

ПОСІБНИК ІЗ ЕНЕРГОАУДИТУ

Консультування підприємств
щодо енергоефективності



Видавець

Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Місце знаходження видавця:

м. Бонн та м. Ешборн, Німеччина

Проект

«Консультавання підприємств
щодо енергоефективності»

Редакція:

Проект «Консультавання підприємств
щодо енергоефективності»

вул. Антоновича 16-Б,
01004, Київ, Україна

Т. +38 044 594 07 60

<https://www.giz.de/ukraine-ua>

Текст:

Пер Шубак

Детлеф Борст

Артем Саф'янц

Анатолій Чернявський

Концепція:

Штефан Ландауер

Дизайн таблиць та рисунків

Дмитро Родик

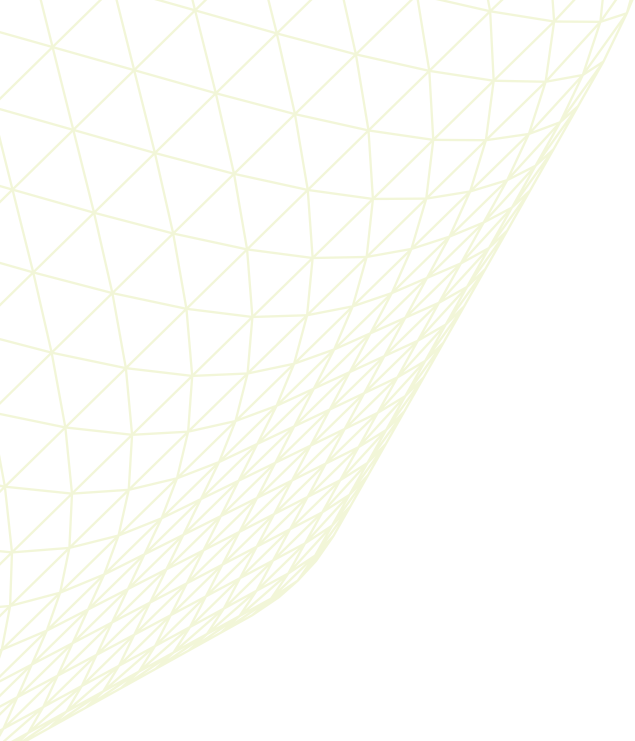
Верстка

Вадим Шевчук

На замовлення Федерального міністерства
економічного співробітництва та розвитку
Німеччини (BMZ)

GIZ несе відповідальність за зміст цієї публікації

© 2020

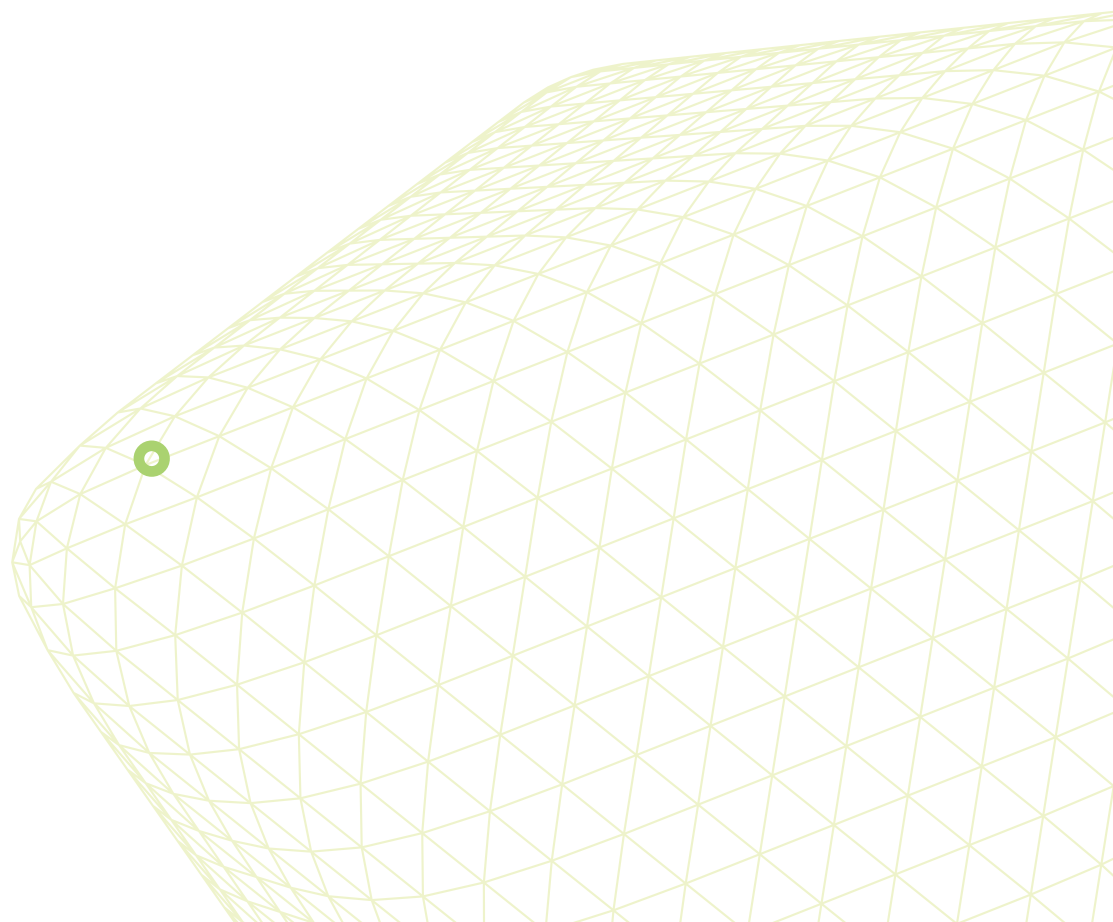


ПОСІБНИК З ЕНЕРГОАУДИТУ

*Консультування підприємств
щодо енергоефективності*



Київ, 2020



Зміст

ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ	6	3.6.5. Аналіз рахунків	37
ПЕРЕЛІК РИСУНКІВ	7	3.6.5.1. Рахунки за електроенергію та газ	37
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9	3.6.5.2. Рахунки за тверде або рідке паливо	39
ВСТУПНЕ СЛОВО	10	3.6.6. Бенчмарк-аналіз	39
1. ПРО ПОСІБНИК	13	3.7. Представлення звіту за результатами енергоаудиту	40
2. ПРОМИСЛОВИЙ ЕНЕРГОАУДИТ	14	3.8. Заключна нарада	40
2.1. Визначення енергетичного аудиту	14	3.8.1. Розробка плану дій	40
2.2. Цілі енергоаудиту	14	3.8.2. Реалізація плану дій	43
2.3. Типи енергоаудитів	15	4. СТАНДАРТ ISO 50002:2014. АУДИТ ІНВЕСТИЦІЙНОГО КЛАСУ ТА КОМПЛЕКСНИЙ ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ (ТИП 3)	44
2.4. Послідовність дій у межах енергоаудиту	18	4.1. Аудит інвестиційного класу	44
3. ПРОЦЕС ЕНЕРГОАУДИТУ	18	4.2. Визначення показників енергоефективності (ПЕЕ)	45
3.1. Планування	20	4.3. Нормалізація ПЕЕ	45
3.1.1. Обсяг аудиту	20	4.4. Встановлення базового рівня енергоспоживання	47
3.1.2. Межі аудиту	21	4.5. Пропозиція щодо вдосконалення	47
3.1.3. Ціль/цілі аудиту	21	4.6. Розрахунок інвестиційних витрат	49
3.1.4. Збір даних перед відвідуванням об'єкта	21	4.7. Витрати на експлуатацію та обслуговування	50
3.1.5. Інші домовленості на етапі планування	21	4.8. Можливості щодо фінансування	50
3.2. Попередня нарада	22	4.9. Реалізація/план дій	50
3.3. Збір даних	22	4.10. Тендерна документація	51
3.3.1. Попередній аналіз	22	5. ПІДГОТОВКА БАНКІВСЬКОЇ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	52
3.4. Планування вимірювань	23	5.1. Огляд методів фінансового аналізу	52
3.5. Проведення огляду об'єкта	23	5.1.1. Методи статичних, або недисконтованих грошових потоків	52
3.6. Аналізування даних	23	5.1.2. Методи динамічних або дисконтованих грошових потоків	52
3.6.1. Аналіз розподілу енергетичних потоків	23	5.2. Модель фінансування	53
3.6.2. Аналіз даних щодо попереднього споживання (історичний аналіз)	26	5.2.1. Акціонерне фінансування	53
3.6.3. Аналіз енергоефективності	26	5.2.2. Фінансування за рахунок третьої сторони	55
3.6.3.1. Котли	26	5.2.3. Лізинг	55
3.6.3.2. Системи стисненого повітря	28	5.2.4. Фінансування зі сторони постачальника обладнання	55
3.6.3.3. Холодильні установки	29	5.2.5. Інвестиційні фонди енергоефективності	55
3.6.3.4. Освітлення	21	5.3. Фінансовий аналіз проектів з підвищення енергоефективності	55
3.6.3.5. Електричні двигуни	36	5.3.1. Інструмент фінансового аналізу	55
3.6.3.5.1. Визначення навантаження двигуна	36	5.3.2. Фінансові показники	58
3.6.3.5.2. Оцінка ефективності двигунів, що пройшли перемотку	37	5.3.2.1. Чиста поточна вартість (NPV)	60
3.6.4. Базовий рівень енергоспоживання та показники енергоефективності	37	5.3.2.2. Середньозважена вартість капіталу (WACC)	61

5.3.2.3. Внутрішня норма прибутковості (IRR).....	61	6.10.2. Перевірка реалізації заходів з підвищення енергоефективності	85
5.3.2.4. Коефіцієнт користі/вартості	62	6.10.3. Очікувані спостереження або непередбачені зміни	85
5.3.2.5. Термін окупності (PP)	62	6.10.4. Аналіз ВВ	85
5.3.2.6. Дисконтований термін окупності (DPP).....	63	6.10.5. Звітність з ВВ	86
5.3.2.7. Індекс прибутковості (PI).....	63	6.11. Вимірювання та верифікація: Невизначеність	86
5.3.2.8. Дисконтований індекс прибутковості (DPI).....	63	6.12. Вимірювання та верифікація: Документація	86
5.3.2.9. Коефіцієнт покриття обслуговування боргу (DSCR)	64	6.13. Вимірювання та верифікація: Підсумок	86
5.3.3. Інші фінансові терміни	64	7. ЗАХОДИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА СФЕРАМИ ПРОМИСЛОВОСТІ	88
5.3.3.1. CAPEX/OPEX	64	7.1. Виробництво молокопродуктів	88
5.3.3.2. Амортизація активу	65	7.1.1. Заходи, пов'язані з процесом пастеризації	88
5.3.3.3. Грошові потоки інвестиційного проекту.....	65	7.1.2. Заходи, пов'язані з процесом гомогенізації	90
5.3.4. Проведення фінансового аналізу	65	7.1.3. Заходи, пов'язані з СІР-мийкою	91
5.3.5. Фінансова оцінка проекту з рекуперації тепла	65	7.2. Виробництво хлібопекарських продуктів.....	92
5.3.6. Фінансова оцінка проекту з модернізації насосу зі змінною частотою обертів	68	8. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ЗАГАЛЬНОВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ	98
5.4. Економічні показники компанії	70	8.1. Енергоефективні двигуни	99
5.4.1. ЕВІТ, ЕВІТДА	70	8.2. Технічне обслуговування	100
5.4.2. Коефіцієнт власного капіталу	71	8.3. Кондиціонування, обігрів та охолодження	125
5.4.3. Норма заборгованості	71	8.4. Насоси і насосні системи	125
5.4.4. Коефіцієнт прибутку і обороту	71	8.5. Вентиляційні системи	127
5.4.5. Ліквідність	72	8.6. Освітлення	128
5.5. Проектна документація, необхідна фінансовим установам	72	8.7. Парові установки	129
5.6. Кредитний аналіз фінансовими установами	72	8.7.1. Можливості енергозбереження в парогенераторних установках	129
6. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ЗГІДНО ЗІ СТАНДАРТОМ ISO 50015	76	8.7.2. Можливості енергозбереження в системах розподілу пари	134
6.1. Визначення	76	8.8. Технологічний обігрів	142
6.2. Мета і потреба	76	8.9. Заходи енергоефективності для дизельних генераторів	142
6.3. Огляд	77	ДЖЕРЕЛА ТА ПОСИЛАННЯ	144
6.4. Вимірювання та верифікація: Принципи	78	ПРО АВТОРІВ	146
6.5. Вимірювання та верифікація: Вимірювання	78		
6.6. Вимірювання та верифікація: Приклад	78		
6.7. Вимірювання та верифікація: План	80		
6.7.1. Фундаментальні кроки в процесі ВВ	80		
6.7.2. Обсяг та цілі	80		
6.7.3. Заходи з підвищення енергоефективності	81		
6.8. Межі	82		
6.8.1. Вимірювання та верифікація: План – Приклад меж	82		
6.9. Вимірювання та верифікація: План – Енергетична базова лінія	85		
6.10. Вимірювання та верифікація: План реалізації	85		
6.10.1. Збірання даних	85		

Перелік таблиць

- Таблиця 1** Відмінності між аудитами 2-го і 3-го типів
- Таблиця 2** Інструменти, що надаються разом із посібником
- Таблиця 3** Пропоновані вимірювальні інструменти
- Таблиця 4** Процес оцінки ефективності системи освітлення
- Таблиця 5** Кількість необхідних точок вимірювання
- Таблиця 6** Значення цільового показника лк/Вт/м² для постійної середньої освітленості горизонтальної поверхні
- Таблиця 7** Показники ефективності
- Таблиця 8** Вимірювання діапазону роботи
- Таблиця 9** Приклад заходів з економії та відповідних витрат
- Таблиця 10** Вхідні дані, необхідні для інструменту фінансового аналізу
- Таблиця 11** Огляд вимірювання та верифікації відповідно до стандарту ISO 50015
- Таблиця 12** Огляд заходів енергоефективності за універсальними технологіями
- Таблиця 13** Вплив температури на вході на споживання енергії
- Таблиця 14** Вплив втрат тиску на фільтри на загальне споживання енергії
- Таблиця 15** Порівняння параметрів фільтрів для повітря
- Таблиця 16** Кількість вологи при різних рівнях відносної вологості
- Таблиця 17** Вплив висоти над рівнем моря на об'ємну ефективність
- Таблиця 18** Вплив накипу на втрати тиску на внутрішній діаметр труб
- Таблиця 19** Вплив охолодження між стадіями на питоме споживання енергії поршневым компресором
- Таблиця 20** Потреба у воді для охолодження
- Таблиця 21** Зменшення споживання шляхом зниження тиску на виході
- Таблиця 22** Очікуване питоме споживання енергії поршневих компресорів
- Таблиця 23** Втрати енергії, пов'язані з використанням труб меншого діаметра
- Таблиця 24** Опір з'єднувальних елементів труб в еквівалентних довжинах (у метрах)
- Таблиця 25** Споживання енергії поршневым компресором за різних рівнів навантаження
- Таблиця 26** Типові показники роботи компресорів за неповного навантаження: Споживання енергії при використанні контролю швидкості і направляючих лопаток для відцентрових компресорів
- Таблиця 27** Споживання енергії пневматичним і електричним інструментом
- Таблиця 28** Порівняння споживання енергії пневматичними і електричними підйомниками
- Таблиця 29** Втрати повітря крізь отвір
- Таблиця 30** Вартість втрат повітря
- Таблиця 31** Вміст вологи у повітрі
- Таблиця 32** Точка роси під тиском і дані про споживання енергії для осушувачів
- Таблиця 33** Теоретичні дані про спалювання для основних типів пального
- Таблиця 34** Потреби в надлишковому повітрі (за типом палива)
- Таблиця 35** Обсяг тепловтрат за різних температур

Перелік рисунків

Рисунок 1 Типи аудитів за ISO 50002

Рисунок 2 Огляд стандартних типів аудитів за ISO 50002:2014

Рисунок 3 Етапи енергоаудиту згідно зі стандартом ISO 50002:2014

Рисунок 4 Діаграма Сенкі – потоки енергії на заводі

Рисунок 5 Схема-приклад розміщення точок вимірювання

Рисунок 6 Аудит інвестиційного класу

Рисунок 7 Регресійний аналіз залежності

Рисунок 8 Інструмент фінансового аналізу

Рисунок 9 Кроки фінансового аналізу

Рисунок 10 Перевірка DSCR

Рисунок 11 Перевірка DSCR

Рисунок 12 Значення стандарту ISO 50015 в енергетичній системі

Рисунок 13 Вимірювання у процесі ВВ

Рисунок 14 Структура вимірювання в рамках ВВ

Рисунок 15 План процесу вимірювання та верифікації

Рисунок 16 Межі вимірювання та верифікації в системі

Рисунок 17 Межі вимірювання та верифікації в системі – приклад 1

Рисунок 18 Межі вимірювання та верифікації в системі – приклад 2

Рисунок 19 Межі вимірювання та верифікації в системі – приклад 3

Рисунок 20 Межі вимірювання та верифікації в системі – приклад 4

Рисунок 21 Підсумки вимірювань та верифікації

Рисунок 22 Порівняння робочих тисків звичайного і вискоефективного клапанів для різних рідин

Рисунок 23 Діаграма найбільш актуальних заходів енергоефективності, пов'язаних із технологічним процесом.

