоефективною піччю та піччю середнього рівня (50-ий процентиль) склала 25 %. Для тарного скла та флоат-скла була визначена найкраща практика.

7.9.6 Розподіл енергії / викидів CO_2 між різними продуктами у складному технологічному процесі, що складається з послідовних етапів

Французька асоціація виробників крохмалю (USIPA) за підтримки мережі компаній PricewaterhouseCoopers розробила методику оцінки / розподілу енергії у процесі виробництва крохмалю та похідних продуктів. Ця методика використовувалася:

- для розподілу споживання енергії між різними етапами переробки та різними видами продукції;
- для розподілу викидів CO_2 між різними етапами переробки та різними видами продукції;
- для реалізації покращень у споживанні енергії.

Тому її можна використовувати у якості інструмента для бенчмаркінгу.

Для крохмальної промисловості характерний широкий асортимент продуктів, які виготовляються з кількох видів сировини у кілька послідовних етапів технологічного процесу. Продукт певного етапу можна продати споживачам для використання з певною метою або продовжити його переробку на крохмальному заводі для отримання інших продуктів.

Цим етапам виробництва чітко відповідають конкретні робочі зони технологічного процесу та/або конкретне обладнання; вони можуть бути як безперервними, так і періодичними.

Сировина → крохмаль → цукри → продукти → поліоли

Для спрощення підходу продукти відсортовані за сімействами спільного походження (сухий крохмаль – нативний або модифікований, рідкі цукри, сухі цукри, рідка декстроза, суха декстроза, рідкі поліоли, сухі поліоли, продукти бродіння).

Витрати енергії (які можна прирівняти до викидів CO_2) розподілені між різними етапами переробки, а відтак між кількостями проданих продуктів. Для проданих продуктів можна розрахувати характерні коефіцієнти. Оскільки вміст води на різних етапах технологічного процесу може різнитися, усі розрахунки виконуються для продуктів, приведених до 100% сухої твердої речовини.

Наприклад, у випадку викидів CO_2 для кожного етапу переробки призначаються характерні викиди CO_2, визначені за кількістю пари, що використовується на цьому етапі технологічного процесу (з огляду на викиди CO_2, пов'язані з виробництвом пари на об'єкті) та за кількістю горючих матеріалів, використаних у сушарках на цьому етапі технологічного процесу). Далі характерні викиди CO_2 можна призначити для продукту, додавши характерні викиди CO_2 на кожному з послідовних етапів його виробництва.

Ця методика сама по собі не приносить вигод, проте слугує інструментом, який допомагає зрозуміти:

- внесок кожного етапу виробництва у споживання енергії / енергоємність та/або викиди CO_2;
- внесок різних сімейств продукції у профіль споживання енергії заводом.

Для реалізації цих методик потрібна адміністративна робота і доступ до експлуатаційної інформації (об'єм виробництва, витрати енергії, тощо) на рівні цехів для кожного з різних етапів переробки.

Приклади:
Викиди CO_2 з французьких крохмальних заводів – коефіцієнти викидів для конкретних продуктів.

Ця методика також використовується французьким підприємством з виробництва крохмалю для встановлення добровільних зобов'язань з обмеження викидів парникових газів (перед Асоціацією зі зниження викидів парникових газів – AERES).

Довідкова інформація
Французька асоціація виробників крохмалю (USIPA) – Звіти PWC [227, ТРГ]

7.10 Приклади до частини 3

7.10.1 Пара

Приклад 1. Ізолювання клапанів
Якщо ізолювати один клапан розміром 100 мм, який знаходиться у приміщенні і регулює потік пари під тиском 800 кПа (8 бар) (175 °C), втрати тепла зменшаться на 0,6 кВт. Як наслідок, витрати на котлове паливо зменшаться на 40 євро/рік, а заощадження енергії складе 5 МВт·год./рік.

На заводі з виробництва каталізаторів Johnson Matthey Catalysts у місцевості Тіссайд (Teesside), що у Великій Британії, встановлення ізоляційних кожухів на клапанах та фланцях мало такі результати:

- річні заощадження енергії – 590 МВт·год.;
- зменшення викидів вуглецю – 29 тонн/рік;
- період окупності – 1,6 року.

Приклад 2. Підігрівання живильної води, у тому числі за допомогою економайзерів (див. розділ 3.2.5)
Економайзер можна використовувати з газовим котлом потужністю 5 т пари/год., який працює під тиском 20 бар надл.

Котел виробляє пару з продуктивністю 80 % протягом 6500 годин на рік. Газ буде купуватися за ціною 5 євро/ГДж.

Економайзер буде використовуватися для підігрівання свіжої котлової води перед її надходженням у дегазатор. Половина конденсату буде регенеруватися, а інша половина – підживлюватися свіжою водою. Це означає, що економайзер здатний забезпечити покращення у 4,5 %.

Котел наразі використовується з такими витратами:

- $$\frac{6500\ \text{год./рік} \times (2798{,}2-251{,}2)\ \text{кДж/кг} \times 5\ \text{т/год.}\ \times 5\ \text{євро/ГДж}}{0{,}8\times1000} = 517\ 359\ \text{євро/рік}$$

Після встановлення економайзера річні експлуатаційні витрати знизяться до:

- $$\frac{6500\ \text{год./рік} \times (2798{,}2-251{,}2)\ \text{кДж/кг} \times 5\ \text{т/год.}\ \times 5\ \text{євро/ГДж}}{0{,}845\times1000} = 489\ 808\ \text{євро/рік}$$

- Таким чином, заощадження складуть 27 551 євро/рік.

Приклад 3. Встановлення економайзера (див. розділ 3.2.5)
Котел, у якому спалюється природний газ, виробляє пару з продуктивністю 20 400 кг/год. під тиском 1 бар надл. Конденсат повертається в котел і змішується з підживлювальною водою для отримання живильної води з температурою 47 °C. Виміряна температура у димовій трубі дорівнює 260 °C. Котел працює протягом 8400 год./рік з вартістю енергії 4,27 долара США/ГДж. Заощадження енергії після встановлення економайзера можна розрахувати так:

значення ентальпії:

- для насиченої пари під тиском 1 бар надл. = 2780 кДж/кг
- для живильної води з температурою 47 °C = 198 кДж/кг.

Теплова потужність котла = 20 400 кг/год. x (2781 - 198) кДж/кг = 52,693 мільйона кДж/год. =14 640 кВт.

Теплоті, яку можна регенерувати, відповідає температура у димовій трубі 260 °C та навантаження на котел, що працює на природному газі, 14 640 кВт; отже, з Таблиці 3.7 у розділі 3.2.5 отримуємо теплоту ≈1350 кВт.

Річні заощадження = 1350 кДж/с x 4,27 долара США / 10^6 кДж x 8400 год./рік x 3600 с/год. = 174 318 доларів США/рік = 197 800 євро/рік (1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Запобігання утворенню та видалення накипу з поверхонь теплопередачі (див. розділ 3.2.6)

Приклад 1

Паровий котел споживає 304 000 $м^3$ н.у. природного газу щороку і у середньому працює протягом 8000 годин на рік. Якщо на теплообмінній поверхні допустити утворення накипу товщиною 0,3 мм, інтенсивність теплопередачі знизиться на 2,9 %.

Збільшення експлуатаційних витрат за рік у порівнянні з поточною ситуацією складе:

304 000 $м^3$ н.у./рік x 2,9 % x 0,15 євро/$м^3$ н.у. = 1322 євро на рік.

Приклад 2
Котел споживає 474 800 ГДж палива, щороку працюючи протягом 8000 годин за номінальної потужності 20 400 кг/год. і виробляючи пару під тиском 1 бар надл. Якщо на трубках котла допустити утворення накипу товщиною ≈0,8 мм, і склад накипу буде «звичайним», втрата палива складе 2 %. Нехай ціна на енергію – 2,844 долара США/ГДж, тоді підвищення експлуатаційних витрат буде таким:

підвищення річних експлуатаційних витрат = 474 800 ГДж x 2,844 долара США/ГДж x 0,02 = 27 000 доларів США = 30 637 євро (1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Мінімізація продувок (див. розділ 3.2.7)

Приклад 1
Автоматизована система керування продувками встановлена на жаротрубному котлі, який виробляє пару під тиском 25 бар протягом 5500 годин на рік. Система продувки знизить величину продувок з 8 до 6 %. Котел буде виробляти 25 тонн пари за годину, а ККД котла складе 82 %. Ціна на газ – 5 євро/ГДж.

Підживлювальна вода подається з температурою 20 °C і коштує 1,3 євро за тонну (включно з очищенням).

Ціна скидання стічних вод – 0,1 євро за тонну.

Припустимо, що конденсат не повертається: тоді величина продувки визначається лише за витратою свіжої води, оскільки відсутнє надходження солей зі зворотним конденсатом. Електропровідність свіжої води – 222 мкСм/см. Це показник кількості солей, розчинених у воді. Електропровідність підживлювальної води може досягати максимум 3000 – 4000 мкСм/см.

Таким чином, величина продувки (B) розраховується так:

- кількість солей на вході = кількість солей на виході
- (25 000 + B) x 222 = B x 3000

Отже, величина продувки: 1998 л/год., або 8 %.

Початкова кількість свіжої підживлювальної води:

- 25 000 кг/год. x (1 + 0,08) = 28000 л/год.

Після встановлення системи керування продувками вона стає такою:

- 25 000 кг/год. x (1 + 0,06) = 26 500 л/год., тобто на 500 л/год. менше
- ентальпія підживлювальної води за тиску 25 бар надл.: 972,1 кДж/кг
- ентальпія живильної води за температури 20°C та атмосферного тиску: 83,9 кДж/кг
- отже, різниця – 888,2 кДж/кг.

Таким чином, заощадження на вартості палива складуть:

- 500 л/год. x 5500 год. x 888,2 кДж/кг x 5 євро/ГДж/0,82/1 000 000 = 14 894 євро/рік

Крім того, було досягнуто заощаджень на вартості очищення та продувки.

Кількість заощадженої води складе: 500 л/год. x 5500 год./рік = 2750 т/рік.

Це означає, що вдасться уникнути витрат у розмірі 3850 євро/рік.

Таким чином, установка щороку приносить прибуток у розмірі 18 744 євро [227, ТРГ]

Приклад 2

Нехай встановлення автоматичної системи керування продувками зменшує величину продувки з 8 до 6 %. У цьому прикладі припустимо, що використовується паровий котел безперервної дії, який працює на природному газі, виробляючи пару під тиском 1 бар надл. з продуктивністю 45 350 кг/год. Нехай температура підживлювальної води – 16 °C, ККД котла – 82 %, ціна на паливо – 2,844 долара США/ГДж, а сумарна вартість води, скидання у каналізацію та водопідготовки складає 0,001057 долара США за кг. Сумарні річні заощадження коштів складуть:

- живильна вода котла:
  - початкове значення = 45 350 / (1 - 0,08) = 49 295 кг/год.
  - кінцеве значення = 45 350 / (1 - 0,06) = 48 246 кг/год.
- заощадження на підживлювальній воді = 49 295 - 48 244 = 1049 кг/год.
- ентальпія котлової води = 787,4 кДж/кг; ентальпія підживлювальної води за 16 °C = 65,1 кДж/кг
- заощадження теплової енергії = 787,4 - 65,1 = 722,3 кДж/кг

річні заощадження палива = 1049 кг/год. x 8760 год./рік x 722,3 кДж/кг x 2,844 ГДж/0,82 x 10^6 = 23 064 долари США

річні заощадження води та хімічних речовин = 1049 кг/год. x 8760 год./рік x 0,001056 долара США/кг = 9714 долари США

сумарні заощадження = 23 064 долари США + 9714 долари США = 32778 доларів США = 37 192,11 євро (1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Регенерація тепла з продувок котла (див. розділ 3.2.15)

Приклад 1

Теплообмінник встановлений між продувною трубою котла та місцем підведення свіжої підживлювальної води. Котел працює протягом 7600 годин щороку під тиском 10 бар надл. з ККД 82 %. Величина продувок котла – 6 %, а природний газ, який спалюється у котлі, коштує 4 євро/ГДж. Свіжа підживлювальна вода подається з витратою 5,3 т/год.