Рисунок 24 Сепаратор пари

Рисунок 25 Рекомендована установка для прямої подачі пари

Рисунок 26 Перешкоди для ефективної передачі тепла

Рисунок 27 Розташування повітряного клапана

Рисунок 28 Використання пари закипання

Рисунок 29 Втрати пари, пов'язані з неефективним механічним осушенням



Перелік скорочень

АС

Змінний струм

CIP

Cleaning-In-Place –
Станція безрозбірного
миття обладнання
на місці його
технологічного
встановлення

CO

Монооксид вуглецю

CO²

Діоксид вуглецю

CV

Теплота згоряння

I

Сила струму

IRR

Internal Rate of Return –
Внутрішня норма
прибутку

ISO

International
Organization for
Standardization –
Міжнародна організація
зі стандартизації

LCC

Life-Cycle-Cost
Витрати за життєвий цикл

LCCA

Life-cycle Cost Analysis –
Аналіз витрат за життєвий
цикл

MIRR

Modified Internal Rate of
Return – Модифікована
внутрішня норма прибутку

NO_x

Оксид азоту

NPV

Net Present Value –
Чиста поточна вартість

ROI

Return on Investment –
рентабельність інвестиції

SPP

Simple Payback Period –
Простий період окупності

TR

Tons of Refrigeration –
Тонни охолодження

U

Напруга

Вт

Ват

Гц

Герц

БРЕ

Базовий рівень
енергоспоживання

кВ·А

Кіловольт-ампер

квар

Кіловольт-ампер
реактивний

кВт

Кіловат

кВт*год

Кіловат-година

Об/хв

Оберт(и) за хвилину

ПЕЕ

Показник
енергоефективності

СКЗ

Середньоквадратичне
значення

т/год

Тонни на годину



*Свириденко Юлія Анатоліївна
Перший заступник
Міністра розвитку економіки, торгівлі
та сільського господарства України*

Станом на 2019 рік промисловість України забезпечує близько 34,1% загального випуску продукції та послуг (у I півріччі 2020 року – 35,4% порівняно з 38,1% у I півріччі 2019 році), 19,9% валової доданої вартості (19,4% та 21,9 відповідно) та 14,8% кількості зайнятого населення (17,8% та 18% відповідно).

Більш ніж 30% загальних енерговитрат припадають саме на промисловий сектор, що є одним з основних споживачів енергоресурсів в Україні. При цьому ефективність використання енергії на виробництві залишається на низькому рівні, так як енергоємність ВВП України перевищує середнє світове значення удвічі, а аналогічне значення для країн-членів ЄС – у 3-4 рази. Щорічні втрати нашої держави через низьку енергоефективність економіки сягають більше мільярда доларів США. Підвищення енергоефективності зменшує загальні витрат підприємств на виробництво продукції, а отже знижує її собівартість. Разом з тим, енергоефективні технології сприяють збільшенню продуктивності виробництва, а також якості виробленої продукції. Все це безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємств та підвищує експортний потенціал окремих галузей.

Для того, щоб визначити доцільні для впровадження енергоефективні заходи, які б впливали на конкурентоспроможність виробництва, необхідно проводити всебічний аналіз енергоспоживання підприємства. Енергетичний аудит є одним з ефективних інструментів, що дозволяє менеджерам підприємств чітко зрозуміти, яким чином енергія використовується на їхньому виробництві та де саме відбувається її перевитрата.

Серед існуючих типів енергетичного аудиту саме енергоаудит промислових підприємств є найскладнішим. Його проведення потребує від фахівців глибоких знань не лише з енергоефективності, а й специфіки технології окремого виробництва, основ фінансового аналізу тощо. Незважаючи на те, що в Україні все більше підприємств користується цією послугою, якість енергоаудитів потребує вдосконалення за рахунок застосування міжнародних практик та підходів. Саме тому Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства підтримало ініціативу випуску цього посібника, який розкриває деталі впровадження міжнародного стандарту ISO 500002 не лише для фахівців з енергоефективності, а й для спеціалістів, що працюють на виробництві, викладачів навчальних закладів тощо.

Сподіваємось, що завдяки наведеним у посібнику роз'ясненням щодо застосування міжнародного стандарту ISO 500002, енергетичний аудит як послуга для промислових підприємств вийде на новий рівень свого якісного розвитку.



*Костянтин Гура
Т.в.о. Голови Держенергоефективності*

Енергоефективність в усіх галузях є ключовим інструментом для декарбонізації економіки України та підвищення її конкурентоздатності. Це питання є особливо актуальним для промисловості, що становить близько 30% від усього енергоспоживання в країні.

Сьогодні у світі існує велика кількість можливостей для підвищення ефективності: від енергоаудиту та енергомоніторингу до комплексних рішень щодо модернізації.

Згідно з останніми дослідженнями, можна скоротити близько 35% загальних енерговитрат в українській промисловості шляхом впровадження економічно ефективних заходів.

Один із перших обов'язкових кроків до оптимізації енергоспоживання - це проведення енергетичного аудиту. Завдяки цьому підприємство матиме детальну інформацію про особливості енергоспоживання, а найголовніше - про енерговтрати та можливості їх зменшення.

Щоб підтримати підприємства на цьому шляху, Держенергоефективності спільно із GIZ тісно співпрацюють, розробляючи стимулюючі механізми, створюючи Мережі енергоефективних підприємств, запроваджуючи навчання енергоменеджерів, готуючи тематичні посібники тощо.

До Вашої уваги - посібник, який є покроковою інструкцією з проведення енергоаудиту згідно з міжнародним стандартом ISO 50002. Розробку посібника ініційовано GIZ.

Сподіваюсь, що цей посібник стане в нагоді не лише усім українським підприємствам, незалежно від галузі, розміру чи досвіду, а й енергоаудиторам. У довіднику викладено опис повного процесу енергоаудиту і міститься детальне роз'яснення кожного етапу - від планування аудиту до його проведення на об'єкті, всебічний аналіз фінансових варіантів і приклади заходів з енергозбереження, документи та найкращі світові практики.

Рекомендації будуть корисними під час виконання якісного енергоаудиту та прийняття результативних рішень щодо впровадження заходів з енергоефективності на підприємстві.

Тож, звертаю увагу керівників, фінансистів, менеджерів, енергетиків компаній усіх галузей промисловості на переваги енергоаудиту та заходів з енергоефективності, завдяки чому Ви зможете оптимізувати енергоспоживання, поліпшити екологічні показники, скорочувати викиди CO₂, заощаджувати кошти на енергоносіях та ставати більш конкурентоздатними.

З повагою та побажаннями успіху на шляху до енергоефективності та конкурентоспроможності,



*Рікардо Кюльхайм
директор проекту "Консультавання
підприємств щодо енергоефективності",
GIZ*

Виробництво енергії та її використання є однією з головних причин змін клімату. Одна з найбільших часток викидів парникових газів в Україні (до 27,5% сукупно) припадає на використання палива та енергії промисловістю. Тому підвищення енергоефективності, тобто забезпечення тих самих обсягів виробництва за меншого використання енергії, є не лише економічно доцільним способом зниження викидів парникових газів, але й найпростішим шляхом запобігти кліматичним змінам, зекономити кошти та створити нові робочі місця. Федеральне міністерство економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ) у партнерстві з Міністерством розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України та Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України впровадило комплекс заходів з підвищення енергоефективності. Одним з них став проєкт «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», який з 2017 року виконується компанією Deutsche Gesellschaft the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Уряду Німеччини.

Проєкт надає технічну підтримку українським підприємствам, зокрема допомогу у проведенні енергоаудитів та розробці пілотних проєктів із енергоефективності, індивідуально пристосованих до потреб місцевого виробництва. Результати таких енергоаудитів дозволяють українським підприємствам розробляти технічно й економічно доцільні заходи з інвестування в енергоефективність.

Починаючи з жовтня 2018 року група національних та міжнародних сертифікованих енергоаудиторів провела для 65 підприємств оцінку енергоефективності за вимогами стандарту ISO 50002, частина 2. Цей етап аудиту, розрахований на такі галузі, як хлібопекарна, молочна промисловість, машинобудування та виробництво неметалевих будівельних матеріалів, був завершений у липні 2019 року. Результатом цього став відбір 20 підприємств для проведення наступного етапу Проєкту – аудиту інвестиційного типу згідно вимог стандарту ISO 50002, тип 3, який було завершено у березні 2020 року.

У рамках виконання проєкту та для подальшого використання в якості загального довідника з питань впровадження стандарту ISO 50002 в Україні було розроблено даний посібник, що містить інформацію для підприємств, організацій та надавачів послуг, які зобов'язалися підвищити свою енергоефективність, щодо моніторингу енергоспоживання, формування базового рівня споживання, чітке визначення цільових показників скорочення енергоспоживання та впровадження найкращих практик зменшення використання енергії та скорочення викидів парникових газів. GIZ закликає компанії проводити енергоаудити для визначення можливостей підвищення енергоефективності обладнання та виробничих процесів.

1. Про посібник

Посібник з енергоаудиту розроблено в рамках проекту «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», що реалізується компанією Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ). Проектом було передбачено визначення декількох енергоємних галузей промисловості України та реалізація низки проектів з підвищення енергоефективності, що засновані на результатах енергетичних аудитів.

Проект поділено на дві стадії. У рамках першої стадії проведено детальні енергетичні аудити з метою визначення ділянок неефективного використання енергоресурсів та вибору відповідних заходів підвищення ефективності.

Друга стадія передбачає формування економічно обґрунтованих проектів для впровадження найбільш доцільних з розроблених заходів. Для реалізації цього завдання в ролі виконавців залучено енергоаудиторів чотирьох українських компаній.

Було проведено не менше 15 енергетичних аудитів у кожній із таких галузей промисловості: виробництво молочних продуктів, виробництво хлібобулочних виробів, виробництво неметалевих будівельних матеріалів та машинобудування. Загальна кількість енергоаудитів склала 60.

Мета посібника – установити єдину методику та запропонувати інструменти, якими компанії-енергоаудитори можуть користуватися для проведення енергоаудитів, що забезпечить отримання ними порівнюваних результатів.

Методика відповідає вимогам до 2 та 3 типів енергоаудиту за стандартом ДСТУ ISO 50002:2016. Інструменти та методи, наведені у посібнику, належать до заходів підвищення енергоефективності, що є типовими для сфер промисловості, з якими працює проект.

Також посібник містить стислий виклад універсальних заходів енергоефективності і заходів, що характерні для окремих галузей.

Для другого етапу проекту було підготовлено «Посібник з розробки проектів», який включено до цього документа в рамках розділів 5 та 6. Тут представлено різні моделі фінансування, описано стандартні фінансові показники, а також фінансовий аналіз проектів з енергоефективності з використанням цих показників. Разом із посібником надається ряд інструментів для фінансового та іншого аналізу.

Результати впровадження заходів з енергоефективності слід завжди ретельно контролювати. Для цього зазвичай використовуються вимоги до вимірювання та верифікації (M&V) з урахуванням чинного стандарту ISO 15015:2014.

2. Промисловий енергоаудит

2.1 Визначення енергетичного аудиту

Енергетичний аудит є одним із перших завдань, що постають перед підприємством на шляху до ефективного контролю витрат енергоресурсів. Енергоаудит передбачає детальний аналіз ефективності використання енергії на промисловому об'єкті, оцінку вартості цієї енергії та, зрештою, формування рекомендацій щодо змін у роботі й заміни обладнання, що можуть знизити витрати на енергоресурси. Іноді енергоаудит називають енергетичною оцінкою чи аналізом, уникаючи негативних асоціацій, пов'язаних зі словом «аудит».

Енергоаудит – позитивний процес, що може згенерувати суттєву вигоду для підприємства та його працівників.

Він лежить в основі системного підходу до прийняття рішень у сфері управління використанням енергоресурсів та сприяє збалансуванню споживання енергетичних ресурсів та реальної потреби в них. В ході аудиту визначаються всі потоки енергії на промисловому об'єкті, а також обсяги її використання для здійснення окремих функцій.

Промисловий енергоаудит є ефективним інструментом, що сприяє формуванню та виконанню повноцінної програми енергетичного менеджменту.

2.2 Цілі енергоаудиту

Існує низка близьких за змістом визначень енергоаудиту. У цьому посібнику використано визначення, наведене у стандарті ДСТУ ІСО 50002:2016 (180 50002:2014, IDT):

«Енергетичний аудит (energy audit) – систематизований аналіз використання енергії та споживання енергії у межах, визначених характером та обсягом робіт з енергетичного аудиту з метою визначення, кількісного вираження та підготовки звіту про можливості підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності».

У будь-якій галузі промисловості найбільші операційні витрати пов'язані з енергоресурсами (електроенергія і газ), робочою силою та сировиною. Якщо оцінити можливості зменшення витрат за цими трьома напрямками, то саме енергоресурси опиняються на першому місці – ось чому енергетичний менеджмент є стратегічним напрямком зменшення витрат. Енерге-



тичний аудит сприяє кращому розумінню процесів, у яких використовується енергія і пально, та допомагає визначити точки, де можливі непродуктивні втрати і де існують можливості вдосконалення.

Енергоаудит дозволяє підвищити ефективність не лише заходів, спрямованих на зменшення витрат на енергоносії, а й тих, що пов'язані з технічним обслуговуванням та контролем якості. Стабільна програма аудитів дає змогу тримати руку на пульсі змін у витратах на енергоносії, доступності та надійності джерел енергії, обирати оптимальне співвідношення використовуваних типів енергії та ефективні технології збереження енергії, встановлювати необхідне обладнання тощо.

Загалом енергоаудит є засобом практичного втілення ідей енергозбереження, адже він пропонує реальні рішення, що враховують економічні й організаційні особливості підприємства та можуть бути реалізовані протягом конкретного проміжку часу.