Кожні 10 т пари/год. з величиною продувки 6 % приносять прибуток у розмірі 368 МДж/год. за рахунок підвищення ефективності (див. Таблицю 3.17 у розділі 3.2.15). Щоб досягти цього значення прибутку, потрібно подавати свіжу підживлювальну воду з витратою 5,3 т/год. Таким чином, прибуток від підвищення ефективності складе 5,3/10 x 368 = 195 МДж/год.

Отже, отримаємо такі заощадження:

$$\frac{7600\ \text{год.} \times 195\ \text{МДж/год.} \times 4\ \text{євро/ГДж}}{1000 \times 0{,}82} = 7229\ \text{євро/рік}$$

Ізоляція паропроводів та трубопроводів повернення конденсату (див. розділ 3.2.11)

Приклад

На установці, де пара коштує 4,265 долара США/ГДж, у ході обстеження парової системи було виявлено 30 м оголеного паропроводу діаметром 25 мм та 53 м оголеного трубопроводу діаметром 50 мм. Обидві ці лінії працюють під тиском 10 бар. Крім того, було виявлено ще 76 м трубопроводу діаметром 100 мм, який працює під тиском 10 бар. З Таблиці 3.10 у розділі 3.2.11 отримуємо таку кількість тепла, що втрачається за рік:

- лінія діаметром 25 мм: 30 м/30 м x 301 ГДж/рік = 301 ГДж/рік
- лінія діаметром 50 мм: 53 м/30 м x 506 ГДж/рік = 894 ГДж/рік
- лінія діаметром 100 мм: 76 м/30 м x 897 ГДж/рік = 2 272 ГДж/рік
- сумарні втрати тепла = (301 + 894 + 2 272) ГДж/рік = 3 467 ГДж/рік

Річні заощадження на експлуатаційних витратах завдяки встановленню ізоляції з ефективністю 90 % складуть:

0,90 x 4,265 долара США/ГДж x 3 467 ГДж/рік = 13 308 доларів США/рік = 11 728 євро/рік

(1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Встановлення знімних ізоляційних накладок на клапани та фітинги (див. розділ 3.2.11.1)

За Таблицею 3.11 у розділі 3.2.11.1 можна розрахувати річні заощадження палива та коштів у разі встановлення ізоляційної накладки товщиною 25 мм на неізольований запірний клапан розміром 150 мм, що встановлений на трубопроводі насиченої пари під тиском 17,24 бар надл. (208 °C). Нехай котел безперервно працює на природному газі з ККД 80 %, а ціна на паливо становить 4,265 долара США/ГДж:

річні заощадження палива = 1 751 Вт x 8 760 год./рік x 1/0,80 x 3 600 с/год. = 69 024 ГДж/рік

річні заощадження коштів = 69 024 ГДж/рік x 4,265 долара США/ГДж = 295 доларів США на запірний клапан розміром 150 мм = 334,73 євро (1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Впровадження програми контролю та ремонту конденсатовідвідників (див. розділ 3.2.12)

Приклад 1

Кількість пари, що втрачається з конденсатовідвідника, можна оцінити так:

$$L_{t,y} = \frac{1}{150} \times FT_{t,y} \times FS_{t,y} \times CV_{t,y} \times h_{t,y} \times \sqrt{P_{\text{вх},t}^2 - P_{\text{вих},t}^2} \quad \text{Рівняння } \mathbf{7.25}$$

де:

- $L_{t,y}$ = кількість пари, яку втрачає t-ий конденсатовідвідник за період y (тонни)
- $FT_{t,y}$ = експлуатаційний коефіцієнт t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $FS_{t,y}$ = коефіцієнт завантаження t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y

- $CV_{t,y}$ = коефіцієнт витрати t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $h_{t,y}$ = кількість годин роботи t-ого конденсатовідвідника протягом періоду y
- $P_{вх.,t}$ = тиск на вході t-ого конденсатовідвідника (атмосфери)
- $P_{вих.,t}$ = тиск на виході t-ого конденсатовідвідника (атмосфери)

Експлуатаційний коефіцієнт $FT_{t,рік}$ береться з Таблиці 7.11.

	Тип	FT
BT	Продувається	1
LK	Протікає	0,25
RC	Частий цикл	0,20

Таблиця 7.11. Експлуатаційні коефіцієнти для визначення втрат пари у конденсатовідвідниках

У коефіцієнті завантаження враховується взаємодія між парою та конденсатом. Чим більше конденсату протікає через конденсатовідвідник, тим менше в ньому місця для пропускання пари. Кількість конденсату залежить від випадку застосування, як показано у Таблиці 7.12 нижче:

Застосування	Коефіцієнт завантаження
Стандартне технологічне застосування	0,9
Крапельно-супутникові конденсатовідвідники	1,4
Паровий потік (без конденсату)	2,1

Таблиця 7.12. Коефіцієнт завантаження для визначення втрат пари

Нарешті, від розміру трубопроводу також залежить коефіцієнт витрати:

$CV = 3{,}43\ D^2$
де D = радіус отвору (см).

Приклад розрахунку:

- $FT_{t,рік} = 0{,}25$
- $FS_{t,рік} = 0{,}9$, оскільки кількість пари, яка пройшла через конденсатовідвідник, сконденсувалася, але місткості теплообмінника для неї достатньо
- $CV_{t,рік} = 7{,}72$
- D = 1,5 см
- $h_{t,рік}$ = 6000 годин на рік
- $P_{вх,t}$ = 16 атмосфер
- $P_{вих,t}$ = 1 атмосфера

Таким чином, конденсатовідвідник втрачає до 1110 тонн пари на рік.

Якщо це відбувається на підприємстві, де пара коштує 15 євро/тонну, то остаточні втрати складуть: 16 650 євро на рік.

Якщо пара буде не просто протікати, а витікати, витрати можуть зрости до 66 570 євро на рік.

Ці втрати безсумнівно виправдовують впровадження ефективної системи керування та контролю для всіх конденсатовідвідників на підприємстві.

Приклад 2.
Пара на установці коштує 9,92 долара США/1000 кг. Конденсатовідвідник на паропроводі під тиском 10 бар надл. заклинив у відкритому стані. Діаметр отвору конденсатовідвідника – 3 мм. З Таблиці 3.12 у розділі 3.2.12 бачимо, що розрахункова втрата пари складе 34,4 кг/год. Якщо несправний конденсатовідвідник відремонтувати, річні заощадження складуть:

заощадження = 34,4 кг/год. х 8760 год./рік х 9,92 долара США/1000 кг = 2988 доларів США/рік = 3390,45 євро/рік

(1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Повторне використання м'ятої пари (див. розділ 3.2.14)

Приклад 1.
Випускний трубопровід має такі параметри:

- швидкість м'ятої пари: 1,5 м/с
- діаметр випускного трубопроводу: 102 мм
- кількість годин роботи: 8000 год./рік
- ККД котла: 82 %
- вартість палива: 4,265 долара США/ГДж

Конденсатор випару міг би конденсувати м'яту пару, передаючи її теплову енергію вхідній підживлювальній воді, а потім повертати конденсат у котел. Енергія регенерується у двох формах: у вигляді більш гарячої підживлювальної води та у вигляді чистого дистильованого конденсату, готового до використання у роботі установки.

Енергія, яку потенційно можна регенерувати у конденсаторі випару					
Діаметр трубопроводу (мм)	**Кількість енергії, ГДж/рік***				
	Швидкість пари, м/с				
	1	**1,5**	**2**	**2,5**	**3**
50	95	148	195	243	295
102	390	586	781	976	1171
152	881	1319	1757	2200	2638
254	2442	3661	4885	6198	7327
*За припущення, що робота безперервна, температура підживлювальної води – 21 °С, а температура сконденсованої пари – 38 °С					

Таблиця 7.13. Енергія, яку потенційно можна регенерувати у конденсаторі випару, за різних швидкостей пари та діаметрів трубопроводу
Адаптовано з джерела [123, Міністерство енергетики США]

Як випливає з Таблиці 7.15, у випадку 8670 годин роботи на рік кількість енергії, яку потенційно можна регенерувати з м'ятої пари, становить 586 ГДж. Потенційні річні заощадження на вартості палива:

- річна кількість регенерованої енергії = 586 ГДж/рік х 8000 год./рік / 8760 год./рік х 1/0,82 = 652 ГДж
- потенційні річні заощадження на вартості палива = 652 ГДж х 4,265 долара США/ГДж = 2781 долар США = 3155,57 євро (1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

**Зверніть увагу, що річні заощадження палива визначені для одного випускного пристрою. На паровій установці часто може бути кілька таких випускних пристроїв, і сумарні заощадження можуть бути значно більшими. Крім того, потрібно ще врахувати витрати на додатковий теплообмінник, проте з наявної літератури випливає, що цей захід швидко окупиться.

У Таблиці 7.14 наведена кількість м'ятої пари, яку можна отримати шляхом миттєвого розширення фунта конденсату, залежно від тиску конденсату і тиску пари.

Миттєве розширення конденсату високого тиску з перетворенням у м'яту пару				
Конденсат високого тиску (бар надл.)	Відсоток випаруваного конденсату (кг пари/кг конденсату)			
	Пара низького тиску (бар надл.)			
	3,4	**2**	**1**	**0,34**
15	10,4	12,8	15,2	17,3
10	7,8	10,3	12,7	14,9
7	4,6	7,1	9,6	11,8
5	2,5	5,1	7,6	9,9

Таблиця 7.14. Масовий відсоток пари, отриманої з конденсату, залежно від тиску конденсату і тиску пари
Адаптовано з джерела [123, Міністерство енергетики США]

Приклад 2.

На установці, де пара коштує 4,265 долара США/ГДж, виробляється насичена пара під тиском 10 бар надл., і частина цієї пари дроселюється з метою постачання пари під тиском 2 бара надл. Припускаючи, що установка працює безперервно, визначимо річні заощадження завдяки виробництву пари низького тиску шляхом миттєвого розширення конденсату, який перебував під тиском 10 бар надл., з витратою 2268 кг/год. Середня температура підживлювальної води котла – 21 °C.

Згідно з наведеною вище таблицею, якщо конденсат під тиском 10 бар надл. миттєво розширюється до тиску 2 бара надл., 10,3 % конденсату випаровується.

Витрата утвореної пари низького тиску = 2268 кг/год. x 0,103 = 233,6 кг/год.

З Таблиць водяної пари ASME отримаємо такі значення ентальпії:

- для насиченої пари під тиском 2 бар надл. = 2725,8 кДж/кг
- для підживлювальної води з температурою 21 °C = 88,4 кДж/кг

річні заощадження розраховуються у такий спосіб:

- річні заощадження = 233,6 кг/год. x (2725,8 - 88,4) кДж/кг x 8760 год./рік x 4,265 долара США/ГДж = 23 019 доларів США = 26 119,37 євро

(1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

Мінімізація втрат котла внаслідок роботи короткими циклами (див. розділ 3.2.9)

Приклад 1.

Котел потужність 745,7 Вт з ККД циклу 72,7 % (E_1) був замінений котлом потужністю 447,4 Вт з ККД циклу 78,8 % (E_2). Річні заощадження коштів можна розрахувати так:

- заощаджена частка палива = (1 - E_1/E_2) = 1 - 72,7/78,8) x 100 = 7,7 %

Якщо початковий котел споживав 211 000 ГДж палива щороку, заощадження від переходу на менший котел (за вартості палива 2,844 долара США/ГДж) складуть:

- річні заощадження = 211 000 ГДж x 0,077 x 2,844 доларів США/ГДж = 46 200 доларів США = 52 422,56 євро

(1 долар США = 1,1347 євро, курс валют станом на 1 січня 2002 року).

7.10.2 Регенерація відхідного тепла

Кислотне промивання теплообмінників

Заводи, на яких для видобуття глинозему з бокситової сировини застосовується так званий процес Байєра, – також відомі як глиноземні заводи – вилуговують руду їдким натром за високих температур, які можуть досягати 250 °C (як на еталонному італійському глиноземному заводі, який буде описуватися у цьому розділі, та на багатьох інших заводах) або можуть становити лише 140 °C (як на деяких заводах у західній Австралії), залежно від типу бокситу.

Після етапу реакції, або вилуговування, йде етап скидання тиску, на якому розчин поступово проходить кілька ступенів миттєвого випаровування: температура і тиск розчину при цьому знижуються, поки не встановляться атмосферні умови.

М'ята пара, яка утворюється на цьому етапі, регенерується у низці кожухотрубних конденсаторів, де вона конденсується у міжтрубному просторі, а всередині трубок тече розчин їдкого натру, який повертається на етап реакції. Ефективність регенерації м'ятої пари має дуже велике значення для ефективності усього процесу, оскільки чим повніша регенерація, тим менше свіжої пари потрібно подавати у вилуговувачі, і, як наслідок, тим менше мазуту споживається у технологічному процесі.

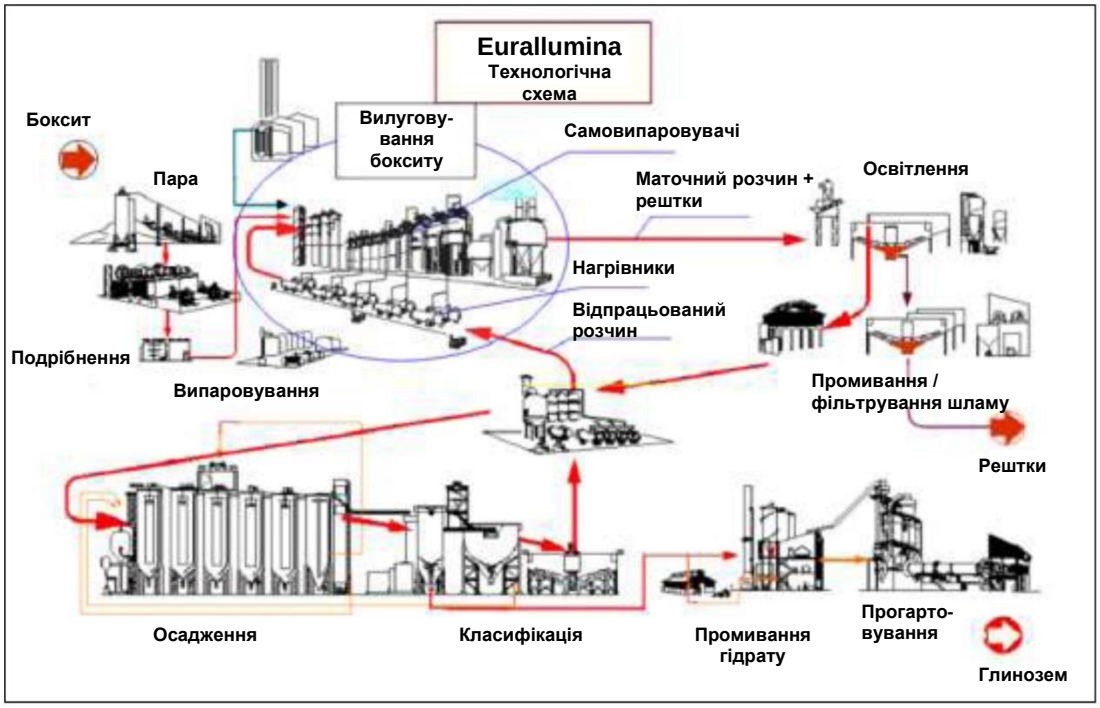


Рисунок 7.14. Технологічна схема глиноземного заводу Eurallumina [48, Теодосі, 2005]

Опис (технології підвищення енергоефективності)
Кожухотрубні нагрівники періодично промиваються кислотою з метою оновлення внутрішньої поверхні їх трубок та відновлення ефективності теплопередачі. У трубках, по суті, відбувається осадження кремнеземного накипу з технологічного розчину, яка стає особливо інтенсивним за високих температур.

Незважаючи на знекремнення, яке зазвичай застосовується на глиноземних заводах, вміст кремнезему у байєрівському розчині залишається таким, що швидкість його осадження може серйозно погіршити регенерацію м'ятої пари та енергоефективність.

Оптимізація частоти регламентного кислотного промивання дає змогу підвищити середній коефіцієнт теплопередачі нагрівників, а отже, знизити споживання мазуту у технологічному процесі.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти (особливо з точки зору покращення енергоефективності)
Робочі цикли нагрівників було зменшено з 15 до 10 днів, а отже, частота регламентного кислотного промивання трубок збільшилася. Ця зміна в експлуатації дала змогу збільшити середній коефіцієнт теплопередачі і покращити регенерацію м'ятої пари. Див. Рисунок 7.15.

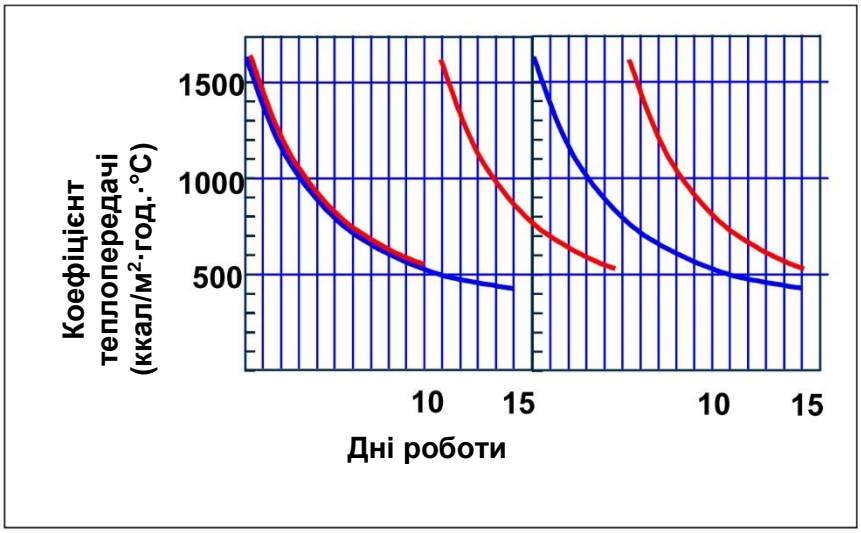


Рисунок 7.15. Робочий цикл нагрівників
[48, Теодосі, 2005]

Міжсередовищні наслідки
Єдиним побічним ефектом від реалізації цієї технології є поява додаткової кількості відпрацьованої кислоти, яку зрештою потрібно утилізувати, внаслідок збільшення частоти кислотного промивання. Проте у випадку глиноземного заводу це не створює жодних проблем для навколишнього середовища, оскільки відпрацьована кислота, що залишається після цієї операції, утилізується разом з рештками технологічного процесу, тобто з відпрацьованим бокситом, який має лужну природу. Змішування цих двох видів решток, по суті, дає змогу нейтралізувати технологічні відходи (так званий червоний шлам), перш ніж викидати їх на шламове поле.

Експлуатаційні параметри
Робота установки характеризується даними про споживання енергії та мазуту, які вже згадувалися. Що стосується викидів, то заощадження мазуту в котлах призводить до відповідного зниження викидів з димової труби котла, яке оцінювалося приблизно у 10 000 тонн CO_2/рік, а також 150 тонн SO_2/рік, до того, як на глиноземному заводі у 2000 році було впроваджено процес знесірчення.

Технологія кислотного промивання трубок потребує допоміжних операцій: підготовки кислотного розчину з рекомендованою концентрацією та додавання належного інгібітору корозії для захисту металевої поверхні. Щоб покращити захист металу від агресивної дії кислоти, яка циркулює всередині трубок, можна скористатися корисним прийомом: омивати міжтрубний простір деякою кількістю холодної води, щоб запобігти неконтрольованому підвищенню температури, якщо такий осередок виникне десь у трубках.

Застосовність
Високотемпературні нагрівники на еталонному глиноземному заводі оснащені трубками з нержавіючої сталі, щоб виключити протікання трубок. Їх вибір був обумовлений тим, що виробництво якісного конденсату, який використовується у якості живильної води котла, має велике значення для безперервності технологічного процесу. Цим також зумовлений вибір довговічних нагрівників (з терміном служби понад 12 років), хоча вони й потребують частого регламентного кислотного промивання.

Економіка
Витрати, пов'язані з новою процедурою, зводяться до невеликих інвестицій у деякі об'єкти, потрібні з огляду на збільшену частоту промивання, а також у роботи, які повинна виконати компанія. Заощадження, яких вдасться досягти у технологічному процесі, будуть випливати зі згаданих заощаджень мазуту та зниження викидів.

Покращення в енергоефективності системи можна оцінити у вигляді зниження витрати мазуту приблизно на 3 кг/тонну алюмінію: відповідно, витрата мазуту у технологічному процесі знизиться на 1,6 %. З урахуванням темпу виробництва глиноземного заводу, який складає приблизно 1 мегатонну глинозему/рік, заощадження дорівнює 3000 тонн мазуту на рік.

Рушій для впровадження
Економічні міркування.

Приклади
Завод Eurallumina, Portovecompany, Італія.

Довідкова інформація
[48, Теодосі, 2005]

Регенерація надлишку тепла на картонній фабриці

Опис (технології підвищення енергоефективності)
Співпраця між муніципалітетами та промисловістю вважається важливим способом підвищення енергоефективності. Хорошим прикладом такої співпраці є Ліндесберг у Швеції – невеликий муніципалітет приблизно з 23 000 мешканців. Картонна фабрика AssiDoman Cartonboard у районі Фрьові (Frövi), Швеція, з 1998 року постачає надлишок тепла у мережу централізованого опалення. Ця мережа експлуатується муніципальною енергокомпанією – Linde Energi AB. Постачене тепло покриває понад 90 % потреби у системі централізованого опалення. Тепло розподіляється по транзитному трубопроводу довжиною 17 км, який складається з подавального та зворотного трубопроводу між картонною фабрикою та містом Ліндесберг.

Картонна фабрика намагається менше забруднювати навколишнє середовище і, як наслідок, за останні кілька десятиріч суттєво скоротила споживання води. Це дало фабриці змогу виробляти надлишок гарячої води з температурою приблизно 75 °C. Перед подаванням тепла у мережу централізованого опалення ця гаряча вода додатково нагрівається до більшої температури в охолоджувачі димових газів – див. Рисунок 7.16.