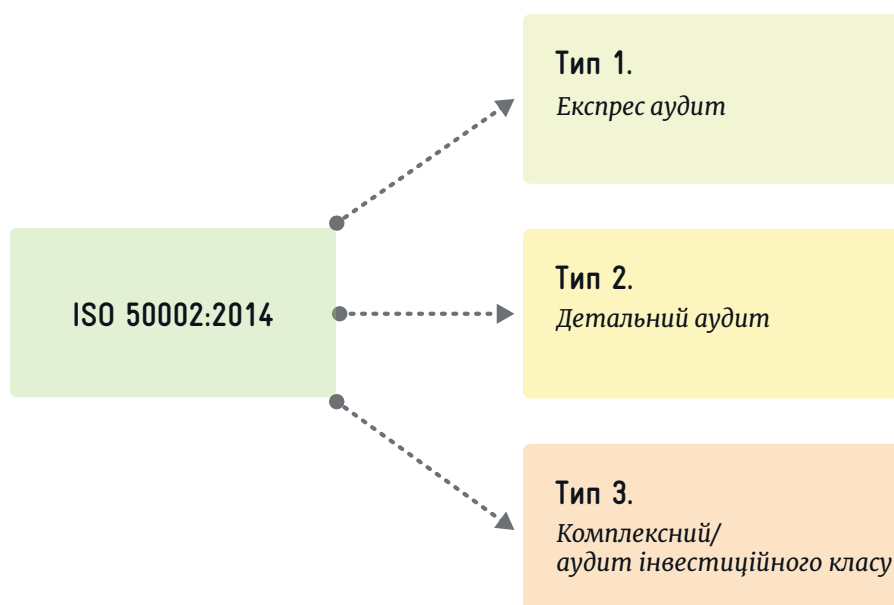
Першочергова ціль енергоаудиту полягає в тому, аби визначити наявні енергетичні потоки на підприємстві та заходи для підвищення ефективності використання енергії. Останні оцінюються з точки зору необхідних інвестицій і досяжного економічного ефекту, отже, підприємства мають можливість одразу визначити період окупності інвестицій. Енергоаудит створює «бенчмарк», або ж відправну точку, відносно якої надалі буде оцінюватись енергоефективність підприємства, а також дає основу для більш ефективного використання енергії.

2.3 Типи енергоаудитів

Стандартом ISO 50002:2014 визначено три різні типи аудитів: 1-й, 2-й і 3-й. Відмінність цих аудитів полягає в детальності, а отже, в обсязі робіт з аудиту.

У цьому підрозділі подано загальний огляд типів енергетичного аудиту згідно з ISO 50002. Енергетичний аудит 2-го типу, відповідно до цього стандарту, є найпоширенішим варіантом енергетичного аудиту. Аудит 2-го типу також дуже подібний до енергетичного аудиту, описаного в Європейському стандарті EN 16247-1 (ДСТУ EN 16247-1:2015).

Рисунок 1. Типи аудитів відповідно до ISO 50002:2014

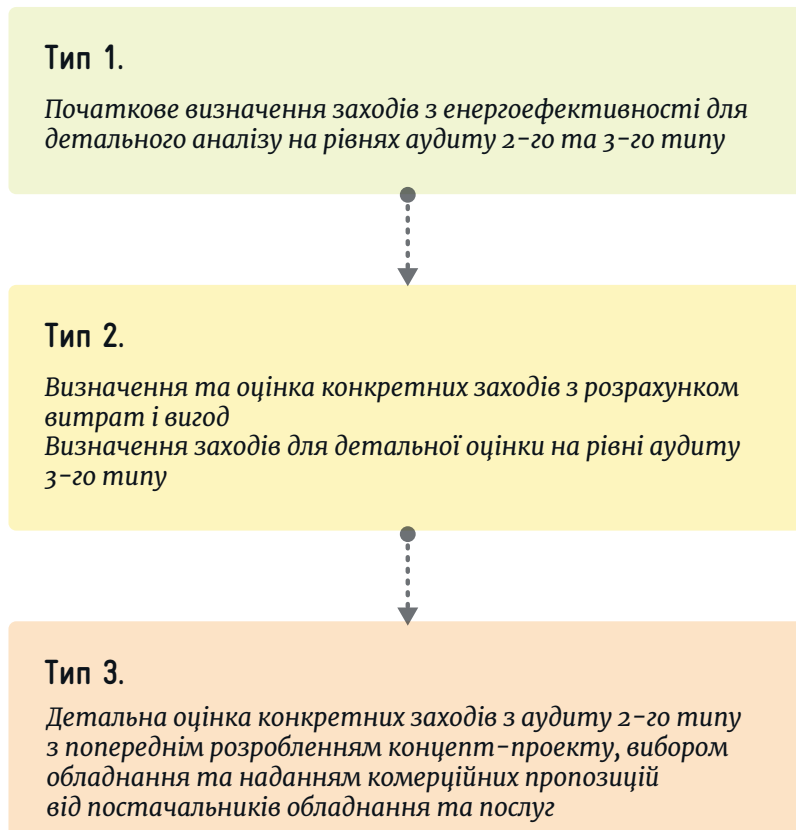


Аудит 1-го типу забезпечує швидкий огляд енергетичної ситуації на підприємстві без кількісної оцінки можливого потенціалу заощаджень.

Аудит 2-го типу – це те, що зазвичай розуміють під стандартним «енергетичним аудитом»: детальне дослідження основних споживачів енергії в компанії та розрахунок потенціалу енергозбереження.

Аудит 3-го типу виходить за рамки того, що зазначено на наступних сторінках.

Рисунок 2. Огляд стандартних типів аудитів за ISO 50002:2014



Стандарт ISO 50002 вказує на таке:

Аудит 3-го типу – це найбільш детальний рівень аудиту, визначений стандартом ISO 50002. Для такого аудиту необхідно багато зусиль і часу. Тому цей тип аудиту зазвичай застосовують не для всієї компанії чи цілого об'єкта, а лише для обраних заходів, визначених аудитом 1-го або 2-го типу.

Аудитори, які проводять аудит 3-го типу, повинні мати додаткові технічні та фінансові навички, а також навички розроблення проектів.

Процес аудиту 3-го типу згідно зі стандартом, такий самий, як і 1-го та 2-го типу, але інтенсивність кожного кроку в процесі значною мірою змінюється.

Таблиця нижче демонструє основні відмінності між аудитами 2-го та 3-го типу.

Таблиця 1. Відмінності між аудитами 2-го та 3-го типів

2-й тип	3-й тип
Зазвичай проводиться для всього підприємства.	Зазвичай проводиться для конкретного проекту на підприємстві з чіткою метою залучення інвестицій. Також може застосовуватися для всього підприємства, але, як правило, економічно ефективний тільки, для організацій з високими енергетичними затратами або для установ з цільовими інвестиційними грантами
Необхідні знання щодо процесів споживання енергії. Наприклад, для оцінки ефективності роботи звичайних холодильних установок, котлів тощо.	Необхідні специфічні знання про конкретні процеси та/або технології. Наприклад, для аудиту 3-го типу печі на цементному заводі аудиторі потрібні спеціальні експертні навички в цій галузі.
За потреби можуть проводитися вимірювання. Відсутня потреба в тривалій безперервній реєстрації вимірюваних даних.	Вимірювання та іноді довгострокове ведення даних необхідні для розуміння повних експлуатаційних характеристик обладнання та впливу змінних.
Попередній перелік заходів може бути наданий клієнтові перед проведенням детального аналізу.	Попередній перелік заходів обов'язково надається клієнтові для вибору декількох, найбільш доцільних для реалізації заходів, для яких буде розроблено інвестиційний проект.
Стосовно витрат можна використовувати доступні цінові пропозиції. Наприклад, ціни на двигуни за даними з Інтернету.	Необхідно звернутися до постачальників, щоб дізнатися про новітні технології та конструкції. Витрати повинні ґрунтуватися на попередньому проектуванні обладнання та обговоренні з постачальниками.
Необхідно виявляти неенергетичні вигоди. Вони можуть обчислюватися в кількісному вираженні, якщо це можливо.	Неенергетичні вигоди, мають обчислюватися в кількісному вираженні, якщо це можливо, і враховуватися у фінансовому аналізі. Наприклад, податкові вигоди, скорочення витрат на утримання тощо.
	Для визначення взаємозв'язку між споживанням енергії та відповідними змінними слід використовувати відповідні методи аналізу.
	Необхідно проаналізувати наявну систему обліку споживання енергії та запропонувати шляхи її вдосконалення.
	Слід враховувати бізнес-стратегії.

2.4 Послідовність операцій у межах енергоаудиту

Рисунок 3 містить схему проведення енергоаудиту. Експрес аудит також відбувається за цією схемою, однак глибина й обсяг окремих процедур (зокрема, збору та опрацювання даних) можуть різнитися залежно від обсягів і цілей аудиту. Загалом прийнято виділяти три основні стадії здійснення аудиту, кожна яких передбачає низку кроків. Це стадії підготовки, власне проведення аудиту та звітування.

Першою стадією процесу є підготовка до проведення аудиту, в ході якої енергоаудитор разом із представниками підприємства визначає вимоги, обсяг і характер робіт, а також межі аудиту.

Крім цього, він здійснює попередній збір інформації. Деякі заходи стадії планування можуть здійснюватися під час першої зустрічі.

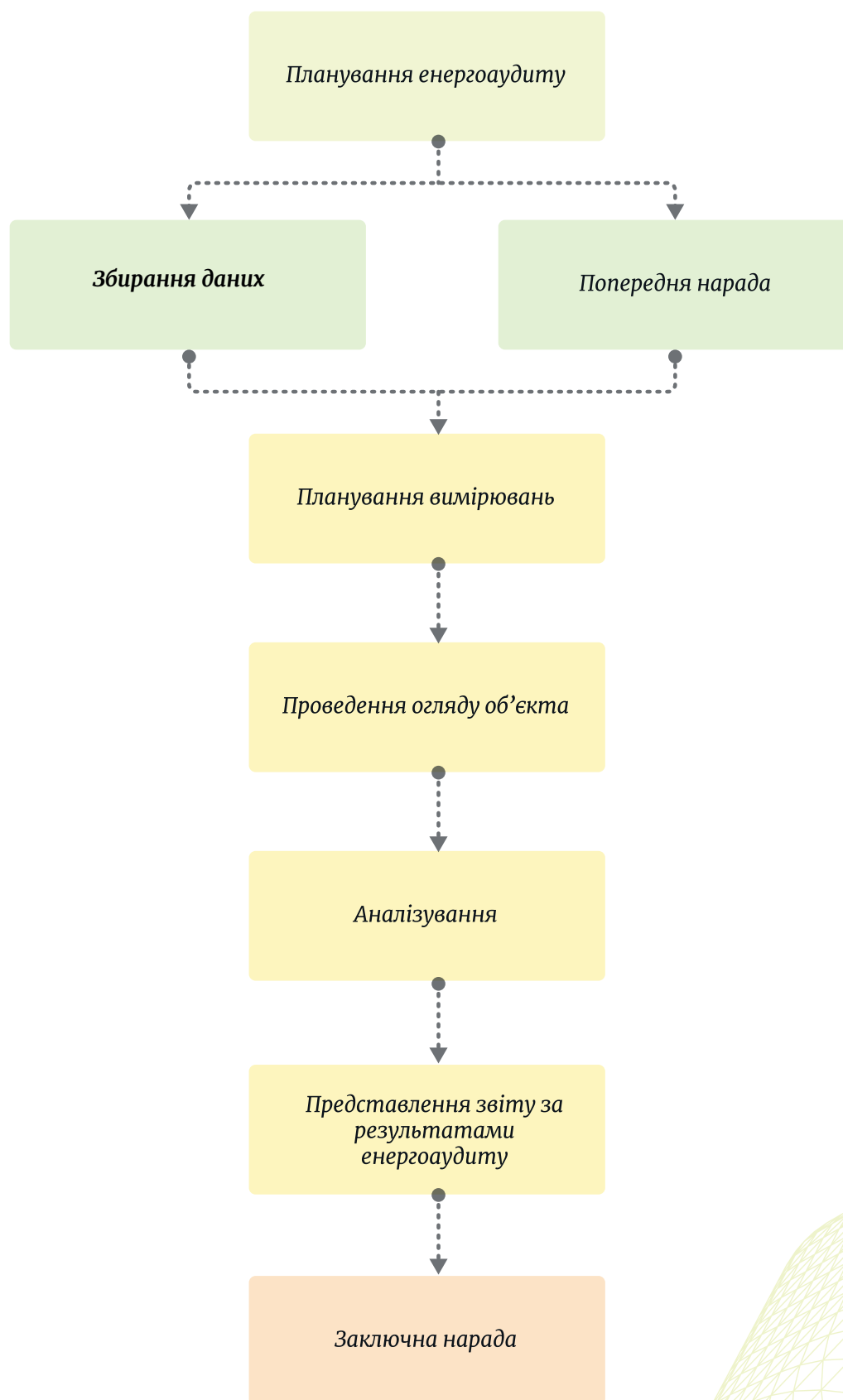
Одночасно аудитор збирає доступні дані і готується до здійснення візиту на об'єкт. Як правило, аудитор надсилає на підприємство опитувальний лист чи контрольний список, у якому просить надати необхідну йому інформацію.

Цей посібник надає кілька шаблонів, списків та листів для обчислень, що мають на меті допомогти енергоаудитору в реалізації кожної стадії аудиту 2-го типу.

Таблиця 2. Інструменти, що надаються разом із посібником

Етап аудиту	Інструменти	Назви файлів
Попередня нарада	Шаблон протоколу першої зустрічі	Meeting_Protocol.doc
Збирання даних	<ul style="list-style-type: none"> Попередній опитувальний лист Шаблон переліку основних споживачів енергії 	<ul style="list-style-type: none"> EnergyAudit_Pre-check_Questionnaire.docx List_SEUs.xlsx
Планування вимірювань	Шаблон для розробки плану вимірювань	Measurement_Plan_Template.xls
Проведення огляду об'єкта	Контрольний лист для збору даних про основних споживачів енергії	Data_collection_checklist_.xls
Аналізування	<ul style="list-style-type: none"> Інструмент аналізу історичних даних Інструмент економічного аналізу 	<ul style="list-style-type: none"> Historical Data Analysis.xlsx Economic_Analysis_tool.xls
Представлення звіту за результатами енергоаудиту	Шаблон звіту про енергоаудит	Energy_Audit_Reporting_Template.docx

Рисунок 3. Етапи енергоаудиту згідно зі стандартом ISO 50002:2014



3. Процес енергоаудиту

3.1 Планування

Ефективне планування – необхідний етап здійснення енергоаудиту. Ключовим на цьому етапі є визначення обсягу, меж та цілей аудиту, що здійснюється разом із клієнтом.

Енергоаудити, що здійснюватимуться в межах першого етапу проекту «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», повинні мати достатній рівень деталізації, аби чітко визначити сфери неефективного використання енергії та послужити основою для відбору заходів, які зрештою реалізовуватимуться на підприємствах. Обсяг аудиту має бути достатнім з огляду на це завдання. Контрольні списки, інструменти та методи аналізу, викладені у наступних розділах, мають надати аудиторам можливість здійснити аудит у таких обсягах.

3.2 Обсяг аудиту

У рамках енергоаудиту за стандартом ISO 50002 слід розглянути всі суттєві споживачі енергії. Стандарти ISO 50001 чи ISO 50002 не надають критеріїв визначення «суттєвого» обсягу споживання, але існуючі практики рекомендують розглядати всіх споживачів, сумарне споживання певного типу енергії яких становить не менше ніж 80% загального обсягу. Остаточне рішення щодо переліку повинно бути узгоджено із компанією – суб'єктом аудиту.

Дрібних споживачів, споживання яких разом не досягає відмітки 10% (або 20%), розглядати не потрібно. Для більшості галузей промисловості до переліку основних споживачів потраплять як специфічні для даної сфери технології, так і універсальні об'єкти.

Однак, за бажанням клієнта, аудитор може зосередити увагу на специфічних процесах і сферах діяльності і, відповідно, дослідити їх більш детально (що не означає, що рештою питань можна знехтувати).

Це може принести свої плоди; наприклад, у випадку, коли вже відомо про можливість значного скорочення витрат енергії у певних процесах, чи вже заплановані зміни у технологічних процесах та підприємство вже запланувало інвестиції, і аудит може підтвердити їхню доцільність. Детальність аудиту також враховують при визначенні його обсягу. Додаток А стандарту ISO 50002 надає рекомендації щодо різних рівнів деталізації аудитів.

3.1.2 Межі аудиту

Якщо проведення аудиту планується не у відповідності до стандарту ISO 50002, тоді обсяг можна визначати довільно. Можливо, клієнта цікавитиме аудит системи опалення чи оцінка енергоефективності одного цеху. Важливо, щоб обсяг робіт було погоджено на стадії планування.

Також на стадії планування погоджують межі аудиту. Він може проводитися на всіх об'єктах і майданчиках підприємства, на одній локації, в межах одного цеху чи навіть одного виробничого процесу. Якщо аудит проводиться відповідно до ISO 50002 чи EN 16247, його межі мають бути задокументовані та відповідати певним фізичним параметрам. У деяких випадках виключення окремих об'єктів є доцільним з огляду на те, що вони, наприклад, не містять суттєвих споживачів енергії, нещодавно проходили аудит чи найближчим часом перестануть використовуватися.

3.1.3. Ціль/цілі аудиту

Головна ціль енергоаудиту – оцінити можливості підприємства у плані економії енергоносіїв.

Інші цілі можуть включати:

- отримання сертифікату відповідності вимогам міжнародних стандартів;
- оновлення даних попереднього аудиту, підтвердження можливостей економії;
- отримання інформації про нові технології;
- залучення незалежних експертів для переконання тих працівників підприємства, що сумніваються в доцільності заходів підвищення енергоефективності.

3.1.4. Збір даних перед відвідуванням об'єкта

Після того, як ці три параметри чітко визначені, аудитор проводить попередній збір значущої інформації. Його можуть цікавити:

- інформація про основні виробничі процеси;
- перелік основних споживачів енергії;
- перелік точок, де проводяться вимірювання;
- дані про попереднє споживання;
- графіки споживання енергії;
- плани будівель;
- рахунки від постачальників комунальних послуг;
- звіти попередніх енергоаудитів;
- інструкції до обладнання та інші технічні документи;
- інформація про заплановані заходи оптимізації та зміни у виробничих процесах.

3.1.5. Інші домовленості на етапі планування

Окрім цього, перед здійсненням аудиту варто узгодити:

- дні, в які аудитор перебудуватимуть на об'єктах, а також загальні строки проведення аудиту;
- критерії, за якими оцінюватимуться та ранжуватимуться заходи підвищення енергоефективності (наприклад, загальний потенціал заощаджень, період окупності, потенційне скорочення споживання за певний період, витрати за строк служби, складність реалізації заходу тощо);
- особу зі сторони підприємства, що відповідає за здійснення енергоаудиту;
- готовність підприємства виділити час та інші необхідні ресурси для сприяння проведенню енергоаудиту;

- очікувані документи і формат кінцевого звіту;
- інформацію про впровадження на підприємстві системи менеджменту, наприклад екологічного, контролю якості, енергетичного тощо.

3.2 Попередня нарада

Енергоаудитор організовує попередню нараду з метою донесення до всіх учасників процесу інформації про запланований аудит, його обсяг, межі, часові рамки та вимоги. Якщо це доцільно з економіко-логістичної точки зору, перша зустріч проводиться за особистої присутності усіх сторін. Якщо це неможливо чи недоцільно, зустріч проводиться в режимі онлайн-конференції. Аудитор презентує контрольний список для збору інформації та звертається до відповідальної особи зі сторони підприємства з проханням надати необхідні дані у відповідному форматі.

3.3 Збір даних

На початку аудиту слід отримати рахунки за споживання енергії та будь-які інші дані про минулі обсяги споживання і виробництва. Що більше таких історичних даних буде доступно аудиторіві, то краще він зможе зрозуміти відмінність у роботі підприємства впродовж доби, року, а також за різноманітних виробничих умов. До даних, які варто отримати на цьому етапі, належать:

- загальна інформація про об'єкт (рік будівництва, тип власності, проведені ремонтні роботи, типи продукції, річний та добовий графік роботи, заплановані зупинки в роботі тощо);
- рахунки за енергоресурси (в тому числі доставку/закупівлю палива) за останні 2-3 роки;
- щомісячні дані про обсяги виробництва за останні 2-3 роки продукції, розділеної за видами;
- дані про кліматичні умови за останні 2-3 роки;
- архіви вимірювань, що здійснювалися наявним обладнанням.
- плани будівель та обладнання;
- інформація про встановлені системи обліку різних енергопотоків;
- інформація про стан енергетичного менеджменту на підприємстві, реалізовані та заплановані заходи підвищення енергоефективності.
- звіти попередніх енергоаудитів;
- загальна інформація про об'єкт (рік будівництва, тип власності, проведені ремонтні роботи, типи продукції, річний та добовий графік роботи, заплановані зупинки в роботі тощо).

3.3.1. Попередній аналіз

Попередній аналіз допомагає енергоаудитору краще зрозуміти функціонування об'єкта, адже він отримує загальну картину використання

Із посібником
надаються:



Попередній опитувальний лист

Використовуйте його для збору необхідних даних.



Шаблон переліку суттєвих споживачів енергії.

Якщо клієнт не може надати перелік основних споживачів енергії, використовуйте цей шаблон. Тут необхідно вказати суттєвих споживачів кожного типу енергії.

енергії, технологічних процесів та можливих втрат. Як правило, попередній аналіз дозволяє внести необхідні корективи у план вимірювань.

Під час попереднього аналізу можна скласти схему потоків енергії та ресурсів у системі, що буде об'єктом аудиту. Така схема має містити інформацію про ключові операції та процеси на об'єкті, сфери використання матеріалів і енергії, а також джерела відходів.

Аудитору слід визначити вхідні і вихідні продукти кожного кроку процесів. Ця попередня схема є спрощеною, однак за результатами аудиту вона може бути доповнена більш детальною інформацією та даними.

3.4 План вимірювань

Оскільки перед енергоаудитором стоїть завдання визначити енергопоток, йому необхідно проводити вимірювання з використанням відповідного обладнання. Це обладнання має бути мобільним, надійним, повіреним та сертифікованим, бажано простим у використанні та відносно недорогим. У ході енергоаудиту можуть вимірюватися такі показники:

Основні параметри систем змінного і постійного струму: напруга (В), сила струму (А), коефіцієнт потужності ($\cos\phi$), активна потужність (кВт), повна потужність (кВ·А), реактивна потужність (кВ·Ар), споживання електроенергії (кВт*год), частота (Гц), гармоніки тощо.

Інші важливі параметри: температура, величина потоку тепла, потоки повітря й газів, обсяги потоків рідин, частота обертання (об/хв), швидкість руху повітря, шум та вібрація, концентрація пилу, вміст твердих розчинених речовин, рН (водневий показник), вологовміст, відносна вологість, аналіз відпрацьованих газів – вміст CO₂, O₂, CO, SO_x, NO_x, повнота згоряння палива тощо.

3.5. Проведення огляду об'єкта

Вимірювання мають стати основою для точного обчислення потенціалу енергозбереження. План вимірювань визначає досліджувані параметри, а також часові межі вимірювань. Його слід розробляти з урахуванням обсягів аудиту та спілкування з клієнтом. Також важливо забезпечити необхідну точність результатів. Перелік рекомендованих вимірювальних приладів наведено в таблиці 3.

3.6. Аналіз даних

Важливо встановити якою є ефективність роботи основних споживачів енергії. В ході візиту на об'єкт аудиту слід визначити області, де відбуваються непродуктивні втрати енергії. Для обчислення ефективності та обсягів втрат, характерних для основних споживачів, під час візиту може проводитися ряд вимірювань та тестів. На основі отриманих даних енергоаудитор визначає можливі заходи підвищення енергоефективності.

3.6.1. Аналіз розподілу енергетичних потоків

Додатки до даного посібника містять контрольні списки для різних видів технологій. Використовуйте ці списки для збору необхідних даних. Слід урахувати, що не вся інформація буде доступна заздалегідь. У такому разі, необхідно провести вимірювання на місці і отримати необхідні дані.

Метою аналізу розподілу енергопотоків є формування розуміння того, як використовується енергія на підприємстві. Це перший крок у процесі



Інструмент: Контрольний лист для збору даних про основних споживачів енергії

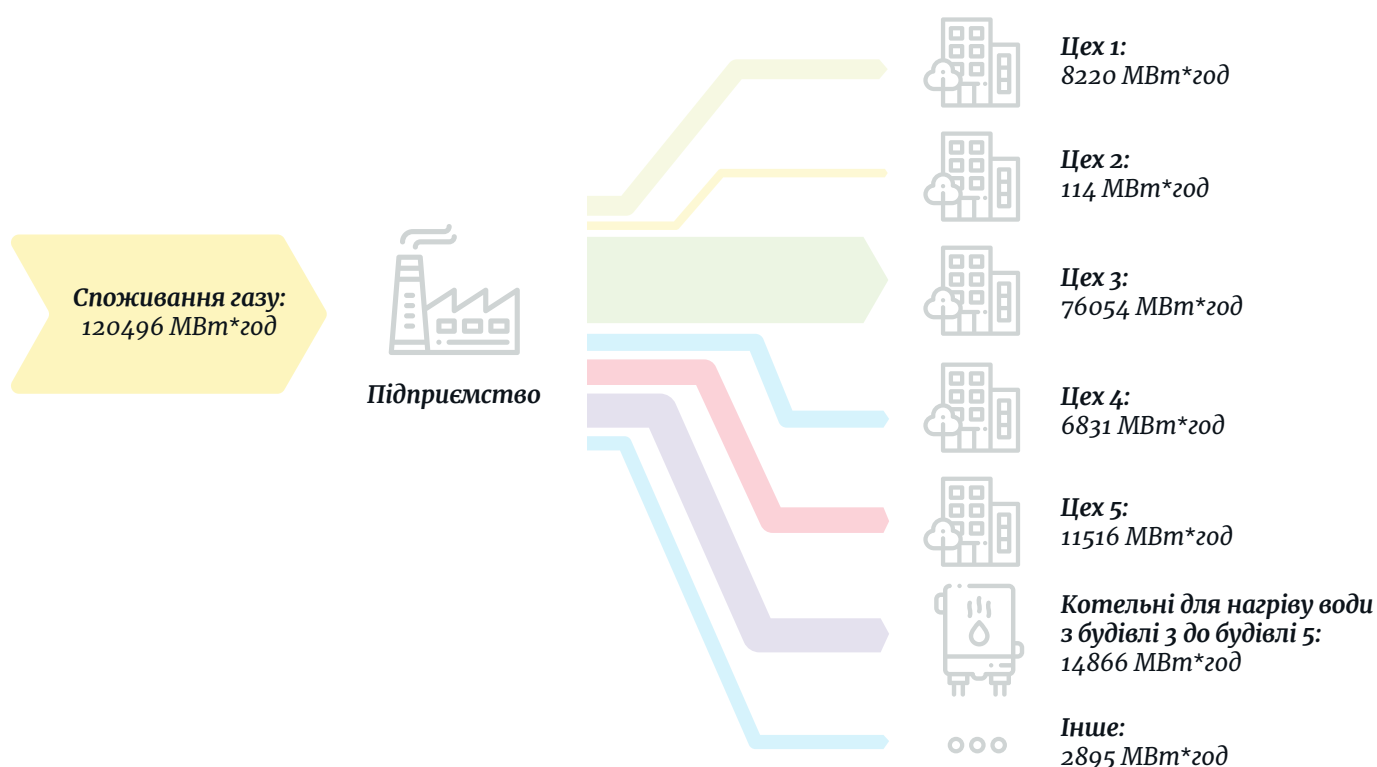
Таблиця 3. Пропоновані вимірювальні інструменти

Обладнання	Функції	Мета використання
Ватметр на основі істинного середньоквадратичного значення (True RMS)	Вимірювання активної потужності (кВт), повної потужності (кВ·А), коефіцієнта потужності, сили змінного і постійного струму, напруги, опору, частоти	Вимірювання електричних характеристик обладнання і визначення енергетичного балансу
Люксметр	Вимірювання освітленості	Порівняння потоку рівня фактичної освітленості з нормативним значеннями, визначеними стандартами або ДБН
Цифровий термометр	Вимірювання температури	Визначення балансу теплової енергії
Інфрачервоний термометр	Вимірювання температури поверхонь у важкодоступних місцях	Визначення балансу теплової енергії
Вимірювальні кліщі на основі істинного СКЗ (True RMS)	Вимірювання сили струму та напруги на конкретній ділянці	Швидке визначення сили струму і напруги у кабелях
Реєстратор температури і вологості	Вимірювання температури і вологості	Реєстрація умов середовища
Аналізатор газів	Визначення вмісту CO ₂ , O ₂ , CO, SO _x , NO _x ; повноти згоряння газу (%), вимірювання температури відпрацьованих газів, визначення ККД роботи котла	Оцінка ефективності котлів та/чи печей
Анемометр	Визначення середньої швидкості руху повітря за проміжок часу та в різних точках	Перевірка руху повітря в системі вентиляції
Витратомір для рідин	Вимірювання об'ємної витрати рідин	Аналіз роботи частотно-регульованих приводів у системах подачі холодної/гарячої води та води для технологічних процесів
Тахометр	Вимірювання швидкості обертання двигуна, насоса чи вентилятора	Визначення режиму роботи системи в межах її робочого діапазону
Тепловізор/інфрачервона камера	Вимірювання температури поверхні та навколишнього середовища	Визначення точок втрати тепла у будівлях та в теплопроводах
Вимірювач якості електроенергії на основі істинного СКЗ (True RMS)	Вимірювання та реєстрація даних про активну потужність (кВт), реактивну потужність (кВ·Ар), активну і реактивну енергію, гармоніки, максимальну, мінімальну та середню потужність і коефіцієнт потужності	Аналіз якості електроенергії

аналізу даних. За належного виконання він дозволяє визначити сектори підприємства, що споживають найбільше енергії, а також виявити невідомі втрати. Для візуального представлення розподілу використання енергії прийнято використовувати діаграму Сенкі.

Як можна бачити на рисунку 4, діаграма Сенкі чітко представляє основні потоки енергії на підприємстві. На ній виділено основні частини підприємства, що споживають енергію, а також потік «інше», що може являти собою втрати. Якщо на окремих частинах підприємства встановлено власні системи обліку, то діаграму Сенкі можна розширити, вказавши розподіл енергії всередині кожного підрозділу.

Рисунок 4. Діаграма Сенкі – потоки енергії на заводі



На практиці першочерговим завданням є визначення обсягів енергопотоків принаймні на рівні основних підрозділів підприємства. Дані про енергопотоки всередині підрозділів можна включати за наявності.

На ринку представлені кілька платних програмних продуктів для побудови таких діаграм. Серед рекомендованих:

- e!Sankey 4: <https://www.ifu.com/en/e-sankey/>
- S. Draw: <http://www.sdraw.com/>
- Sankey editor 2011: <http://sankey-diagram-generator.acquireprocure.com/>

Також доступний безкоштовний інструмент на основі Microsoft Office Excel:

- Sankey helper: <http://www.doka.ch/sankey.htm>.

3.6.2. Аналіз даних щодо попереднього енергоспоживання (історичний аналіз)

Дані попереднього споживання можна отримати на основі комерційних рахунків за енергоносії, показань лічильників і систем технічного обліку даних тощо. Усі доступні дані цього типу слід отримати на етапі збору інформації.

У багатьох випадках цей аналіз проводять у першу чергу. Він дозволяє отримати важливу інформацію, наприклад, виявити тенденції та встановити зв'язок між змінними, такими як обсяги виробництва, погодні умови тощо, та енергетичними показниками.

Просимо звернути увагу на інструмент аналізу даних попереднього споживання. Він дозволяє внести місячні показники споживання електроенергії, пального, природного газу тощо та провести регресійний аналіз.



Інструмент: інструмент аналізу даних попереднього споживання.