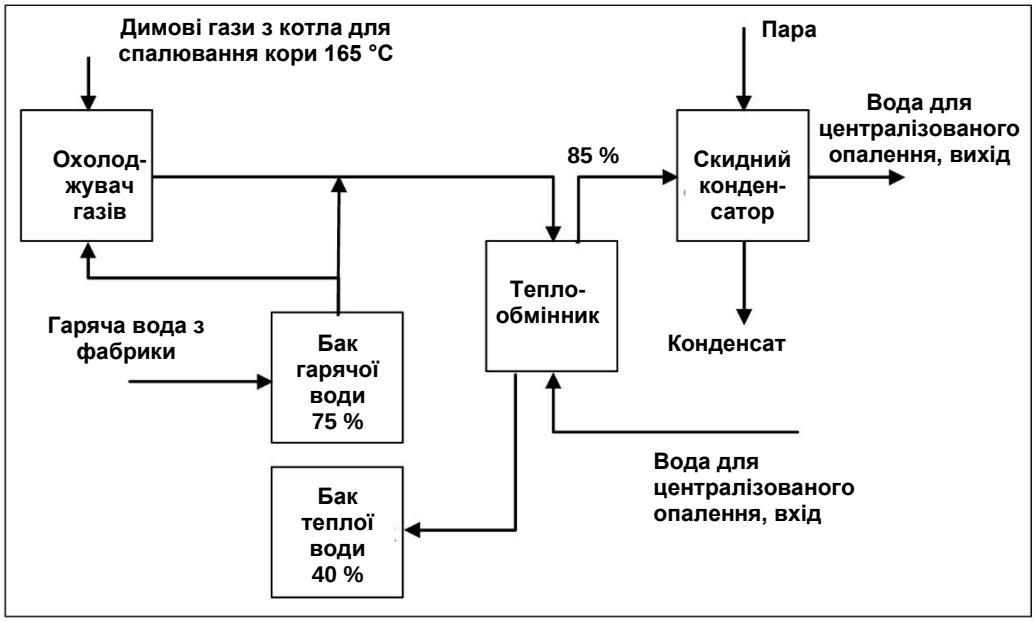


Рисунок 7.16. Система регенерації тепла, під'єднана до системи централізованого опалення [20, Асбланд, 2005]

Таке компонування системи регенерації тепла дає змогу утилізувати надлишок тепла з фабрики, зібраний системою вторинного тепла. Крім того, таким чином використовується тепло вихлопних газів, яке б інакше скидалося у навколишнє середовище. Використання цих джерел тепла, як правило, не змушує фабрику споживати більше палива. Проте за пікових навантажень використовується послідовно увімкнений конденсатор скидної пари, і використання цієї пари збільшує споживання палива на фабриці (головним чином біопалива).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти (особливо з точки зору покращення енергоефективності)
Перш ніж картонна фабрика була під'єднана до системи централізованого опалення, 65 % потреби в теплі задовольнялися за рахунок викопного палива (мазуту та зрідженого нафтового газу), а решта (35 %) – за рахунок теплового насоса з електроприводом, який використовував теплоту підземних вод. На сьогодні тепло, яке постачається з картонної фабрики, покриває понад 90 % потреби у централізованому опаленні. Мазутні котли енергокомпанії Linde Energi AB використовуються лише у найхолодніші періоди зими, тобто приблизно 2 тижні на рік, а тепловий насос виведений з експлуатації.

Порівняно з тим часом, коли фабрика AssiDoman ще не була під'єднана до системи централізованого опалення, споживання викопного палива зменшилося на 4200 тонн зрідженого нафтового газу та 200 м^3 мазуту на рік. Крім того, споживання електроенергії зменшилося на 11 000 МВт·год./рік, оскільки тепловий насос, який використовував теплоту підземних вод, був виведений з експлуатації.

Міжсередовищні наслідки
Окрім очевидних вигод – зменшення споживання викопного палива та електроенергії, – завдяки виведенню з експлуатації теплового насоса у повітря стало викидатися менше речовин, які руйнують озоновий шар.

Експлуатаційні параметри
Даних не надано.

Застосовність
Цей тип співпраці не обмежується промисловістю та муніципалітетами. Така співпраця може бути дуже плідною у технопарку. По суті, це одна з ідей, покладена в основу концепції екологічних технопарків.

Економіка
Загальні інвестиційні витрати склали 15 мільйонів євро. Компанія Linde Energi AB отримала від шведського уряду грант у розмірі 2,3 мільйона євро (15 % загальних інвестицій).

Рушій для впровадження
Рушієм стали як економічні, так і екологічні міркування – як компанії, так і муніципалітету. Крім того, було вибрано правильний момент, коли надлишок тепла на фабриці почав створювати проблеми (ризик теплового забруднення), а тепловий насос у системі централізованого опалення потребував капітального ремонту через те, що стало обов'язковим виведення з ужитку робочих рідин на базі ХФВ.

Приклади
- Södra Cell Varo, місто Варберг;
- нафтопереробний завод Shell, місто Гетеборг;
- Swedish Steel, місто Бурленге;
- SCA, місто Сундсвалль.

Довідкова інформація
[20, Асблад, 2005]

7.10.3 Когенерація

Двигуни внутрішнього згорання (поршневі двигуни)
Приклад: Bindewald Kupfermühle

- борошномельний завод: 100 000 т пшениці та жита/рік;
- солодовий завод: 35 000 т солоду/рік;

Це установка комбінованого виробництва тепла та електроенергії зі стаціонарним поршневим двигуном (заощадження палива у 12,5 млн. кВт·год. порівняно з окремим виробництвом 12 млн. $кВт_{ел.}$·год. та приблизно 26 млн. $кВт_{т}$·год.)

Технічні характеристики:

- паливна потужність: 2 x 2143 $k_{паливо}$ (природний газ)
- електрична потужність: 2 x 700 $кВт_{ел.}$
- теплова потужність: 2 x 1200 $кВт_{т}$
- виробництво електроенергії: близько 10,2 млн. $кВт_{ел.}$/рік
- виробництво тепла: близько 17,5 млн. $кВт_{т}$/рік
- кількість годин під повним навантаженням: 7286 год./рік
- співвідношення електричної та теплової енергії: 0,58.

Експлуатаційні характеристики:

- початок роботи: грудень 1991 року
- ККД:
  - електричний ККД: 33 %
  - термічний ККД: 56 %
  - паливний ККД: 89 %

- обсяг технічного обслуговування:
  - коротке технічне обслуговування через кожну тисячу годин
  - поглиблене технічне обслуговування через кожні 10 000 годин
    - експлуатаційна готовність: близько 90 %
- економічна ефективність:
  - капітальні витрати: 1,2 мільйона євро (включно з периферійним обладнанням):
  - період окупності:
    - статичний: 5 років
    - динамічний: 7 років
- вигода для навколишнього середовища:
  - заощадження палива: 12 000 МВтпаливо·год./рік
  - зниження викидів CO_2: 2 500 т/рік

Довідкова інформація
[64, Лінде, 2005]

7.10.4 Тригенерація

Приклад: Аеропорт Барахас, Мадрид, Іспанія

Будівлі аеропорту Барахас потребують величезних обсягів опалення та охолодження, а площа підлоги у новому аеровокзалі аеропорту становить 760 000 м^2 (76 гектарів). Працюючи за схемою тригенерації, двигуни виробляють електроенергію як базисна електростанція з максимальним повним ККД замість того, щоб простоювати у якості аварійних генераторів, не роблячи внеску в повернення інвестицій.

Першочергове завдання полягало в тому, щоб розробити рентабельну установку комбінованого виробництва тепла та електроенергії, яка втілюватиме у собі передові технології, буде безпечною для довкілля і гарантуватиме надзвичайно високий рівень надійності, якого вимагає цей критичний об'єкт у такому важливому місці.

Рішенням стали шість двопаливних двигунів Wartsila 18V32DF, які спалюють природний газ у якості основного палива та легкий мазут (ЛМ) у якості резервного палива. Проте з огляду на місцеві екологічні обмеження тривалість роботи на легкому мазуті не повинна перевищувати 200 годин на рік.

Тригенераційна установка виробляє 33 МВт чистої електроенергії і під’єднана як до внутрішньої мережі аеропорту, так і до енергомережі загального користування. Установка безперервно постачає електроенергію, а також забезпечує опалення нових аеровокзалів взимку та їх охолодження влітку. У Таблиці 7.15 для установки комбінованого виробництва тепла та електроенергії.

Технічні характеристики	Дані	Одиниці вимірювання
Потужність на клемах генератора	33,0	МВт$_е$
Питома витрата палива у газовому режимі	8497 / 42,4 %	кДж/кВт$_е$·год.
Теплова потужність брутто	24,6	МВт$_т$
Повна теплова потужність	30,9	МВт$_т$
Контур регенерації тепла	Вода, 120/80	°C
Паливний ККД установки комбінованого виробництва тепла та електроенергії	74 %	
Продуктивність абсорбційного чилера	18,0	МВт$_ч$
Загальна продуктивність чилерів	37,4	МВт$_ч$
Контур охолодженої води	6,5/13,5	°C
Штатне паливо	Газ	
Резервне паливо	Легкий мазут	

Резервне охолодження високотемпературного контура	Радіатори	
Резервне охолодження низькотемпературного контура та чилерів	Градирня	

Таблиця 7.15. Технічні характеристики тригенераційної установки аеропорту Барахас

У будівлі електростанції встановлено шість одноступеневих абсорбційних чилерів. Охолоджена вода розподіляється між споживачами у новому аеровокзалі через окрему систему трубопроводів. Абсорбційні чилери з бромідом літію (LiBr) працюють на теплоті, яку вони отримують від контура регенерації тепла з температурою 120 °C, і охолоджуються градирнями.

На установці комбінованого виробництва тепла та електроенергії аеропорту Мадрид-Барахас є мазутний котел для резервного опалення / покриття пікових потреб в опаленні та компресори з електроприводом, які забезпечують резервне охолодження / покриття пікових потреб в охолодженні.

Установка продає надлишок електроенергії в енергомережу і постійно під'єднана до національної мережі. Завдяки своєму високому ступеню резервування електророзподільна система підстраховує установку у випадку будь-яких несправностей і залишається здатною забезпечувати аеропорт електроенергією. У разі зникнення газопостачання двигуни зможуть і далі нести повне навантаження, працюючи на мазуті.

Довідкова інформація
[64, Лінде, 2005]

7.11 Керування потребою

Опис
Говорячи про керування потребою, зазвичай мають на увазі керування потребою в електроенергії. Важливо відрізняти моменти заощадження коштів від заходів із заощадження енергії.

У більшості країн ЄС (та в багатьох інших країнах) існує складна структура цін на електроенергію, у якій ціна залежить від величини пікового споживання, часу відбору потужності з мережі та багатьох інших чинників, таких як можливість прийняття обмеження на кількість електроенергії, яка постачається. Якщо у споживанні електроенергії установкою є піки, це може означати, що частина спожитих одиниць електроенергії буде оплачуватися за підвищеним тарифом, і/або до вартості контракту можуть бути додані штрафи. Ці моменти необхідно контролювати, і, якщо піки вдасться перенести на інший період або згладити, кошти будуть заощаджені. Проте загальна кількість спожитих одиниць енергії при цьому може не зменшитися, і фізична енергоефективність не збільшиться.

Усувати або контролювати піки у потребі можна, наприклад, шляхом:

- перетворення з'єднань з зірки на трикутник у випадку низьких навантажень, використання автоматичних перемикачів з трикутника на зірку, використання пристроїв плавного пуску, тощо у випадку обладнання з великим споживанням потужності, як-от великі двигуни,
- використання систем керування для затримки пуску обладнання – наприклад, на початку робочої зміни (див. Розділ 2.15.2);
- перенесення процесів, які призводять до стрибків споживання енергії, на інший час доби.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Даних не надано.

Міжсередовищні наслідки
Енергію, можливо, не вдасться заощадити.

Експлуатаційні параметри
Ось кілька прикладів великих короткочасних навантажень:

- під час пуску обладнання з великим споживанням потужності, як-от великі двигуни;
- на початку робочої зміни, коли запускається кілька систем, як-от насоси, опалення;
- процеси на зразок термічної обробки з великою потребою в енергії, особливо якщо вони не використовуються постійно.