В інтернеті доступні безкоштовні інструменти для роботи з даними попереднього енергоспоживання та розробки Показників енергоефективності (ПЕЕ) та Базового рівня енергоспоживання (БРЕ). Офіс із питань перспективних технологій при Уряді США пропонує кілька інструментів для аналізу даних попереднього споживання на основі Microsoft Office Excel, наприклад:

- Інструмент для роботи з даними щодо енергоспоживання: <https://www.energy.gov/eere/amo/downloads/energy-footprint-tool>.
- Інструмент для роботи з ПЕЕ: <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/energy-performance-indicator-tool>.

3.6.3 Аналіз енергоефективності

3.6.3.1. Котли

ККД котла – це відносна величина, яка вимірюється у відсотках і визначається співвідношенням теплоти, внесеної до топки із паливом та повітрям, до кількості тепла (корисної енергії), яку виділяє котел у вигляді пари або гарячої води.

Важливо провести аналіз енергоефективності кожного з суттєвих споживачів енергії окремо. Для них також можуть бути розроблені ПЕЕ, що використовуватимуться для оцінки заощаджень після впровадження заходів з підвищення енергоефективності. Методи аналізу ефективності суттєвих споживачів енергії, з якими аудиторам доведеться мати справу в ході виконання проекту, наведені у цьому підрозділі.

Показники ефективності котла, такі як його ККД, з часом знижуються через проблеми зі згорянням палива, забруднення теплообмінних поверхонь, неналежну експлуатацію та обслуговування. Також на ефективності котла негативно позначається низька якість палива, води тощо. Перевірка ефективності дозволяє визначити, наскільки реальна ефективність котла різниться від ідеальної, та ідентифікувати необхідні коригувальні заходи.

Існує два основних методи визначення ККД котла.

Прямий метод: кількість енергії, отриманої робочою рідиною (водою і паром), порівнюється з теплотворною здатністю палива.

Непрямий метод: різниця між втратами енергії та її підводом

а) Прямий метод

Цей метод також відомий як метод «підводу-виводу», оскільки для обчислень тут потрібні лише дані про корисний вивід (пару) та підвід тепла (наприклад, у вигляді палива). Відповідно, використовують таку формулу:

$$\text{ККД} = \frac{\text{Вивід тепла}}{\text{Підвід тепла}}$$

Параметри, які слід визначити для обчислення ККД котла за цим методом:

- Кількість виробленої пари за годину (D), кг/год, або витрату гарячої води, Q , л/год;
- Кількість пального, використаного за годину (B), м³/год;
- Робочий тиск (кг/см²) і температуру перегріву пари (°C), якщо він відбувається.
- Температура живильної води (°C), $t_{ж}$;
- Температуру води після котла (для водогрійних котлів), $t_{к}$;
- Тип палива та його нижча теплота згоряння (NCV), $Q_{р}$ кДж/м³;
- Ентальпія пари $h_{п}$ та ентальпія живильної води $h_{ж}$, кДж/кг, для парових котлів.

Тоді ККД для водогрійного або парового котла обчислюється за формулою, відповідно

$$\text{ККД котла } (\eta) = \frac{Q \cdot (t_{к} - t_{ж}) \cdot c}{Q_{н}^p \cdot B} \cdot 100 = \frac{D \cdot (h_{к} - h_{ж})}{Q_{н}^p \cdot B} \cdot 100$$

Слід зазначити, що котел може не виробляти 100-відсоткову насичену пару, і вона може містити певну кількість вологи. Оскільки визначити цю частку практично складно, в наведеному обчисленні вважається, що котел виробляє 100-відсоткову насичену пару. Можливі відхилення від істини є незначними.

Переваги:

- працівники можуть швидко оцінити ККД котла;
- не вимагає вимірювання великої кількості параметрів;
- не вимагає значної кількості обладнання для вимірювання і моніторингу.

Недоліки:

- не пропонує операторові «підказок» стосовно причин зниження ККД системи;
- не враховує різні види втрат, що можуть викликати зміни ККД.

б) Непрямий метод

Існують стандарти здійснення перевірки котлів із використанням непрямого методу, зокрема британський стандарт BS 845:1987 і американський стандарт «ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units».

Непрямий метод також називають методом теплових втрат. ККД визначається шляхом віднімання від 100 відсотків, що припадають на кожен вид втрат. Жоден зі стандартів не враховує при цьому втрати, пов'язані з продувкою котла.

Наразі у промисловості переважає використання більш простих методів обчислення ККД.

Основні види втрат у котлі:

- втрата тепла, пов'язана з неповним згорянням палива;
- втрата тепла з поверхонь котла;
- втрата тепла, пов'язана з неспаленими частками у золі виносу та золотовому залишку;
- втрати, пов'язані з вмістом рідини у паливі, та втрати, що виникають внаслідок спалення водню, не піддаються контролю і залежать від палива. Ці втрати близькі до нуля, якщо обчислення проводяться на основі нижчої теплоти згоряння.

Дані, що необхідні для визначення ККД котла за непрямим методом, включають:

- ККД згоряння палива (може бути визначений за допомогою аналізатора газів);

- вища теплота згоряння (GCV) палива в кДж/кг;
- частка палива у золі (для твердого палива);
- вища теплота згоряння (GCV) золи в кДж/кг (для твердого палива).

Частка втрат, пов'язаних із неспаленими частками у золі виносу (%):

$$= \frac{\text{Кількість золи/кг спаленого палива} \times \text{GCV золи виносу} \times 100}{\text{GCV палива}}$$

Частка втрат, пов'язаних із неспаленими частками у золовому залишку (%):

$$= \frac{\text{Кількість золи/кг спаленого палива} \times \text{GCV золового залишку} \times 100}{\text{GCV палива}}$$

Частка втрат тепла з поверхонь та інших втрат:

Установити точно обсяг таких втрат не просто, оскільки поверхні різняться за показниками теплового випромінювання. Цей параметр залежить від їхнього кута нахилу, потоків повітря тощо. Для невеликих котлів потужністю до 10 МВт втрати з поверхонь та інші типи втрат, як правило, становлять від 1% до 2% вищої теплоти згоряння палива; для котлів потужністю 500 МВт цей показник становитиме від 0,2% до 1%. Для розрахунків можна використовувати відповідні значення у цьому діапазоні, з урахуванням стану поверхонь.

Сучасні електронні аналізатори згоряння обчислюють ККД згоряння палива на основі даних про вміст газів у викидах (CO_2 , N_2 , O_2) і кількість водяної пари, що виникає внаслідок реакції між воднем у паливі та киснем у повітрі.

$$\text{ККД котла } (\eta) = 100 - (\text{частка втрат при згорянні палива}) - (\text{частка втрат з поверхонь}) - (\text{частка втрат від неспалених залишків у золі})$$

3.6.3.2. Системи стисненого повітря

Існує декілька поширених показників ефективності компресора: адіабатичний, ізотермічний і механічний ККД. Обчислюються вони шляхом поділу, відповідно, ізотермічної й адіабатичної потужності на фактичне споживання енергії. Обчислення ізотермічної потужності виключає необхідність подолання опору тертя і дає результат, нижчий за адіабатичний ККД. Це важливо враховувати при виборі компресорів – виробники, як правило, вказують адіабатичну (теоретичну) потужність, необхідну для роботи компресора. На практиці споживання енергії буде дещо вищим у зв'язку з механічними втратами.

З практичної точки зору найкращим показником для порівняння ефективності компресорів є питоме споживання енергії різних установок, що виконували б однакову роботу. Ізотермічний ККД багатоступеневого компресора можна обчислити як відношення теоретичного обсягу енергії, що необхідна для виконання роботи, до фактичного вимірюваного енергоспоживання. Це буде загальний показник ефективності і для компресора, і для приводу.

Цей метод можна адаптувати для оцінки роботи компресора з метою визначення відхилень від номінальних значень, оцінки його експлуатаційних характеристик, планування технічного обслуговування тощо.

$$\text{Теоретична потужність (кВт)} = \left(\frac{NK}{K-1} \right) \left(Q \frac{P_s}{0.612} \right) \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{K-1}{NK}} - 1 \right]$$

де N - кількість ступенів,

K - відношення питомих теплоємностей (для повітря - 1,35),

P_s - тиск на вході кг/см²,

P_d - тиск на виході кг/см²,

Q - фактичний потік повітря (м³/хв).

Фактична потужність = $\sqrt{3} U I \times \cos\phi$ згідно з вимірюваннями, де $\cos\phi$ - коефіцієнт потужності.

$$\text{Спільний ККД компресора і приводу} = \frac{100 \times \text{Теоретична потужність (кВт)}}{\text{Фактична потужність (кВт)}}$$

Також практикується обчислення і додавання роботи компресора по ступенях (теоретичної потужності), у разі, якщо інтеркулери працюють не оптимальним чином.

$$\text{Питоме споживання енергії (кВт*год/м}^3\text{)} = \frac{\text{Фактичне споживання енергії компресором}}{\text{Фактичний потік повітря}}$$

3.6.3.3. Холодильні установки

Холодопродуктивність часто виражається у тоннах охолодження (tons of refrigeration - TR).

1 тонна охолодження (TR) = 12652 кДж/год.

Питоме споживання енергії у кВт*год/кДж є гарним показником ефективності холодильної установки. Оскільки він зівставляє холодопродуктивність у TR зі споживанням енергії у кВт, його часто використовують у якості показника енергоефективності.

Холодопродуктивність у TR визначається так:

$$TR = Q \cdot C_p \cdot (T_i - T_o) / 12652,$$

де TR - холодопродуктивність,

Q - витрата холодильного агента у кг/год,

C_p - Теплоємність холодильного агента у кДж/кг/°C,

T_i - температура холодильного агента на вході до випаровувача (чилера) у °C,

T_o - температура холодильного агента на виході з випаровувача (чилера) у °C.

Таку холодопродуктивність ще називають «TR чилера». У централізованій водяній системі охолодження, окрім компресора, енергію також споживають насос для холодної води, насос конденсатора та вентилятор градирні. Таким чином, загальне енергоспоживання - це сума:

- споживання компресора у кВт;
- споживання насосу холодної води у кВт;
- споживання водяного насоса конденсатора у кВт;
- споживання вентилятора градирні у кВт.

Відповідно, для визначення питомого споживання енергії (кВт/TR), необхідно врахувати:

- кВт/TR компресора;
- кВт/TR насоса холодної води;
- кВт/TR водяного насоса конденсатора;
- кВт/TR вентилятора градирні;
- і загальний показник кВт/TR, що є їхньою сумою.

Коефіцієнт ефективності (coefficient of performance - COP), стандартний

показник ефективності ідеальної холодильної установки, залежить від двох показників температури в системі – температури випаровувача (T_e) і температури конденсатора (T_c). COP обчислюється так:

$$COP = T_e / (T_c - T_e).$$

Ця формула показує, що підвищення COP досягається шляхом підвищення температури випаровувача і зниження температури конденсатора.

Оцінюючи ефективність, необхідно використовувати точні інструменти для вимірювання температури води на вході до та виході з чилера, а також температури води в конденсаторі. Бажано, аби ціна поділки становила $0,1^\circ\text{C}$. Вимірювання витрати охолодженої води можна здійснювати за допомогою ультразвукового лічильника або ж виводити з технічних параметрів насоса. Перевірку параметрів охолодженої води потрібно проводити часто, більшість типів обладнання розраховані на показник $0,68 \text{ м}^3/\text{год}/\text{TR}$ ($3 \text{ г/хв}/\text{TR}$). Вимірювання витрати води в конденсаторі також можна проводити за допомогою неконтактного лічильника чи виводити з технічних параметрів насоса. Перевірку параметрів води в конденсаторі потрібні часто, більшість типів обладнання розраховані на показник $0,91 \text{ м}^3/\text{год}/\text{TR}$ ($4 \text{ г/хв}/\text{TR}$).

Для установок кондиціонування повітря витрату повітря біля вентиляторних блоків чи блоків підготовки повітря можна виміряти за допомогою анемометра. Температури сухого і вологого термометра фіксуються на входах та виходах блоків підготовки повітря і вентиляторних блоків, а холодопродуктивність у TR визначається так:

$$TR = \frac{Q \times \rho \times (h_{in} - h_{out})}{3024}$$

де Q – потік повітря у $\text{м}^3/\text{год}$;

ρ – густина повітря у $\text{кг}/\text{м}^3$;

h_{in} – ентальпія повітря на вході, $\text{кДж}/\text{кг}$;

h_{out} – ентальпія повітря на виході, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Використання зручних психрометричних діаграм дозволить визначити h_{in} та h_{out} на основі температур сухого і вологого термометра, які вимірюються за допомогою пращевого психрометра.

Вимірювання електричних показників компресорів, насосів, вентиляторів блоків підготовки повітря, вентиляторів градирень можна здійснювати портативним аналізатором.

Також можливо провести оцінку навантаження на систему кондиціонування, обчисливши явні та потенційні теплові навантаження на основі характеристик повітря на вході та виході, особливості забору повітря, обсяг повітряного потоку, кількість людей і тип об'єктів у приміщенні.

Приклади типових показників навантаження:

Невеликі офісні приміщення

$0,1 \text{ TR}/\text{м}^2$

Офіс середнього розміру на 10–30 чоловік із централізованою системою кондиціонування повітря

$0,06 \text{ TR}/\text{м}^2$

Багатоповерховий офісний комплекс із централізованою системою кондиціонування повітря

$0,04 \text{ TR}/\text{м}^2$

3.6.3.4. Освітлення

У більшості випадків від систем внутрішнього освітлення вимагається забезпечити певний показник освітленості горизонтальних поверхонь чи то на всій площі приміщення, чи у певних його точках.

Метою аналізу є визначення ефективності встановленої чи запланованої системи освітлення у лк/Вт/м². Отримане значення можна зіставити з нормами для певних типів об'єктів та робіт і оцінити можливості вдосконалення системи.

Ефективність установленої потужності для діючої чи запланованої системи освітлення можна оцінити, виконавши дослідження, описане далі.

Визначення термінів

СЕРЕДНЯ ПОСТІЙНА ОСВІТЛЕНІСТЬ – середнє арифметичне значень освітленості, виміряних у різних точках приміщення.

ІНДЕКС КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ (CRI) –

показник, що вказує на те, як світло від даного джерела впливає на сприйняття кольорів предметів. Для визначення CRI лампи, за допомогою спеціального обладнання проводиться вимірювання кольорових параметрів набору стандартних кольорових карток під дією світла еталонного джерела, що має таку саму корельовану колірну температуру, як і лампа, яка проходить оцінку. Якщо лампа передає кольори карток так само, як і еталонне джерело світла, її CRI дорівнює 100. Якщо кольоропередача різниться від тієї, яку продемонструвало еталонне джерело, ІКП буде нижчим за 100. Низький ІКП вказує на те, що кольори можуть виглядати неприродно у світлі лампи.

ЛЮМЕН (ЛМ) –

це світловий потік від джерела світла (лампи) при температурі навколишнього середовища 25°C, виміряної в еталонних умовах Класифікація ламп за кількістю люменів вказує на кількість світла, яку вони виробляють. На джерелах світла зазначають інформацію про їх світловий потік у люменах.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ –

середній постійний рівень освітленості горизонтальної робочої поверхні, що приходить на один ват потужності мережі. Одиниця вимірювання: люкс на ват на квадратний метр (лк/Вт/м²).

ПИТОМА ПОТУЖНІСТЬ.

Питома потужність на 100 люкс – потужність на, необхідна для забезпечення на горизонтальній робочій поверхні із площею 1 м² рівня середньої постійної освітленості в 100 люкс. Одиниця вимірювання: ват на метр квадратний на 100 люкс (Вт/м²/100 лк)

$$\text{Питома потужність} = \frac{100}{\text{Ефективність установленої потужності} \left(\frac{\text{ЛК}}{\text{ВТ}} / \text{м}^2 \right)}$$

$$\text{Коефіцієнт ефективності установленої потужності (ILER)} = \frac{\text{Фактичне} \frac{\text{ЛК}}{\text{ВТ}} / \text{м}^2}{\text{Цільове} \frac{\text{ЛК}}{\text{ВТ}} / \text{м}^2}$$

ЛЮКС –

одиниця вимірювання освітленості поверхні. Один люкс дорівнює одному люмену на квадратний метр.

ПОТУЖНІСТЬ МЕРЕЖІ –

загальна встановлена потужність освітлювальної мережі, що споживається лампами й пускорегулювальною автоматикою.

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ (СВІТЛОВІДДАЧА) –

кількість світла (у люменах), яку виробляє лампа на кожен ват, що його споживає освітлювальна мережа (з урахуванням втрат в пускорегулювальної автоматичі, ПРА). Саме для ламп, які оснащені ПРА, цей показник є більш інформативним. Одиниця вимірювання: люмен на ват (лм/Вт).

Оцінка ефективності системи освітлення У таблиці наведено кроки, які необхідно здійснити для оцінки ефективності системи освітлення.

Таблиця 4. Процес оцінки ефективності системи освітлення

Крок 1	Виміряти площу підлоги приміщення:	Площа =m ²
Крок 2	Обчислити індекс приміщення (room index – RI):	RI =
Крок 3	Визначити загальну потужність освітлювальної мережі шляхом вимірювання, якщо його можливо провести. Якщо це неможливо, можна скористатися приблизним значенням, отриманим шляхом додавання потужності ламп і баластів:	Потужність мережі =Вт
Крок 4	Обчислити відношення потужності до площі – показник кроку 3 ÷ показник кроку 1:	Вт/м ² =
Крок 5	Визначити середню постійну освітленість за допомогою люксметра:	СПО = лк
Крок 6	Поділити параметр 5 на 4 і визначити ефективність установленої потужності:	лк/Вт/м ² =
Крок 7	Обчислити цільовий показник лк/Вт/м ² , враховуючи тип приміщення і виконувані роботи та індекс приміщення (крок 2):	Цільове лк/Вт/м ² =
Крок 8	Обчислити коефіцієнт ефективності установленої потужності (6 ÷ 7).	ILER =

Крок 2: Обчислення індексу приміщення

Індекс приміщення визначаємо за формулою:

$$RI = L \times W / Hm (L + W), \text{ де}$$

L – довжина приміщення;

W – ширина приміщення;

Hm – відносна висота кріплення, тобто висота розміщення джерел світла відносно горизонтальної робочої поверхні. Як правило, вважається, що робоча поверхня розміщується на висоті 0,75 м від підлоги в офісних приміщеннях і 0,85 м від підлоги у виробничих приміщеннях.

Крок 5: Оцінка середньої постійної освітленості за допомогою люксметра

Немає значення, яка одиниця вимірювання використовуватиметься для ширини, довжини та висоти (м, см, ярди, фути). Важливо, аби це була одна й та сама одиниця для всіх величин.

Скористайтеся таблицею 5 для визначення мінімальної кількості необхідних вимірювань. Можливо, доведеться збільшити кількість точок вимірювання, аби проміжки між ними по довжині та ширині були приблизно однаковими (утворилась «квадратна сітка»).

Таблиця 5: Кількість необхідних точок вимірювання

Індекс приміщення	Мінімальна кількість точок вимірювання
Нижче 1	9
Між 1 і 2	16
Між 2 і 3	25

Наприклад, якщо розміри приміщення становлять: довжина = 9 м, ширина = 5 м, відносна висота кріплення джерел світла (H_m) = 2 м.

Відповідно до таблиці 5, мінімальна кількість точок вимірювань – 16.

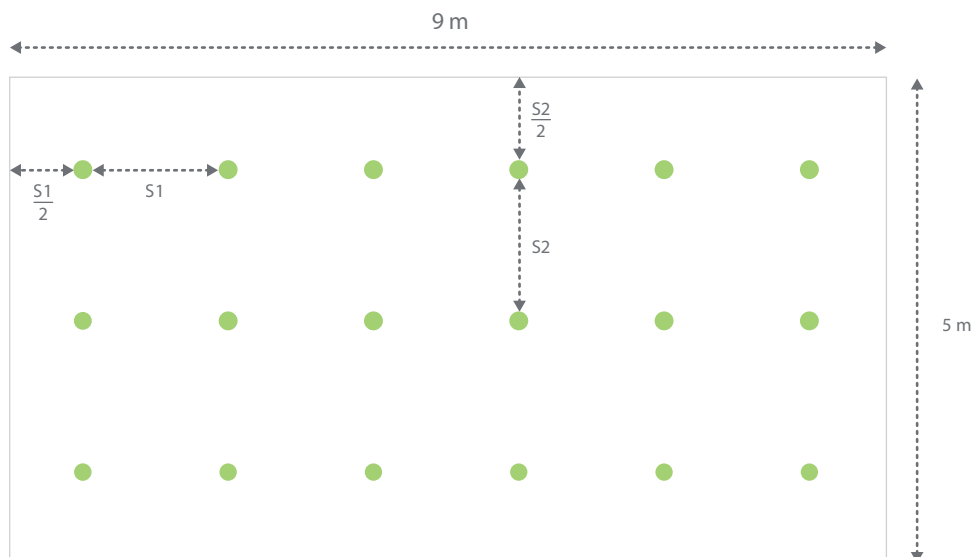
Оскільки розподілити 16 точок вимірювання у вигляді «квадратної сітки» в такому приміщенні неможливо, кількість точок доведеться збільшити, наприклад, до 18, тобто 6×3 .

Розподілити їх слід так, як показано на рисунку 5.

У цьому прикладі відстань між точками по довжині становить

$9 \div 6 = 1.5$ м, і остання точка знаходиться на $1.5 \div 2 = 0.75$ м від стіни.

Рисунок 5. Схема-приклад розміщення точок вимірювання



Крок 7:
Цільове
значення
ефективності
встановленої
потужності
лк/Вт/м²

Аналогічно, відстань між точками по ширині становить $5 \div 3 = 1.67$ м, і, відповідно відстань між останньою точкою і стіною становить половину цієї величини, 0,83 м.

Якщо сітка точок вимірювання точно збігається з точками кріплення джерел світла, можливі серйозні похибки у вимірюваннях. У такому разі слід збільшити кількість точок вимірювання.

Різниця між цілями для комерційних та промислових приміщень при CRI 40–85 (колонки 2 і 3) таблиці 6 пов'язана із нижчим коефіцієнтом запасу в другому випадку.

Цільові значення для окремих промислових приміщень при CRI 40–85 відповідають колонці 2.

Таблиця 6. Значення цільового показника лк/Вт/м² для постійної середньої освітленості горизонтальної поверхні

Індекс приміщення	Комерційні (офіси, торгові точки) й окремі промислові приміщення. Стандартна і висока кольоропередача, ІКП 40–85.	Промислові приміщення (цехи, склади тощо) Стандартна і висока кольоропередача, ІКП 40–85.	Промислові приміщення, в яких існує мінімальна потреба в кольоропередачі, ІКП 20–40
5	53	49	67
4	52	48	66
3	50	46	65
2.5	48	44	64
2	46	42	61
1.5	43	39	58
1.25	40	36	55
1	3	33	52

**Крок 8:
Обчислення
коефіцієнту
ефективності
установленої
потужності (ILER)**

Порівнюємо обчислений коефіцієнт ILER з інформацією в Таблиці 6.

$$\text{Коефіцієнт ефективності установленної потужності (ILER)} = \frac{\text{Фактичне } \frac{\text{лк}}{\text{Вт}} / \text{м}^2}{\text{Цільове } \frac{\text{лк}}{\text{Вт}} / \text{м}^2}$$

Показники ILER=0,75 і більше можуть вважатися задовільними. Системи з показником у діапазоні 0,51–0,74 заслуговують уваги та пошуку шляхів імовірних удосконалень. Можливо, існують вагомні причини для використання менш ефективних джерел світла, наприклад, для досягнення певного рівня освітленості, однак надзвичайно важливо перевірити, чи є можливість впровадження кращих альтернатив.

Діючі системи з показником ILER=0.5 і менше потребують ретельного огляду й аналізу для визначення можливостей використання більш ефективного обладнання.

Після визначення показника ILER для діючої системи освітлення, різницю між ним та ідеальним показником (1,0) можна використати для обчислення обсягу нераціонального енергоспоживання.

Формула:

*Річний обсяг національного енергоспоживання (кВт*год/рік) = (1,0 - ILER) x Загальна потужність (кВт) x к-ть годин роботи системи за рік (год/рік)*

Цей процес – порівняння ефективності установленної потужності з цільовим значенням при даному індексі приміщення і типі робіт – можна також використовувати для оцінки ефективності проектів нових систем освітлення. Якщо обчислена ефективність установленної потужності (лк/Вт/м²) нижча за цільовий показник, слід з'ясувати причини.

Можливо, згідно з певними вимогами доводиться використовувати менш ефективні джерела світла або ж коефіцієнт відбиття нижчий за типові показники, приміщення забруднене тощо. Незалежно від причини, слід перевірити, чи не доступні більш ефективні варіанти.

Таблиця 7: Показники ефективності

ILER	Оцінка
0.75 і більше	Задовільно – добре
0.51 – 0.74	Рекомендується вдосконалення
0.5 і менше	Необхідні негайні заходи

3.6.3.5. Електричні двигуни

3.6.3.5.1. Визначення фактичного навантаження двигуна

Шляхом вимірювання вхідної потужності.

Спершу необхідно виміряти фактичну споживану потужність P за допомогою ручного чи стаціонарного ватметра:

P = трифазна потужність у кВт.

Також необхідно занотувати номінальну потужність (кВт) і ККД, зазначені в технічних характеристиках двигуна.

Потужність, наведена в технічних характеристиках, вказана за номінальних умов роботи двигуна. Відповідно, споживана потужність при номінальному навантаженні обчислюється так:

$$P_{ir} = \frac{\text{Номінальна потужність із характеристик (кВт)}}{\eta_{fl}}$$

де η_{fl} - ККД при максимальному номінальному навантаженні,
 P_{ir} - споживана потужність при максимальному номінальному навантаженні.

Відсоток навантаження тепер можна визначити наступним чином:

$$\text{Навантаження} = \frac{P_i}{P_{ir}} \times 100$$

Шляхом вимірювання сили струму

Цей метод використовують, коли неможливо виміряти фактичну споживану потужність і доступні лише вимірювання сили струму. Сила струму двигуна загалом лінійно залежить від навантаження на нього у діапазоні 75-100% навантаження. Нижче показника 75% коефіцієнт потужності починає зменшуватися, і лінійна залежність порушується. Відповідно, у діапазоні нижче 75% навантаження цей метод не є адекватним для визначення навантаження. Хоча певною мірою його все одно можна використовувати як попередній, з метою визначення надміру потужних двигунів.

$$\% \text{ Навантаження} = \frac{\text{Фактична сила струму на вході}}{\text{Номінальна сила струму на вході}} * 100$$

Шляхом визначення синхронної частоти обертання

За відсутності ватметра, можна скористатися методом синхронної частоти обертання. Для цього знадобиться тахометр. Слід врахувати, що цей метод також не дає точного показника навантаження на двигун.

$$\% \text{ Навантаження} = \frac{C_{\text{ЧО}}}{S_s - S_r} * 100,$$

де $C_{\text{ЧО}}$ - синхронна частота обертання, об/хв,
 S_s - робоча синхронна частота, об/хв,
 S_r - номінальна частота при повному навантаженні.

3.6.3.5.2. Оцінка роботи моторів, що пройшли перемотку

За ідеальних умов слід порівнювати ефективність роботи двигуна до і після перемотки. Найбільш простою процедурою є реєстрація сили струму при нульовому навантаженні для всіх використовуваних двигунів. Після низькоякісної перемотки цей показник зростатиме. Також аналіз процедури перемотки може допомогти скласти уявлення про якість роботи. Якщо для перемотки використовуються дроти з меншим діаметром, то опір і втрати I^2R зростатимуть.

Пропонуємо форму для моніторингу роботи двигунів після перемотки:

Підрозділ	Код системи	Код двигуна	Тип двигуна		Струм без навантаження				Опір стартера		Втрати без навантаження	
			Короткоз. ротор	Конт. кільця	Новий		Після перемотки		Новий	Після перемотки	Новий	Після перемотки
					A	B	A	B				

3.6.4. Базовий рівень енергоспоживання та показники енергоефективності

Важливо мати змогу обчислювати обсяги збереження енергії та порівнювати дані про споживання з встановленим базовим енергоспоживанням. Для цього необхідно визначити ПЕЕ. Зміни в енергоефективності можна обчислювати на основі ПЕЕ для цілих об'єктів, окремих систем, процесів та одиниць обладнання. Відповідно, аби порівняти енергоефективність у базовий та звітний періоди, необхідно визначити відповідну різницю у значеннях ПЕЕ.

За детальною інформацією про впровадження й використання ПЕЕ та базового рівня енергоспоживання просимо звертатися до стандарту ISO 50006:2014.

3.6.5. Аналіз рахунків

Рахунки за постачання енергетичних ресурсів допомагають у здійсненні аналізу витрат на енергоносії. Для належної роботи необхідно чітко розуміти зміст цих рахунків. Зведення даних про використання електроенергії з усіх джерел (у тому числі від когенераційних установок, дизельних генераторів тощо), порівняння вартості одиниці енергії з кожного джерела, проведення оцінки питомого споживання енергії може послужити важливим джерелом інформації для енергетичного менеджера/аудитора у процесі оптимізації витрат підприємства на енергоносії.

3.6.5.1. Рахунки за електроенергію та газ

Порядок розрахунків за спожиті електричну енергію та газ у даний час визначаються наступними документами: Кодекс комерційного обліку електричної енергії, Правила роздрібного ринку електричної енергії, Кодекс газорозподільних систем, Правила постачання природного газу [30-33].

Окрім безпосередньо даних про обсяги споживання ресурсів важливими для енергоаудитора даними може бути тариф на транспортування, оскільки одним із заходів зменшення витрат на енергоносії (особливо електроенергію) може бути вибір постачальника із меншим тарифом.

Однак, таких заходів має бути ретельно прораховано, тому що деякі постачальники електроенергії вимагають від своїх споживачів оплати штрафних санкцій за дострокове розірвання договору про постачання електричної енергії споживачу.

Щоб визначити навантаження на мотор, можна скористатися наступною формою:

Формат польових вимірювань двигуна

Компанія Розташування

Дата Процес

Відділ

Загальні дані

Привідне обладнання

Дані з паспортної таблички

Виробник

Модель

Серійний номер

Тип: короткозамкн./конт.кільце

Розмір (к.с./кВт)

Кількість синхр. об/хв

Об/хв при повноу навантаженні

Номнальна напруга

Сила струму при

повному навантаженні

Коефіцієнт потужності при повному

навантаженні (%)

ККД при повному навантаженні (%)

Підвищення температури

Клас ізоляції

Із сертифіката випробування

Навант.	100%	75%	25%	Немає
Струм				
КП				
ККД				

Опір статора на фазу =

Заміна обмотки

Так (якщо так - скільки разів?)

Ні

Навантаження двигуна у %

Розташування

Процес

Відділ

Характер експлуатації двигуна

Кількість годин роботи

I зміна

II зміна

III зміна

Тривалість роботи за рік _____ год/рік

Тип навантаження:

1. Навантаження досить постійне, двигун увімкн. під час зміни

2. Навантаження вмикається, вимикається, але постійне під час роботи

3. Навантаження вмикається, вимикається і коливається пі час роботи.

Виміряні дані

Вхідна напруга згідно вольметра

V_{RY}

V_{YB} $V_{срдн}$

V_{BR}

Сила струму на вході згідно амперметра

A a

A b

A c

Коефіцієнт потужності (КП)

Вхідна потужність (кВт)

Робоча швидкість двигуна _____ об/хв

При частоті

Робоча швидкість привідного обладнання об/хв

Тип трансмісії

(пряма/шестерні/гідравліка)

.....

У загальному випадку рахунок за електроенергію може містити таку інформацію:

- плата за максимальне навантаження;
- дані про перевищення максимальної потужності, що було зареєстроване протягом місяця і відповідні штрафи;
- штрафи, пов'язані з коефіцієнтом потужності.