Великі короткочасні навантаження також можуть призводити до втрат енергії внаслідок спотворення правильної періодичної кривої фаз змінного струму та втрати корисної енергії. Див. «Гармоніки», розділ 3.5.2.

Застосовність
Слід розглядати для всіх установок.

Керування може здійснюватися вручну (наприклад, перенесення процесу на інший час доби), за допомогою простих автоматичних пристроїв керування (як-от таймери), або ж може бути пов'язане зі складнішими системами енергетичного менеджменту та/або керування технологічними процесами (див. розділ 2.15.2)

Економіка
Зайве споживання та піки у споживанні електроенергії призводять до збільшення витрат.

Рушій для впровадження
Зменшення витрат.

Приклади
Широко застосовується.

Довідкова інформація
http://members.rediff/seetech/Motors.htm [183, Бованковіч, 2007]
http://www.mrotoday.com/mro/archives/exclusives/EnergyManagement.htm

7.12 Енергосервісна компанія (ESCO)

Опис
У дискусіях з приводу енергетичних політик часто звертається увага на нерозкритий потенціал для заощаджень енергії. Цей потенціал не вдається реалізувати не стільки через економічні чинники, як через структурні недоліки та відсутність інформації з боку споживачів енергії. Контракти на підвищення енергетичної ефективності (EPC), які укладаються через постачальників енергопослуг, або енергосервісні компанії (ESCO або ESC) можуть допомогти реалізувати заощадження енергії. Проте слід зазначити, що існують й інші варіанти та стимули, які пропонуються третіми сторонами.

Енергосервісна компанія виявляє і оцінює можливості для заощадження енергії, а потім пропонує пакет вдосконалень, який окупиться за рахунок заощаджень. Енергосервісна компанія гарантує, що заощадження будуть дорівнювати або перевищувати річні платежі, необхідні для покриття всіх витрат на реалізацію проєкту – як правило, за середньо- або довготерміновим контрактом, наприклад, на сім-десять років. Якщо заощадження не реалізуються, енергосервісна компанія виплатить різницю.

На важливості енергопослуг наголошує Директива ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги від 5 квітня 2005 року (2006/32/ЕС), у якій енергопослуги визначаються так:

«Енергопослуга – це фізична вигода, енергоносій або товар, отримані за рахунок поєднання енергії з енергоефективною технологією та/або заходом, який може охоплювати експлуатацію, технічне обслуговування та керування, необхідні для надання послуги, яка надається на підставі контракту і за нормальних обставин зарекомендувала себе як таку, що здатна забезпечити покращення в енергоефективності та/або заощадження первинної енергії, які піддаються верифікації та вимірюванню або оцінці».

Постачальник енергопослуг може постачати, наприклад, такі типи енергії, залежно від конкретного завдання:

- теплова енергія (опалення будівель, пара, технологічне тепло, технологічна вода, гаряча вода);
- охолодження (охолоджувальна вода, централізоване охолодження);
- електроенергія (освітлення та електроенергія від когенераційних установок або сонячних батарей);
- повітря (стиснене повітря, вентиляція, кондиціювання повітря).

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Заощадження енергії. Заощадження, які досягаються, є предметом контракту на підвищення енергетичної ефективності (ЕРС).

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Енергосервісна компанія може виконувати такі завдання (у хронологічному порядку):

- визначення потенціалу для заощадження енергії;
- техніко-економічне обґрунтування;
- визначення цілей і підписання угоди про заощадження енергії;
- підготовка проєкту до реалізації;
- керування будівництвом і введення завершеної роботи в експлуатацію;
- оцінка фактично досягнутих екологічних та економічних параметрів.

Застосовність
Широко застосовується у США протягом 10 – 20 років. Набуває все більшого вжитку в ЄС.

Економіка
Основна умова контракту на підвищення енергетичної ефективності (ЕРС), що укладається між підприємством та енергосервісною компанією, полягає у зобов'язанні енергосервісної компанії досягти для підприємства як попередньо визначеного зниження навантаження на навколишнє середовища, так і встановлених контрактом економічних параметрів проєкту. Такі необхідні параметри можуть бути погоджені індивідуально і часто передбачають, зокрема, таке:

- гарантований рівень річних заощаджень коштів на енергії у порівнянні з існуючим станом;
- гарантована окупність інвестицій внаслідок майбутніх заощаджень коштів на енергії та інших фінансових наслідків (у тому числі продажу дозволів на надлишкові викиди, доходу від продажу «білих сертифікатів», заощаджень коштів на сервісному та технічному обслуговуванні);
- гарантований рівень зниження викидів;
- гарантований знижений рівень споживання первинних видів палива;

- інші гарантовані параметри, погоджені між енергосервісною компанією та підприємством.

Рушій для впровадження

Уклавши успішний контракт на підвищення енергетичної ефективності (EPC) з енергосервісною компанією, можна досягти таких цілей, що слугували для нього рушіями:

- надання необхідних професійних навичок для реагування на наступні рушії (див. розділ 2.6);
- метод та правильне виконання енергетичного аудиту;
- запропонована концепція змін, що нададуть більше можливостей, і техніко-економічне обґрунтування;
- вибір оптимально варіанта з урахуванням очікуваного майбутнього розвитку підприємства;
- вибір технологій та процесів для заощаджень енергії з найкращими показниками;
- надання необхідних коштів для встановлення енергоефективних технологій;
- вибір постачальників конкретних компонентів;
- правильність процедур, що використовуються для встановлення енергоефективних технологій;
- досягнення запланованої енергетичної ефективності та економічної ефективності.

Приклади

Заміна несправного компресора у системі стисненого повітря

Компанія А використовує стиснене повітря для сушіння напівфабрикатів. Проте несправний компресор не дозволяє компанії А виробляти їх на повній потужності, і компанія починає не встигати виконувати свої замовлення.

Компанія А вирішує виправити ситуацію шляхом інтеграції у свою виробничу лінію компресора аналогічної потужності, орендованого у постачальника компресорів або іншого постачальника. Після того, як власний компресор компанії А буде відремонтовано, орендований компресор буде повернуто власнику.

У Таблиці 7.16 наведено переваги та недоліки орендування обладнання з точки зору споживача енергії.

Чинники	Переваги	Рівень	Недоліки
Капітальні витрати	Малі за короткий термін		Великі за довгий термін
Рівень експертних знань, яких потребує організація			Порівняно високий
Необхідний рівень кваліфікації персоналу			Порівняно високий
Витрати на технічне обслуговування на ремонт			Порівняно високі
Залежність від зовнішніх постачальників		Помірна	
Витрати на координацію та комунікацію		Помірні	
Надійність енергопостачання	Порівняно висока		
Обсяг гарантій якості	Порівняно широкий	За це несе відповідальність клієнт	
Прозорість витрат	Порівняно висока		
Термін контракту	Короткий		
Стимул заощаджувати енергію			Порівняно низький

Таблиця 7.16. Переваги та недоліки орендування обладнання для систем стисненого повітря

Довідкова інформація
[279, Чехія, 2006, 280, Федеральне агентство Німеччини з охорони навколишнього середовища (UBA DE), 2006]
http://www.esprojects.net/en/energyefficiency/financing/esco
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/ESCO/index.htm

7.12.1 Керування технічними засобами

Коли постачальник енергопослуг (ESCO) надає послуги з керування технічними засобами, він бере на себе відповідальність за експлуатацію, технічне обслуговування та оптимізацію експлуатаційних витрат на конкретний технічний засіб.

Керування технічними засобами зазвичай покращує ефективність керованого засобу, оскільки в більшості випадків потребує менших інвестицій у технології вимірювання та керування. Технічний засіб залишається власністю клієнта – єдина зміна полягає в тому, що технічні послуги доручаються сторонньому виконавцю.

Постачальник енергопослуг стягує плату за окремі послуги або у твердій сумі. Клієнт також може скоротити свої витрати на енергію, зробивши внесок у заощадження енергії, які реалізує постачальник енергопослуг: це стане стимулом до ефективного та економного використання енергії.

Керування технічними засобами найчастіше використовується у тих випадках, коли клієнту потрібно забезпечити безперебійну і повністю надійну оперативну діяльність, проте у нього немає достатньої кількості штатних спеціалістів.

У Таблиці 7.17 наведено переваги та недоліки керування технічними засобами з точки зору споживача енергії.

Чинники	Переваги	Рівень	Недоліки
Капітальні витрати			Високі
Експертні знання, яких потребує організація	Невеликі		
Необхідний рівень кваліфікації персоналу	Низький		
Витрати на технічне обслуговування на ремонт	Низькі		
Залежність від зовнішніх постачальників			Висока
Витрати на координацію та комунікацію		Помірні	
Надійність енергопостачання	Порівняно широка		
Обсяг гарантій якості	Порівняно широкий	За це несе відповідальність клієнт	
Прозорість витрат (стосується лише капітальних витрат, а не витрат на енергію та інших витрат)	Висока		
Термін контракту	Короткий		
Стимул заощаджувати енергію			Порівняно низький

Таблиця 7.17. Переваги та недоліки постачання системи стисненого повітря енергосервісною компанією

Приклад:
Фінансування когенераційної установки
Компанія С (типографія) вирішила збільшити свою виробничу потужність, а для цього необхідно реалізувати нову когенераційну установку. Після того, як компанія С визначиться з рішенням, постачальник енергопослуг (який також є виробником установки) отримує фінансування і здійснює планування та будівництво установки за контрактом на 15 років. Фінансування надається у вигляді платежів за контрактом, які компанія С сплачує постачальнику енергопослуг – виробнику установки.

7.12.2 Послуги кінцевого енергопостачання (також відомі як контракти на установку)

У цьому випадку постачальник енергопослуг планує, фінансує, будує і експлуатує енергоустановку за контрактом, термін якого зазвичай варіюється від п'яти до 20 років. Протягом цього часу установка залишається власністю постачальника енергопослуг. Клієнт укладає з постачальником енергопослуг контракт на енергопослуги, який передбачає, що клієнт купуватиме енергію певної якості за певною ціною. Згідно з цим контрактом клієнт не бере участі у фінансуванні, експлуатації або технічному обслуговуванні установки.

Витрати постачальника енергопослуг враховуються у загальній ціні, яка складається з базової ціни (щомісячної або визначеної інакше) та змінної ціни, яка залежить від споживання, – наприклад, х євро за кубічний метр гарячої води. Така домовленість стимулює клієнта економно використовувати придбані енергопослуги.

Якщо клієнт також користується розподільною мережею постачальника енергопослуг, це має бути враховано у контракті, в якому також повинна бути вказана точка або точки передавання енергії. У цьому випадку постачальник енергопослуг несе безпосередню відповідальність за надання опалюваного приміщення і таким чином може скоротити витрати на кінцевому споживанні енергії, намагаючись знайти максимально ефективні способи постачання кінцевої енергії.

Ця модель енергопослуг добре підходить для нових будівель, енергопослуги для яких потрібно купувати у стороннього виконавця, або для будівель, енергетичні системи яких потребують досконалої модернізації з заміною старого обладнання – наприклад, з постачанням тепла від модернізованих котлових систем. Кінцева енергія постачається приблизно у 90 відсотках усіх контрактів на енергопослуги.

У Таблиці 7.18 наведено переваги та недоліки постачання кінцевої енергії з точки зору споживача енергії.