Аналіз обсягів закупівель електроенергії за останній рік та розподілу вартості може дозволити підприємству визначити перспективні заходи, такі як приведення коефіцієнту потужності у відповідність до вимог для уникнення штрафів або встановлення системи технічного обліку для оперативного реагування та уникнення перевищення договірної потужності.

Акти або рахунки наданих послуг з розподілу природного газу можуть також містити не обсяг фактично спожитого газу, а також кількість спожитої енергії у МВт*год або Гкал, яка розраховується постачальником на основі складу та теплотворної здатності природного газу. Це може дати додаткові можливості для аналізу ККД роботи газоспоживного обладнання у разі наявності системи технічного обліку виробленого тепла/пари, тощо.

3.6.5.2. Рахунки за тверде або рідке паливо

Фактичні показники споживання палива встановити непросто, оскільки воно, як правило, не відстежується належним чином. Місячні показники споживання зазвичай визначають на основі даних про обсяги і дати надходження палива, що можуть не відповідати фактичному споживанню. Оцінити обсяги споживання вугілля можна на основі ККД згоряння та випуску енергії відповідного обладнання. Споживання рідкого палива можна оцінити на основі даних лічильників, якщо такі встановлено на резервуари, де воно зберігається, чи на обладнанні, що його споживає. За відсутності лічильників можна застосовувати той самий метод, що і для вугілля.

3.6.6. Бенчмарк аналіз

Бенчмаркінг та порівняння можна використовувати для того, аби зіставити показники енергоефективності компанії з аналогічними параметрами інших компаній. Показники підприємства можна порівнювати з:

- його власними показниками в минулому;
- середніми показниками галузі;
- показниками лідерів галузі;
- кращими практиками – порівняння можна проводити відносно конкретних практик чи технологій, що вважаються кращими в галузі, без прив'язки до конкретних підприємств.

Також бенчмаркінг може використовуватися для оцінки впливу заходу (заходів) підвищення енергоефективності. На державному рівні відповідні органи можуть використовувати бенчмаркінг для пріоритезації заходів енергозбереження та розробки програм щодо зменшення викидів парникових газів. Також можуть проводитися міжнародні порівняння, в ході яких формується бенчмарк енергоефективності певного типу підприємства в одній країні, після чого з ним зіставляються показники енергоефективності таких підприємств у іншій. Ця частина посібника зосередить увагу на застосуванні бенчмаркінгу на рівні підприємства і не розглядатиме питання, пов'язані з бенчмаркінгом як політичним інструментом.

Використання бенчмаркінгу дозволяє енергетичним менеджерам і ауди-

торам визначати кращі практики, що можуть бути відтвореними на підприємстві. Менеджери отримують змогу користуватися чіткими орієнтирами, визначати та заохочувати успіх у сфері енергозбереження. Відповідно, вони зможуть не лише відзначати успішні підрозділи, а й ідентифікувати ті об'єкти і технологічні процеси, що вимагають негайного вдосконалення.

Основні кроки в процесі бенчмаркінгу:

визначення рівня порівняння (наприклад, окрема технологія, виробнича лінія, цілий промисловий об'єкт).

розробка метрики: вибір одиниць вимірювання, що адекватно відображають енергетичні параметри об'єкта (наприклад, кВт·год/т продукції, ГДж/т продукції тощо).

проведення порівняння показників об'єкта з бенчмарком. Реєстрація параметрів протягом певного періоду часу з метою визначення того, як змінюється енергоефективність, і вжиття відповідних заходів (US EPA 2007).

3.7. Представлення звіту за результатами енергоаудиту

Після успішного проведення енергоаудиту об'єкта аудитор готує звіт про енергоаудит і презентує його вищому керівництву підприємства з метою представлення результатів та розроблення плану подальшої реалізації рекомендацій. До посібника додається шаблон типового звіту про енергоаудит. Він представляє типовий зміст і оформлення звіту. Цей формат має бути застосовним для більшості підприємств і галузей промисловості; однак у нього можуть бути внесені зміни та доповнення з огляду на специфіку певної галузі.

Підготовлений енергоаудитором звіт має бути прозорим, логічним та зрозумілим. Він має включати виклад основних результатів аналізу, інформацію про об'єкт, документи, що стосуються можливих заходів та рішень, спрямованих на поліпшення енергоефективності.

3.8 Заключна нарада

Підприємство отримує звіт про енергоаудит і має змогу ознайомитися з ним перед заключною нарадою, під час якої енергоаудитор:

- a) представляє результати енергоаудиту так, аби вони полегшили процес прийняття рішень для керівництва підприємства;
- b) пояснює суть результатів і відповідає на запитання;
- c) якщо це актуально, визначає питання і сфери, що потребують додаткового аналізу і наступних дій з боку енергоаудитора.

Також енергоаудитор може допомогти підприємству розробити план дій для успішної реалізації заходів енергозбереження.

3.8.1. Розробка плану дій

На практиці нерідко виникають перешкоди для втілення заходів підвищення енергоефективності, що рекомендуються енергоаудитором. Саме тому доцільно розробити чітку процедуру, яка забезпечуватиме їхню реалізацію. План дій для реалізації заходів має бути викладений зрозумілою мовою, встановлювати чіткі цілі та завдання, а також визначати відповідальних осіб (Австрійське енергетичне агентство 2007).

Детальний план дій допомагає забезпечити системну реалізацію заходів енергоефективності. У нього можна вносити регулярні оновлення, як правило, щорічно, з урахуванням досягнень енергетичного менеджменту та змін у виробництві та пріоритетах підприємства. Обсяг і масштаб плану дій суттєво залежить від особливостей підприємства, однак загалом першими кроками в його розробці є:

1. Визначення технічних кроків і цілей.
2. Визначення відповідальних осіб і виділення ресурсів.

Усі відповідальні сторони (наприклад, керівництво підприємства, енергоменеджер, його підлеглі, керівники підрозділів та інженери) мають бути залучені до виконання плану дій, аби усім були зрозумілими заплановані заходи.

Визначення технічних кроків і цілей

Результати енергоаудиту можуть вказати на поточний рівень енергоефективності підприємства та його відставання від оптимальних характеристик. Відповідно, на основі цієї інформації можна визначити та проранжувати можливості підвищення енергоефективності. Ключовими кроками цього процесу є:

- визначення цілей енергоефективності для кожного підрозділу підприємства з метою відстеження прогресу їхньої реалізації;
- встановлення графіку впровадження заходів, що передбачатиме регулярні зустрічі ключового персоналу з метою оцінки прогресу, визначення строків реалізації, ключових досягнень та очікуваних ефектів.

Необхідно створити систему та процедури моніторингу, що відстежуватимуть прогрес і наслідки реалізації визначених заходів. Така система має відслідковувати зміни у споживанні енергії та процес впровадження заходів з підвищення енергоефективності.

Визначення відповідальних осіб і виділення ресурсів

Слід призначити відповідальних осіб на ключові ролі всередині підприємства. План дій має визначати, хто бере участь у реалізації програми енергоефективності і які обов'язки покладаються на кожного учасника. Залежно від особливостей підприємства план дій може залучати такі підрозділи:

- господарська частина і оперативне керівництво;
- фінансова частина (капітальні інвестиції, бюджетне планування);
- відділ кадрів (набір персоналу, навчання, впровадження робочих стандартів);
- відділ технічного обслуговування або служба головного механіка.
- Відділ закупівель (придбання обладнання, матеріалів та енергоносіїв);
- відділ архітектурного і технічного проектування;
- служба головного енергетика;
- команди з розробки нових продуктів та процесів;
- відділ комунікацій і маркетингу;
- відділ техніки безпеки та екологічного контролю;
- визначення ключових осіб за межами підприємства.

План дій також має визначати рівень залучення консультантів та підприємств, що пропонують товари і послуги. Підприємство може доручити виконання цілих частин свого плану дій підрядникам, або ж, навпаки, співпрацювати з окремими постачальниками в межах конкретних заходів. У разі, якщо планується залучення підрядників, план дій має встановлювати критерії, за якими оцінюватимуться їхні пропозиції. Параметри оцінки ефективності їхньої роботи мають включатися в тексти угод із підрядниками.

Для кожного проекту чи програми, передбачених планом дій, слід провести оцінку необхідних фінансових і людських ресурсів.

3.8.2. Реалізація плану дій

Ключовим для успішної реалізації плану дій є залучення й підтримка з боку всіх працівників підприємства, що беруть участь у програмах підвищення енергоефективності. У ході реалізації плану слід здійснювати наступні кроки:

- 1. Створення плану комунікацій:** інформація має бути націлена на відповідні групи працівників і інформувати їх про план дій з енергоефективності.
- 2. Підвищення обізнаності:** за рахунок поінформованості слід нарощувати підтримку цілей енергозбереження на всіх рівнях підприємства.
- 3. Нарощення потенціалу:** за рахунок навчальних програм, доступності інформації та використання найкращих успішних практик і процедур слід нарощувати потенціал персоналу у сфері енергозбереження.
- 4. Мотивація:** слід створити систему стимулів, що заохочуватиме персонал до підвищення енергоефективності та досягнення цілей підприємства.
- 5. Моніторинг і контроль:** слід використовувати систему та процедури моніторингу, створені в рамках плану дій, для постійного відстеження прогресу та значень ПЕЕ.

Оцінка ефективності заходів

Керівники підприємства можуть оцінювати прогрес впровадження заходів, передбачених планом дій, на основі даних про споживання та використання енергії, шляхом порівняння їх із поставленими цілями. Така оцінка може використовуватися для коригування плану дій та виокремлення позитивного досвіду. Регулярна оцінка енергоефективності й успішності запланованих ініціатив також дозволяє енергоменеджерам:

- визначати ефективність реалізованих проєктів та програм;
- приймати обґрунтовані рішення про майбутні проєкти у сфері енергетики;
- заохочувати успіх окремих працівників та команд;
- фіксувати додаткові можливості для заощаджень, а також неенергетичні покращення в роботі підприємства, що в майбутньому може використовуватися як аргумент для реалізації нових заходів.

Варто підкреслити, що підприємство повинно мати програму енергозбереження, аби могли повною мірою скористатися результатами енергоаудиту щоб досягти стабільного підвищення енергоефективності. Якщо у нього немає програми енергоменеджменту, аудит, найімовірніше, стане одноразовою подією, а рівень виконання рекомендацій аудиту буде низьким.



4. Стандарт ДСТУ ISO 50002:2016

Аудит інвестиційного класу та комплексний енергетичний аудит (тип 3)

4.1. Аудит інвестиційного класу

Аудит інвестиційного класу (investment grade audit, AIG) є детальним проектом з підвищення енергоефективності, який велику увагу приділяє фінансовим питанням і рентабельності інвестицій. Комплексний аудит типу 3 відповідно до стандарту ДСТУ ISO 50002:2016 може використовуватись як основа для AIG. Однак, в рамках останнього існують деякі завдання, що не згадуються в стандарті для аудиту типу 3. Таким чином, у цьому розділі буде деталізовано вимоги до аудиту типу 3, а також додаткові кроки, необхідні для виконання AIG.

Стандарт ISO 50002 не вимагає, що аудит третього типу повинен передбачати наявність плану впровадження заходу або оцінки різних варіантів фінансування. Однак для розробки та ефективного впровадження заходу з підвищення енергоефективності ці розділи є надзвичайно важливими.

Процес проведення аудиту є таким же, як описано у попередньому розділі.

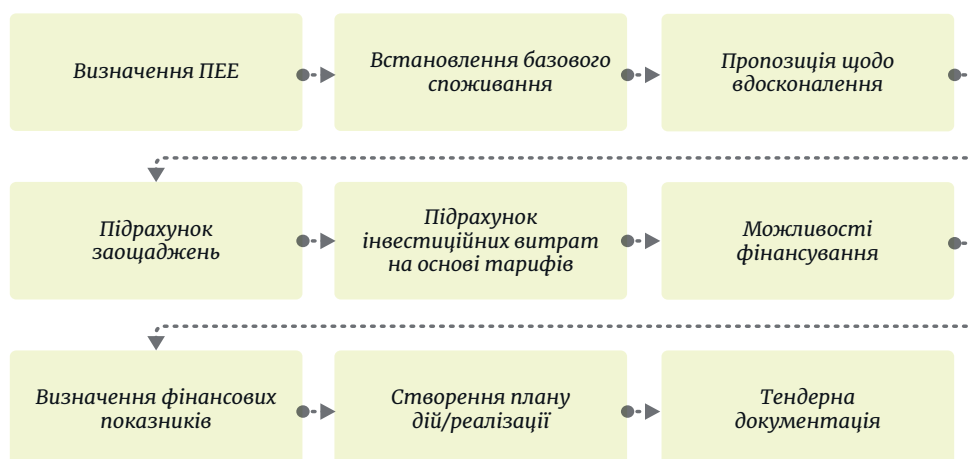
Результатом аудиту інвестиційного класу є звіт.

За допомогою цього звіту клієнт повинен мати можливість:

- прийняти інвестиційне рішення на основі запропонованого бізнес-плану;
- якщо необхідно – подати заявку на фінансування, базуючись на фінансових показниках;
- провести тендері на реалізацію запропонованого проекту;
- оцінити та перевірити заощадження після впровадження проекту.

Рисунок 6 демонструє робочий процес аудиту інвестиційного класу. Основним завданням AIG є встановлення показників енергоефективності, які бу-

Рисунок 6: Аудит інвестиційного класу



4.2. Визначення показника енергоефективності (ПЕЕ)

дуть використовуватися для визначення можливої економії енергії. ПЕЕ також важливі для вимірювання та верифікації (ВВ) після впровадження проекту.

Нижче наведено типові ПЕЕ для систем:

- **Освітлення:** світловіддача в люмен/Вт.
- **Кондиціонування повітря:** кВт*год охолодження/кВт*год електроенергії.
- **Водопостачання:** м³води/ кВт*год електроенергії.
- **Вироблення тепла (котлів):** м³ (або тонн) пари/м³ (або кг) пал

Зазвичай процес встановлення ПЕЕ такий:

- визначення межі використання ПЕЕ (ефективність якого споживача енергії цікавить);
- визначення та кількісна оцінка енергетичних потоків;
- визначення та кількісна оцінка відповідних змінних (наприклад, даних щодо погоди, обсягів виробництва та ін.);
- визначення та кількісна оцінка статичних чинників (наприклад, коефіцієнтів перерахунку одиниць);
- Збір даних (усі необхідні дані для ПЕЕ).

4.3. Нормалізація ПЕЕ

Визначення відповідного ПЕЕ.

Для визначення, чи є ПЕЕ «А» кращим за ПЕЕ «В», варто врахувати такі пункти:

- наскільки чітко або легко визначається межа;
- зусилля, необхідні для обчислення (інструмент вимірювання, час, людський ресурс, зміни в роботі);
- порівнянність (з іншими міжнародними бенчмарками, стандартами);
- точність (наскільки точно показник відображає дійсну ефективність);
- період часу (повинен представляти повний спектр операцій);
- відповідні змінні (їхня залежність від інших змінних і нормалізація).

Якщо ПЕЕ містить змінні, його необхідно нормалізувати, щоб порівняти з ПЕЕ інших підприємств, процесів тощо.

Наприклад: ПЕЕ кВт*год/м³ для котла залежить від температури навколишнього середовища і температури зворотної води.

Таблиця 8. Приклад вимірювання ПЕЕ для всього діапазону роботи котла

кВт*год/м ³	Температура навколишнього середовища (°C)	Температура навколишнього середовища (°C)
0.50	10	11.0
0.51	11	11.5
0.51	12	11.8
0.52	13	11.4
0.52	14	11.0
0.55	15	12.0
0.56	16	12.1
0.57	17	12.1
0.59	18	12.4
0.61	19	12.6
0.61	20	12.3

У таблиці 8 наведено приклади значень, отриманих в результаті вимірювань для всього діапазону роботи котла.