Коефіцієнт	Переваги	Рівень	Недоліки
Капітальні витрати	Низькі		
Експертні знання, яких потребує компанія	Невеликі		
Необхідний рівень кваліфікації персоналу	Низький		
Витрати на технічне обслуговування на ремонт	Низькі		
Залежність від зовнішніх постачальників		Висока	
Витрати на координацію та комунікацію		Помірні	
Надійність енергопостачання	Висока		
Обсяг гарантій якості	Великий		
Прозорість витрат	Порівняно широка		
Термін контракту			Великий
Стимул заощаджувати енергію	Високий		

Таблиця 7.18. Переваги та недоліки постачання енергії енергосервісною компанією

7.13 Сайт Європейської комісії та Національні плани дій з енергоефективності у країнах-членах ЄС

У Європейської комісії є сайт, присвячений енергоефективності, за адресою:

http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/end use en.htm

Оскільки будь-який перелік політик, дій, інструментів та заходів з підтримки політик швидко стає неактуальним, ця сторінка слугує корисним джерелом і містить розділи та посилання на такі теми:

Законодавство:

- Ефективність використання енергії кінцевими споживачами та енергопослуги.
- Енергоефективність у будівлях.
- Екологічно свідомий дизайн енергоспоживчих продуктів.
- Енергетичне маркування побутових приладів.
- Міжнародний стандарт енергоефективності споживчих товарів Energy Star.
- Комбіноване виробництво тепла та електроенергії (зі звітами країн-членів ЄС).
- Проєкти на етапі обговорення.

Національні плани дій з енергоефективності (NEEAP)
У таблиці доступні файли PDF, у яких викладені всі плани з енергоефективності та/або вказані відповідні контакти у країнах-членах ЄС мовою (мовами) країн-членів ЄС та/або англійською мовою (у деяких випадках на англійську перекладено лише підсумок). (Станом на березень 2008 року був відсутній лише внесок Швеції).

Приклади дій країн-членів ЄС:

- податкові пільги для інвестицій в заощадження енергії;
- екологічні гранти для компенсації витрат на енергоефективні технології;
- підтримка демонстраційних проєктів з енергетичних технологій;
- техніко-економічні обґрунтування;
- енергетичні діагностики;
- сертифікати на когенерацію (блакитні сертифікати);
- регулювання енергетичного планування, коли для кожного екологічного дозволу повинен додаватися енергетичний план або дослідження;

- ковенант про бенчмаркінг, коли галузі беруть на себе формальне зобов'язання (яке підлягає зовнішній перевірці) досягти хороших показників – наприклад, увійти до перших 10 % компаній з найкращою енергоефективністю у світі;
- ковенанти про аудит, коли галузі зобов'язуються провести повний енергетичний аудит і реалізувати всі рентабельні заходи;
- сертифікати про енергозбереження (білі сертифікати) – див. програму EuroWhiteCert нижче.
- угоди щодо енергозбереження.

Ініціативи / Проєкти
На цьому сайті описаний проєкт EuroWhiteCert з посиланнями на найновішу інформацію.

Події
Тут доступна інформація про останні події – наприклад, прес-релізи.

Посилання
Окрім інших посилань, описаних вище, сайт також посилається на проєкт EMEEES, який діє у ЄС і присвячений «Оцінці та моніторингу у рамках Директиви ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергопослуги».

За посиланням «Що нового?» (What's new) перелічені різні опубліковані європейські документи (звіти, часті запитання, тощо), консультації та матеріали засідань.

Натиснувши на кнопку мапи сайта, можна отримати доступ до такої інформації:

- програмні документи;
- законодавство;
- добровільні угоди, зокрема:
  - Програма з підвищення енергоефективності двигунів;
  - Програма екологічного освітлення (GreenLight);
  - Програма екологічного будівництва (Green Building);
- діяльність із популяризації, зокрема:
  - бази даних проєктів;
  - публікації та брошури;
- програми підтримки, зокрема:
  - рамкові програми (FP) науково-дослідної роботи (RTD);
  - програма «Раціональна енергетика – Європа» та попередні програми підтримки, які не стосувалися науково-дослідної роботи;
- міжнародні відносини.

За детальнішою інформацією звертайтеся до Загальної дирекції з енергії та транспорту (TREN): EnergyServices@ec.europa.eu

7.14 Схема торгівлі квотами на викиди (ETS) ЄС

Спираючись на інноваційні механізми, впроваджені у рамках Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату від 1992 року (UNFCCC) – Спільне впровадження, Механізм чистого розвитку та міжнародну торгівлю квотами на викиди, ЄС розробив найбільшу схему торгівлі квотами на викиди вуглекислого газу (CO_2), що діє на рівні компаній, і таким чином став світовим лідером на цьому перспективному ринку.

Схема торгівлі квотами на викиди (ETS) ЄС базується на розумінні того, що встановлення ціни на вуглець шляхом створення ліквідного ринку для зниження викидів – це найбільш економічно ефективний спосіб, у який країни-члени ЄС зможуть виконати свої зобов'язання за Кіотським протоколом і рухатися до низьковуглецевої економіки майбутнього. Завдяки цій схемі ЄС зможе досягти свого цільового показника, встановленого Кіотським протоколом, витрачаючи на це від 2,9 мільярда до 3,7 мільярда євро щороку. Це менш ніж 0,1 % ВВП ЄС. Без цієї схеми витрати на дотримання зобов'язань могли б досягти 6,8 мільярда за рік.

Схема торгівлі квотами на викиди (ETS) була впроваджена за допомогою обов'язкового законодавства, запропонованого Європейською комісією і затвердженого всіма країнами-членами ЄС та Європейським парламентом. Ця схема базується на шести основоположних принципах:

- це система «абсолютного обмеження і торгівлі квотами»;
- вона в першу чергу зосереджується на викидах CO_2 з великих промислових джерел викидів;
- реалізація буде поетапною, з періодичними переглядами та можливостями для поширення на інші гази та сектори;
- періодично визначаються плани розподілу квот на викиди;
- у схемі передбачена потужна база для забезпечення її дотримання;
- ринок діє у межах ЄС, проте відкриває можливості для зниження викидів у решті світу шляхом використання механізмів чистого розвитку (CDM) та спільного впровадження (JI) і передбачає зв'язки з сумісними схемами у третіх країнах (наприклад, у Росії та країнах, що розвиваються).

В основу схеми покладена торгівля квотами на викиди вуглецю як звичайним товаром: одна квота – це право викинути одну тонну CO_2. Європейська комісія затверджує національні плани країн-членів ЄС щодо квот на викиди вуглецю, які дають кожній установці у схемі право на певну кількість квот. Ці рішення оприлюднюються. Підприємства, що базуються на території ЄС, отримують ряд вигод:

- оскільки моніторинг та звітування про викиди стали обов'язковими, компанії створять емісійні бюджети CO_2 та системи керування викидами вуглецю, якщо досі їх не мали;
- оскільки CO_2 матиме ціну, компанії покладатимуться на винахідливість своїх інженерів, намагаючись віднайти економічно ефективні способи зниження викидів, а відтак будуть як удосконалювати існуючі виробничі процеси, так і інвестувати в нові технології;
- внаслідок створення вуглецевого ринку ЄС у Європі з'являється цілий спектр нових напрямків діяльності: продавці квот на викиди вуглецю, фахівці з вуглецевого фінансування, фахівці з керування викидами вуглецю, аудитори та перевіряльники рівнів вуглецю. На ринку з'являються нові фінансові продукти, як-от вуглецеві фонди.

Що підпадає під дію схеми?
Хоча торгівля квотами на викиди потенційно може охоплювати всі сектори економіки та всі парникові гази, які регламентуються Кіотським протоколом (CO_2, метан, оксиди азоту, гідрофторвуглеці, перфторвуглеці та гексафторид сірки), обсяг Схеми торгівлі квотами на викиди (ETS) на початковому етапі її реалізації буде умисно обмежений до тих пір, поки не буде накопичено досвід у торгівлі викидами.

Тому у перший період торгівлі викидами – з 2005 по 2007 рік – Схема торгівлі квотами на викиди (ETS) охоплювала лише викиди CO_2 з великих джерел викидів у енергетиці та в галузі генерування тепла, а також у вибраних енергоємних секторах промисловості: спалювальні установки, нафтопереробні заводи, коксові печі, металургійні заводи та заводи з виробництва цементу, скла, вапна, цегли, кераміки, целюлози та паперу. Схема буде поширюватися на ті заводи у вказаних секторах, розмір яких перевищує порогове значення, що визначається за виробничою потужністю або виходом продукції.

Проте навіть з цим обмеженим обсягом схема охопить понад 12 000 установок у 27 країнах-членах ЄС, на які припадає понад 45 % загальних викидів CO_2 Європейського Союзу або приблизно 30 % його загальних викидів парникових газів.

Яку вигоду торгівля квотами на викиди принесе компаніям та довкіллю?
Нехай компанії А та В теоретично викидають по 100 000 тонн CO_2 на рік. Національні плани розподілу квот, прийняті урядами їх країн, надають кожній із них квоти на викиди у розмірі 95 000 тонн, тож компаніям потрібно врегулювати 5000 тонн, на які в них немає квоти. У них є вибір: зменшити свої викиди на 5000 тонн, придбати 5000 квот на ринку або вибрати проміжний варіант. Перш ніж вибрати варіант, за яким вони будуть діяти, вони порівнюють вартість кожного варіанту.

Ціна квоти на ринку на цей момент становить 10 євро за тонну CO_2. Компанія А розрахувала, що скорочення викидів обійдеться їй у 5 євро за тонну, тому вона вирішує вибрати цей варіант, оскільки це дешевше, ніж купувати необхідні квоти. Більше того: компанія А вирішує скористатися можливістю і знизити свої викиди не на 5000 тонн, а на 10 000 тонн, щоб протягом наступних кількох років у неї гарантовано не виникало проблем з дотриманням граничного рівня викидів.

У компанії В інша ситуація. Зниження викидів обійдеться їй у 15 євро за тонну, тобто дорожче ринкової ціни, тому вона вирішує не знижувати викиди, а придбати квоти.

Компанія А витрачає 50 000 євро на скорочення своїх викидів на 10 000 тонн за ціною 5 євро за тонну, зате потім отримує 50 000 євро від продажі 5000 квот, які їй більше не потрібні, за ринковою ціною у 10 євро за квоту. Це означає, що вона повністю компенсує свої витрати на зниження викидів за рахунок продажу квот, у той час як без схеми торгівлі квотами на викиди її чисті витрати на зниження викидів становили б 25 000 євро (за умови, що вона скорочує викиди лише на необхідні 5000 тонн).

Компанія В витрачає 50 000 євро на купівлю 5000 квот за ціною 10 євро за квоту. Без гнучкості, яку забезпечує Схема торгівлі квотами на викиди (ETS), зниження викидів на 5000 тонн обійшлося б їй у 75 000 євро.

Таким чином, завдяки торгівлі квотами на викиди компанії у цьому прикладі в сумі заощадили 50 000 євро. Оскільки компанія А вирішила знизити свої викиди (оскільки в її випадку це дешевше), квоти, які придбає компанія В, будуть відображати реальне зниження викидів, навіть якщо компанія В не знизить свої власні викиди.

Довідкова література

«Торгівля квотами на викиди у ЄС: відкрита схема, яка сприяє глобальним інноваціям, для боротьби зі зміною клімату» (EU Emissions trading: An Open Scheme Promoting Global Innovation to Combat Climate Change), 2004, ISBN 92-894-8326-1, доступно за адресою: http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/emission trading3 en.pdf

7.15 Оптимізація транспортних систем

Залежно від сектору промисловості, на транспорт може припадати велика частка енергії, що споживається у компанії. Споживання енергії транспортом, що належить компанії, можна скоротити за допомогою належного «управління транспортом», яке входить до складу загальної системи управління, що діє в компанії.

Також існують системи транспортування в межах об’єкта, як-от трубопроводи, пневматичне транспортування порошків, конвеєри, вилкові автонавантажувачі, тощо. Однак для цього документа не було надано даних про ці системи.

Вибір найбільш екологічної транспортної системи залежить від типу продукту. Широкого вжитку набув автомобільний транспорт, проте для транспортування безтарних матеріалів використовується як залізничний, так і морський транспорт, а для транспортування рідин та газів використовуються трубопроводи.

7.15.1 Енергетичний аудит для транспортних ланцюжків

Шляхом інтенсифікації роботи своїх транспортних ланцюжків компанія може вдосконалити логістику своїх перевезень і зменшити витрати на транспортування, споживання енергії та викиди вуглекислого газу. Процедура енергетичного аудиту для транспортних ланцюжків – це інструмент, який дає змогу визначити заходи з підвищення ефективності і виявити потенційні можливості для заощаджень.

Процедура енергетичного аудиту для транспортних ланцюжків націлена на:

- покращення економічної ефективності;
- скорочення споживання енергії та викидів CO_2.

Зміст енергетичного аудиту:

- усі фактично наявні та потенційні види транспорту;
- логістика, зокрема:

  - пакування – наприклад, його можна змінити, щоб у вантажну одиницю поміщалося більше продукту: завдяки цьому транспорт буде використовуватися більш ефективно, і транспортні засоби будуть виконувати менше перевезень;
  - навантаження;
  - зберігання та вантажні операції;
  - розмір та форма транспортних засобів, що використовуються;
- персонал, який займається перевезеннями.

Переваги енергетичного аудиту:

- зменшення витрат завдяки більшій ефективності транспортування та енергозбереженню;
- індивідуалізація та поетапна реалізація областей розвитку;
- поширення знань про належні практики виконання робіт у транспортних ланцюжках.

Приклади наведені у розділах 7.15.2 та 7.15.3
[272, Фінляндія, 2007]

7.15.2 Енергетичний менеджмент для автомобільного транспорту

Опис технології підвищення енергоефективності
Щоб керувати енергоефективністю транспорту, досягти довготермінових покращень у споживанні палива, успішно здійснювати моніторинг, встановлювати цільові показники та вимірювати покращення від впровадження будь-якої ініціативи, необхідно збирати та аналізувати дані.

Програма керування витратою палива обов'язково повинна містити такі чотири кроки:

- налагодити систему збору даних;
- переконатися, що зібрані дані точні;
- очистити дані;
- проаналізувати та інтерпретувати дані.

Основні варіанти збору даних такі:

- збирати дані вручну і вносити за ключами в електронну таблицю або базу даних;
- збирати дані з паливних насосів і завантажувати за допомогою електронних засобів в електронну таблицю або базу даних на комп'ютері;
- використовувати паливні карти і користуватися їх системами звітування або ж завантажувати їх за допомогою електронних засобів в електронну таблицю або базу даних на комп'ютері;
- відстежувати кількість палива, яке фактично проходить крізь двигун транспортного засобу, за допомогою бортового пристрою. Багато сучасних вантажівок, обладнаних двигунами з електронним керуванням, можна замовити з додатковою бортовою інформаційною системою, яка може збирати ці дані;
- встановити окремий витратомір палива і під'єднати його до власного бортового комп'ютера для реєстрації витрати палива.

Останні два варіанти у маркованому списку вище, пов'язані з належними методами завантаження та комп'ютерним програмним забезпеченням, дають змогу отримати дані хорошої якості про роботу окремого автомобіля та його водія, і їх додатковою перевагою є те, що вони вимірюють ту кількість палива, яка фактично потрапляє у двигун, а не ту, яка була витрачена з паливного бака. Проте у цього підходу все ж є обмеження. За його допомогою не можна контролювати наливне паливо, тобто звіряти постачену та витрачену кількість палива.

Крім того, він витратний, оскільки систему вимірювання витрати палива потрібно дублювати в кожному автомобілі замість того, щоб використовувати єдину систему, яка буде стежити за всім парком. Тому бортові пристрої може бути необхідно розглядати не як заміну базової насосної системи, а як доповнення до неї.

Важливо зберігати необроблені дані (тобто кількість палива та пройдену відстань), щоб уникнути помилок при усередненні показників витрати палива. Інакше кажучи, при усередненні витрати палива за будь-який період потрібно використовувати сумарні відстані та об'єми.

Чинники, які впливають на витрату палива

- одним із найвагоміших чинників, від яких залежить споживання палива, є, звісно, сам автомобіль (виконання / модель, технічні характеристики, вік автомобіля, стан автомобіля, особливості експлуатації, обладнання та продукти, які в ньому використовуються, як-от мастила, аеродинамічні характеристики тощо);
- водій автомобіля вважається найвагомішим окремих чинником, який впливає на витрату палива. Питання, пов'язані з водієм, починаються з його найму та вибору і охоплюють навчання, мотивацію та залучення;
- вантаж, звісно, теж впливає на споживання палива автомобілем. Головним чинником є повна вага, оскільки вона часто змінюється під час поїздки у міру того, як автомобіль розвозить вантажі;
- велике значення має оптимізація розміру, форми та завантаження тари, у якій міститься продукція;
- погода також впливає на витрату палива. Про це слід пам'ятати, порівнюючи дані, зібрані за різних погодних умов. Вітер, дощ, сльота, сніг, тощо – усі ці умови можуть суттєво впливати на роботу автомобіля;
- тип дороги також позначається на витраті палива: на вузьких звивистих дорогах витрата палива буде більшою, ніж на прямих проїзних частинах з двостороннім рухом. Повільна та складна їзда по горбистій місцевості погіршить споживання палива навіть у найкращих автомобілях.
- заправлене паливо. Двома основними властивостями палива є вміст енергії в паливі, який дуже залежить від густини палива, і те, наскільки легко воно загоряється.

Моніторинг

У моніторингу є п'ять основних складових:

1. Регулярно вимірювати витрату: ця діяльність, як правило, передбачає регулярне ведення записів (бажано щотижневих) про витрату палива кожним автомобілем.

2. Зіставляти витрату палива з виходом потужності: відстань, пройдена автомобілем, зазвичай пов'язана зі спожитою кількістю палива (наприклад, км/літр), проте цю залежність можна уточнити. До інших мір належить кількість палива на тоннокілометр (тобто кількість палива, витрачена на перевезення однієї тонни корисного вантажу на відстань в один кілометр).

3. Визначення поточних стандартів: полягає у тому, щоб проаналізувати цифри витрати палива для подібних автомобілів, які виконують подібну роботу, за репрезентативний період часу. У результаті потрібно отримати приблизну стандартну витрату палива для кожного автомобіля. Це буде не «ефективний» стандарт, а радше базисне значення або фактична цифра.

4. Повідомляти відповідальних осіб про робочі показники: дані про витрату палива слід регулярно повідомляти особам, які певним чином впливають на витрату палива. До них зазвичай належать водії, інженери і керівництво середньої та верхньої ланки.

5. Вживати заходів для зниження витрати палива: при виконанні систематичного аналізу споживання палива часто з'являються ідеї, як скоротити його витрату. Порівнюючи паливні ККД різних автомобілів, з великою ймовірністю можна виявити відхилення від норми у їх роботі. Визначення причин цих відхилень дає змогу відрізнити вдалі робочі практики від невдалих і вжити заходів для усунення недоліків у роботі.

Оптимізуючи у такий спосіб робочі практики і технічне обслуговування автомобіля часто можна заощадити, навіть не впроваджуючи спеціальні заходи з заощадження палива.

Для планування та реалізації заходів із заощадження енергії вкрай важливо мати інформацію про паливо за минулі періоди. Інформація про паливо для кожного автомобіля зберігається у вигляді необроблених даних протягом усього терміну його служби – подібно до того, як зберігаються записи про його обслуговування.

Звітування
Для керування витратою палива корисні такі стандартні звіти:

- звіряння запасу палива в наливних цистернах;
- споживання палива для окремого автомобіля та водія;
- звіти про виняткові випадки.

Показники автомобілів, у свою чергу, можна згрупувати за типами, як-от:

- зчленований / кузовний;
- повна вага автомобіля;
- виробник / модель;
- вік;
- виконана робота.

Показники для водіїв також можна групувати за такими категоріями, як зміна, тип роботи та наявність / відсутність підготовки. Типова періодичність вимірювання – щотижня, щомісяця та з початку року по поточний день.

Дані корисно порівнювати:

- з цільовими показниками;
- з даними за попередні період(и) для аналізу динаміки;
- з даними за той же період попереднього року;
- з іншими автопарками, враховуючи регіональні та експлуатаційні відмінності;
- з аналогічними транспортними засобами;
- з середніми галузевими значеннями – взятими, наприклад, зі звітів про дорожні випробування або з опублікованих таблиць витрат.

Ці дані використовуються принаймні такими особами:

- вище керівництво (стислий огляд, підсумки та звіти про виняткові випадки);
- керівник з перевезень (ініціативи з заощадження палива, дослідження специфіки та виконання окремих аналізів робочих показників);
- інструктор водіїв (для планування програми навчання з урахуванням палива та організації обговорень з водіями, яким потрібно самим розпочати моніторинг власних показників);
- інженерний та ремонтний персонал (для моніторингу та аналізу показників палива).

Існує багато сфер керування паливом, у яких можна встановити ключові показники ефективності та цільові показники. Це найлегше зробити, якщо вимірювання виконується напряму і не залежить від надто великої кількості зовнішніх чинників. Прикладом є втрати палива з наливних цистерн, які можна вимірювати щотижня з метою розслідування та усунення всіх виявлених втрат, які перевищують цільовий показник.

Складніші заходи застосовуються у системі моніторингу робочих показників автомобіля. Найпростіший спосіб – це просто взяти поточний показник і націлитися на його покращення. Однак при цьому не враховується те, чого можна досягти, а лише те, чого фактично було досягнуто.

Якщо маршрути, вантажі, тощо однакові, можна встановити цільові показники за маршрутами, використовуючи показники свого найкращого водія як ціль для всіх інших, хоча таким чином, звісно не вдасться врахувати сезонні та інші подібні зовнішні чинники, тому такі дані потрібно тлумачити дуже обережно.

Дещо складніший підхід – використовувати у якості показника енергоємність. Для вантажного транспорту вона визначається як витрачена кількість палива / (тонни перевезеного вантажу х пройдена відстань) і зазвичай вимірюється в літрах на тоннокілометр.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти
Зниження витрати палива напряму пов'язане з впливом на навколишнє середовище. Зниження витрати – це не лише заощадження коштів, а й менше утворених тонн CO_2.

Міжсередовищні наслідки
Не повідомлялося.

Експлуатаційні параметри
Водіння з ощадливою витратою палива може покращувати безпеку, а також створювати сприятливі умови роботи для трансмісії, гальм та шин автомобіля. Таким чином, зменшаться витрати, пов'язані з ДТП, технічним обслуговуванням, ремонтом та простоюванням.

Деякі оператори навіть використовують скорочення споживання палива як комерційний інструмент для демонстрації свого внеску в збереження навколишнього середовища.

Хороша програма керування паливом повинна передбачати активну взаємодію водіїв з керівництвом. Якщо це добре організувати, можна отримати додаткові вигоди, оскільки у такий спосіб можна досягти кращого розуміння і подолати деякі бар'єри. Деякі організації використовують ефективне використання палива як засіб зміни культури водіння.

Застосовність
Цю технологію керування паливом можна застосовувати в галузях, у яких є автомобільні парки.

Економіка
Ціна на сиру нафту у поєднанні з акцизом на паливо призвела до того, що паливо загалом стало експлуатаційною витратою, яка швидко зростає. Це означає, що належне керування витратою палива зараз може принести ще більші прибутки у майбутньому.

Щоб заощадити паливо, неминуче доведеться витратити час, зусилля або кошти – часто всі три одночасно. Фінансові витрати на такі речі, як обладнання для моніторингу палива або кращі транспортні засоби, легко кількісно виразити, проте не слід забувати про приховані витрати, як-от інвестиції у керування, канцелярську роботу та робочий час, які може бути важче визначити.

Рушій для впровадження

Заощадження коштів: не всі заходи з енергозбереження однаково рентабельні. Різні заходи оптимальні для різних типів роботи. Проте для скорочення витрати палива важливо діяти систематично, а не впроваджувати нові практики по одній. Споживання енергії транспортом зручно внести в загальну систему / структуру енергетичного менеджменту.

7.15.3 Удосконалення упаковки для оптимізації використання транспорту

Приклад заводу

- компанія: VICO SA, знаходиться у муніципалітеті Вік-сюр-Ен (Франція)
- діяльність: виробництво картопляних чіпсів та іншої картопляної продукції
- кількість: 32 000 тонн на рік
- оборот: 114,4 мільйона євро/рік

Для розвезення продукції в 2500 точок продажу у Франції вантажівки компанії VICO SA повинні були робити 9000 рейсів на рік. Продукція була упакована і укладена на піддони висотою 1,8 метра. Таким чином, стандартна вантажівка (висотою 2,8 метра) містила 38 піддонів (в один шар), а коефіцієнт заповнення не повинен був перевищувати 70 %. За результатами техніко-економічного обґрунтування упаковка продукції була змінена таким чином, щоб її можна було укладати на піддони висотою 1,4 метра і завантажувати у два шари. Завдяки цьому кількість рейсів вантажівок зменшилася на 10 %, а пробіг – на 20 %.

- необхідні інвестиції: 76 224 євро
- період окупності: 1,5 місяця
- період випробування: 3 місяці
- початкова витрата: 686 030 л/рік бензину (дизельного палива)
- витрата після впровадження нової упаковки: 536 875 л/рік бензину
- витрата бензину (дизельного палива) зменшилася на 22 %
- зменшення опосередкованих витрат компанії (транспорт у цій компанії є зовнішнім видом діяльності): 610 000 євро за рік.

Довідкова інформація

Настанова Французького агентства з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME) з найкращих енергоефективних практик у промисловості (№ 3745)

[94, ADEME, 2005], [103, Програма найкращих практик, 1996]

7.16 Структура енергетики Європи

Електроенергія

Виробництво 1 ГДж електроенергії у країнах ЄС-25 у середньому пов'язане з таким споживанням палива та викидами:

Електроенергія	ГДж	1
Первинна енергія	**ГДж**	**#2,6**
Мазут	**кг**	**9,01**
Газ	**м³**	**6,92**
Вугілля	**кг**	**15,7**
Буре вугілля	**кг**	**34,6**
SO_2	**кг**	**0,10**
CO_2	**кг**	***147**
NO_2	**кг**	**0,16**

Європейський баланс*	
Мазут	4,1 %
Газ	19,0 %
Кам'яне вугілля	13,1 %
Сире буре вугілля	23,8 %
Усього вугілля	*36,9 %*
Ядерне паливо	30,9 %

Розрахунок інституту енергетичних та екологічних досліджень (IFEU)		Мазут	Електроенергія від спалювання мазуту	Природний газ	Електроенергія з газу	Кам'яне вугілля	Електроенергія з вугілля	Буре вугілля	Електроенергія з бурого вугілля	Ядерна енергія
Поточне значення	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00	1,00E+00
Первинна енергія	ГДж	3,69E+00		2,90E+00		2,38E+00		2,82E+00		3,35E+00
Мазут	кг	9,22E+01	7,88E+01							4,19E-01
Газ	$м^3$			7,14E+01	5,33E+01					3,74E-01
Вугілля	кг					8,48E+01	8,19E+01			3,03E+00
Буре вугілля	кг							3,19E+02	3,12E+02	
SO_2	кг	6,44E-02	2,43E-01	3,24E-03	2,88E-03	5,05E-02	1,48E-01	3,73E-03	2,22E-01	3,22E-02
CO_2	кг	1,26E+01	2,47E+02	1,46E+01	1,32E+02	1,06E+01	2,17E+02	7,84E+00	3,16E+02	6,27E+00
NO_2	кг	3,46E-02	3,68E-01	7,79E-02	1,51E-01	4,11E-02	1,10E-01	6,30E-03	6,14E-01	1,43E-02
Ці середні коефіцієнти викидів, якими супроводжується виробництво електроенергії, взяті з бази даних ECOINVENT за 1994 рік. # Дані з редакції Рамкової директиви про відходи (WFD). * Дані, отримані від MEA для країн ЄС-25 за 2004 рік										

Таблиця 7.19. Середні коефіцієнти викидів, якими супроводжується виробництво електроенергії

Пара

Виробництво пари з енергетичною цінністю 1 ГДж в Європі у середньому пов'язане з таким споживанням палива та викидами:

Пара	**ГДж**	**1**
Первинна енергія	**ГДж**	**1,32**
Мазут	**кг**	**12,96**
Газ	**$м^3$**	**10,46**
Вугілля	**кг**	**14,22**
SO_2	**кг**	**0,54**
CO_2	**кг**	**97,20**
NO_2	**кг**	**0,18**

Європейський баланс (розрахунковий баланс)	
Мазут	40,0 %
Газ	30,0 %
Кам'яне вугілля	30,0 %

		Мазут	**Тепло від спалювання мазуту**	**Природний газ**	**Тепло від газу**	**Кам'яне вугілля**	**Теплота від вугілля**
Теплота	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первинна енергія	ГДж	1,29E+00		1,41E+00		1,28E+00	
Мазут	кг	3,24E+01	2,75E+01				
Газ	$м^3$			3,49E+01	2,81E+01		
Вугілля	кг					4,74E+01	4,14E+01
SO_2	кг	4,01E-02	9,95E-01	1,61E-02	5,75E-04	4,76E-02	3,70E-01
CO_2	кг	6.51E+00	9,22E+01	7,16E+00	6,48E+01	5,82E+00	1,15E+02
NO_2	кг	1,77E-02	1,78E-01	3,47E-02	4,47E-02	3,77E-02	2,17E-01
ECOINVENT		**Мазут**	**Тепло від спалювання мазуту**	**Природний газ**	**Тепло від газу**	**Кам'яне вугілля**	**Теплота від вугілля**
Теплота	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первинна енергія	ГДж	1,22E+00		1,43E+00		1,36E+00	
Мазут	кг	3,06E+01	2,60E+01				
Газ	$м^3$			3,53E+01	3,00E+01		
Вугілля	кг					5,21E+01	4,17E+01
SO_2	кг	1,59E-02	1,41E+00	3,06E-02	6,47E-04	6,98E-02	6,29E-01
CO_2	кг	4,24E-01	9,16E+01	7,29E+00	6,47E+01	6,36E+00	1,16E+02
NO_2	кг	8,24E-04	1,88E-01	3,18E-02	2,35E-02	5,50E-02	2.50E-01
GEMIS		**Мазут**	**Тепло від спалювання мазуту**	**Природний газ**	**Тепло від газу**	**Кам'яне вугілля**	**Теплота від вугілля**
Теплота	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первинна енергія	ГДж	1,35E+00		1,39E+00		1.20E+00	
Мазут	кг	3,42E+01	2,89E+01				
Газ	$м^3$			3,44E+01	2,63E+01		
Вугілля	кг					4,27E+01	4,12E+01

SO_2	кг	6,44E-02	5,78E-01	1,52E-03	5,03E-04	2,54E-02	1,11E-01
CO_2	кг	1,26E+01	9,27E+01	7,02E+00	6,49E+01	5,28E+00	1,13E+02
NO_2	кг	3,46E-02	1,69E-01	3,76E-02	6,59E-02	2,05E-02	1,83E-01
Ці середні коефіцієнти викидів для виробництва пари отримані шляхом усереднення даних з баз даних ECOINVENT та GEMIS.							

Таблиця 7.20. Середні коефіцієнти викидів для виробництва пари

7.17 Компенсація коефіцієнта потужності

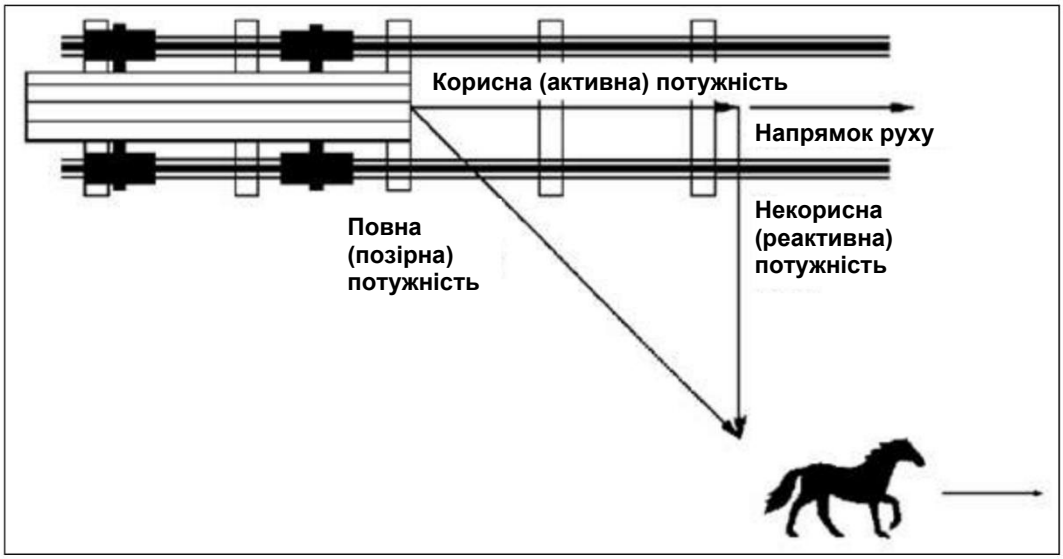


Рисунок 7.17. Пояснення реактивної та повної потужності [123, Міністерство енергетики США]

Щоб зрозуміти, що таке коефіцієнт потужності, уявімо коня, який тягне залізничний вагон по колії. Оскільки шпали нерівні, коню доводиться тягнути вагон, ідучи збоку від колії. Таким чином, кінь тягне вагон під кутом до напрямку руху вагона. Потужність, яку потрібно прикладати, щоб вагон рухався по колії, – це корисна потужність (активна потужність або потужність нетто). Зусилля, яке прикладає кінь, – це повна (позірна) потужність. Оскільки кінь тягне вагон під кутом, не все зусилля, яке прикладає кінь, витрачається на рух вагона по колії. Вагон не може рухатися вбік, тому зусилля, з яким кінь тягне вагон вбік, – це непродуктивне зусилля, або некорисна (реактивна) потужність.

Кут, під яким кінь тягне вагон, пов'язаний з коефіцієнтом потужності, який визначається як відношення активної потужності (корисної потужності, або потужності нетто) до повної (позірної) потужності. Якщо кінь підійде ближче до центру колії, кут, під яким він тягне вагон, буде менше відхилятися вбік, і активна потужність наблизиться до значення повної потужності. Таким чином, відношення активної потужності до повної потужності (коефіцієнт потужності) прямує до 1. Якщо коефіцієнт потужності прямує до 1, реактивна (некорисна) потужність прямує до 0.

Довідкова інформація
Міністерство енергетики США: Програма з підвищення енергоефективності двигунів. Інформаційний бюлетень: підвищення енергоефективності двигунів: зниження вартості коефіцієнта потужності (Fact sheet: Reducing Power Factor Cost)
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/mc60405.pdf