Для визначення залежності ПЕЕ від обох змінних можна використовувати Excel. За допомогою так званого регресійного аналізу залежність можна візуалізувати (Рис.7).

Рівняння для нормалізації вищевказаних чисел таке:

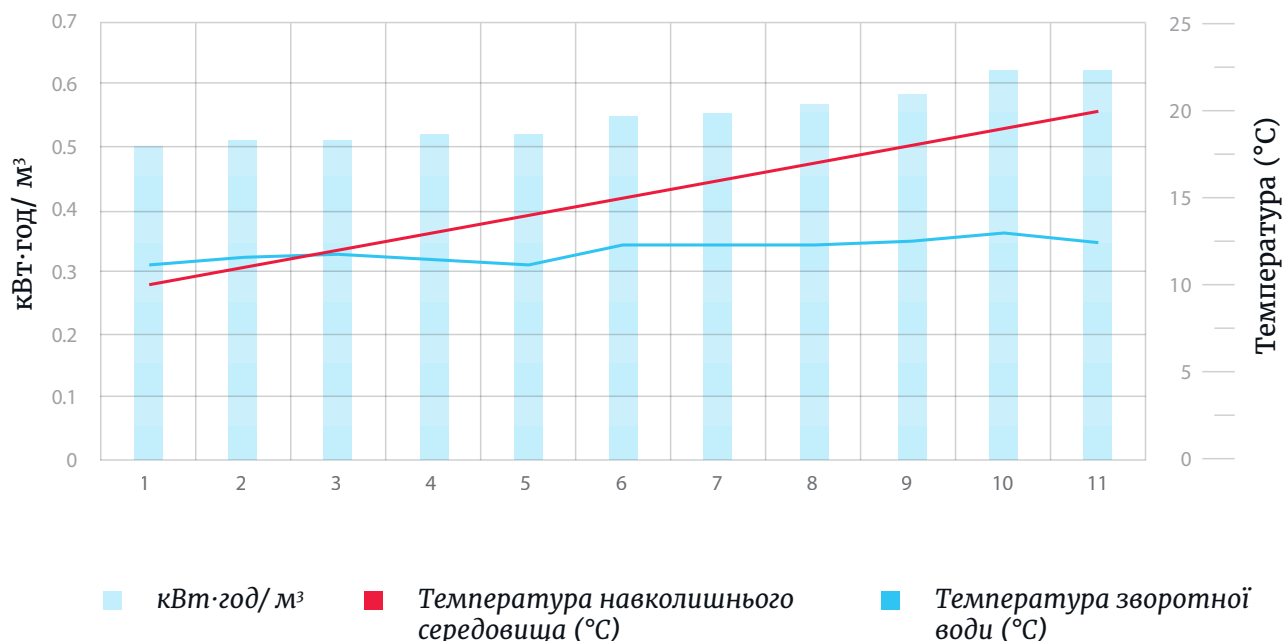
$$\text{кВт-год/м}^3 = X1 * \text{температура навколишнього середовища} + X2 * \text{температура зворотної води} + \text{Константа}$$

$X1 = 0,0097$ (демонструє коефіцієнт залежності від температури навколишнього середовища).

$X2 = 0,017$ (демонструє коефіцієнт залежності від температури зворотної води).

Константа = 0,2 (показує ступінь загальної залежності від усіх факторів, якщо дорівнює 0, то залежність дорівнює 100%).

Рисунок 7: Регресійний аналіз залежності



Це рівняння також слід використовувати для встановлення базового рівня енергоспоживання (базової лінії) для проведення моніторингу та верифікації після впровадження заходу з підвищення енергоефективності.

4.4. Встановлення базового споживання

БРЕ – це є кількість енергії, що використовується споживачем енергії в базовому періоді. Вона потрібна для розрахунку ефекту енергозбереження, що очікується від впровадження заходу з підвищення енергоефективності.

Важливі фактори для розгляду:

- базовий період (повинен відповідати нормальним робочим умовам, за можливості бажано використовувати кілька порівняльних періодів, наприклад, нормоване споживання протягом липня за останні три роки);
- наявність даних (історичні дані, оцінка з ПЕЕ тощо).

4.5. Пропозиція щодо вдосконалення

Як і у випадку з визначенням ПЕЕ, встановлення базових ліній споживання також є важливим кроком, який слід проводити ретельно, оскільки всі подальші розрахунки і оцінки залежать від отриманих результатів.

Для попередньої розробки заходу з підвищення енергоефективності слід враховувати:

- поточну конфігурацію та режим експлуатації обладнання;
- можливий вплив запропонованого заходу на поточне обладнання;
- можливу взаємодію з іншими заходами або процесами;
- гарантійні умови поточного обладнання;
- плани щодо розширення або зміни моделі роботи.

Приклад:

Ви визначили, що вторинного тепла відпрацьованих газів котла достатньо, щоб використовувати його в економайзері для попереднього нагрівання води, яка надходить до котла. При розробленні попереднього проекту встановлення економайзера вам слід врахувати наступне:

- поточна конфігурація котла та його навантаження;
- вплив економайзера на роботу котла, наприклад, збільшення опору системи видалення відпрацьованих газів;
- чи вплине встановлення економайзера на гарантійні умови від виробника котла;
- плани щодо зміни обсягу виробництва, які можуть вплинути на роботу та навантаження котла.

Варіант рішення

Для попереднього підігріву живильної води може бути встановлено кожухотрубний теплообмінник з урахуванням таких умов:

- властивості відхідних газів (витрата, температура, тиск);
- обсяги використання живильної води (кількість/витрата подачі води в котел);
- можливість конденсації відхідних газів у теплообміннику;
- збільшення опору системи видалення відпрацьованих газів через встановлення теплообмінника.

Розрахунок економічного ефекту.

На основі запропонованого проекту розраховують можливу економію енергії. При цьому необхідно брати до уваги такі фактори:

- базовий рівень споживання енергії;
- профіль навантаження;
- очікувані майбутні зміни.

Базовий рівень споживання енергії або профіль навантаження повинні представляти типове споживання енергії за обраний період (наприклад, споживання газу в листопаді, витрата електроенергії на зовнішнє освітлення у березні тощо). За можливості необхідно враховувати середні значення протягом кількох років/періодів. Якщо доступний детальний, вимірний профіль навантаження, потенціал економії енергії може бути розраховано більш точно. Крім того, слід оцінити можливість зміни процесів в майбутньому і чи повинні бути ці зміни враховані при розрахунках заощаджень.

Обсяг скорочення використання енергії завжди розраховується в першу чергу. Економія в євро, гривні чи тоннах викидів CO₂ може бути розрахована як функція від економії енергії.

При розрахунку заощаджень також слід враховувати додаткові неенергетичні ефекти, такі як:

- економія води;
- зменшення обсягів технічного обслуговування;
- зменшення фонду оплати праці;
- підвищення надійності;
- зменшення обсягів викидів парникових газів та пов'язаних із ними податків;
- податкові пільги.

Додаткові вигоди повинні бути кількісно визначені з точки зору вигод від витрат і включені до заощаджень.

Приклад:

Додаткові переваги від заміни вугільного котла на котел на природному газі:

- скорочення викидів парникового газу (може використовуватися для продажу дозвільних одиниць на викиди CO₂);
- зменшення обсягів технічного обслуговування (відсутність сажі в котлі та вихлопних трубах);
- підвищення надійності, зменшення часу)менший час початку роботи сприяє збільшенню продуктивності);
- податкові пільги (залежно від країни).

4.6. Розрахунок інвестиційних витрат

В АК запропоновані інвестиційні витрати мають базуватися на цінах та тарифах, встановлених постачальниками. Аудитор повинен бути незалежним від постачальників обладнання і отримати декілька комерційних пропозицій для порівняння цін.

Витрати повинні охоплювати:

- витрати на проектування (для складних проектів необхідне детальне інженерне проектування);
- витрати безпосередньо на обладнання;
- будівельні витрати;
- витрати на монтаж та введення в експлуатацію;
- транспортні витрати.

Існують компанії, що надають єдиний тариф для всіх вищевказаних послуг (інжиніринг, закупівлі та будівництво).

Таблиця 9. Приклад заходів з економії та відповідних витрат

Захід	Теплова та електроенергія	LED-освітлення
Початкові витрати	€200 000,00	€40 000,00
Економія/рік	€30 000,00	€8 000,00
Зміна витрат на заробітну плату за рік (порівняно з поточним станом)	€1 000,00	- €1 000,00
Зміна матеріальних витрат на рік (у порівнянні з існуючим станом)	€200,00	- €300,00
Розрахунковий термін служби нового обладнання	20	15
Загальні витрати	€224 000,00	€40 000,00
Загальні заощадження	€600 000,00	€139 500,00

4.7. Витрати на експлуатацію та обслуговування

Розрахунок економічного ефекту також повинен включати оцінку зміни витрат на експлуатацію та обслуговування в результаті впровадження заходів енергозбереження.

Крім того, потрібно передбачити:

- зміну витрат на робочу силу,
- можливе використання додаткових ресурсів, таких як вода, мастило.

Сучасні технології іноді вимагають більших витрат на обслуговування. Наприклад, когенераційна установка потребує більших трудових і матеріальних витрат (мастило), ніж використання звичайного котла. Загалом, для кожного окремого заходу слід враховувати сумарні витрати за життєвий цикл. Неможливо точно заздалегідь розрахувати усі витрати для кожного окремого заходу, однак слід принаймні брати до уваги, які наслідки такі заходи можуть викликати в результаті впровадження.

Наведені вище приклади не враховували витрат на фінансування, оскільки це лише перша початкова оцінка. Внаслідок позитивного грошового потоку обидва заходи можуть бути рекомендованими до впровадження і повинні бути детально розраховані, з огляду на бажані фінансові чи інші показники.

4.8. Можливості щодо фінансування

АІК має допомогти власникові знайти оптимальний варіант фінансування для реалізації проєкту. Аудитор повинен обговорити з власником такі питання:

- як власник планує фінансувати проєкт;
- відповідні вхідні показники, такі як процентна ставка та ставка дисконтування;
- які граничні фінансові показники прийнятні для рішення щодо інвестування;
- вимоги компанії до термінів окупності або внутрішньої норми прибутку;
- умови фінансування від банку-партнера;
- відсоток власного капіталу та боргу;
- можливі субсидії на енергоефективні/екологічно чисті заходи;
- готовність власника застосовувати нові моделі фінансування, такі як ЕСКО (спільні заощадження), краудфандинг тощо;
- заходи моніторингу та верифікації.

Фінансові показники, обрані для оцінки проєкту, також залежать від:

- джерела коштів (власник, банк, спеціальні фонди тощо);
- типу проєкту (заміна обладнання, модернізація).

4.9. Реалізація/ План дій

АІК може також містити план дій для кожного заходу. Однак це не є вимогою аудиту типу 3 відповідно до вимог ISO 50002.

Більшість компаній уже мають власні шаблони планів дій. Це питання потрібно обговорювати в рамках аудиту.

Комплексний енергетичний аудит повинен допомогти клієнту оцінити отримані тендерні пропозиції та обрати найкращу з них.

Серед іншого, план дій повинен включати:

- назву/тип заходу;
- короткий опис заходу;

- коли він повинен бути реалізований;
- скільки часу має зайняти реалізація;
- хто відповідає за реалізацію (відділ/персонал/технічні та фінансові питання та інші)?
- якими є очікувані заощадження?

Точність фінансових показників, витрат, термінів окупності тощо, які містяться в плані дій, залежить від компанії.

Питання «Плану дій» також докладно описано у стандарті ISO 50001.

Клієнт повинен мати можливість використовувати технічні специфікації обладнання, надані у АІК, як технічне завдання для оголошення тендеру і оцінювання заявок від постачальників. Це не є вимогою ISO 50002, але необхідно для розробки та впровадження проекту.

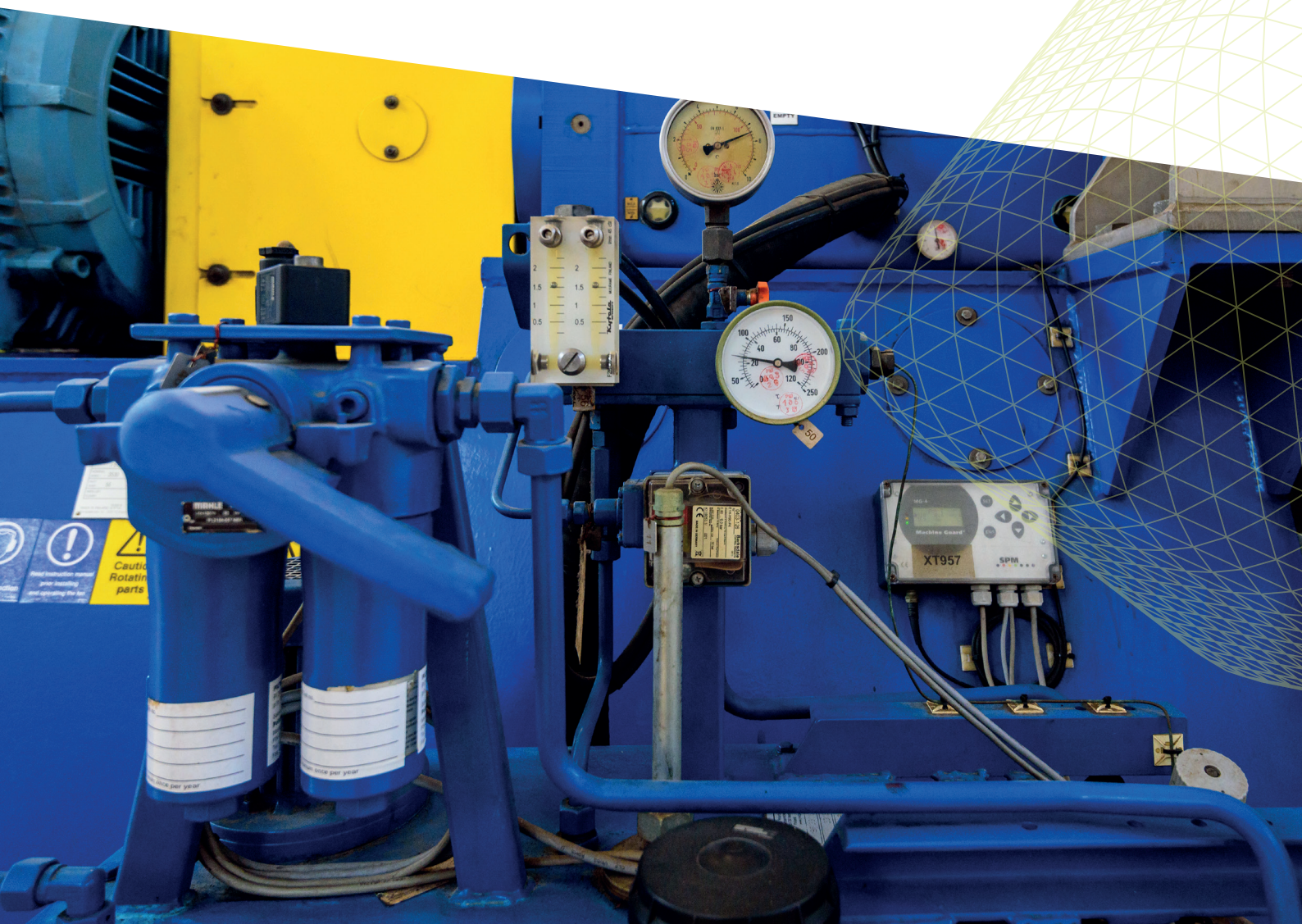
4.10. Тендерна документація

Тендерні документи повинні містити:

- детальну специфікацію обладнання;
- опис процедури оцінки та відбору постачальника (якщо тендерний процес є відкритим).

Крім того, вони також можуть містити приклад еталонного зразку обладнання.

Додатково: згідно з ISO 50001 зазначається, що енергоефективність нового обладнання має бути врахованою в процесі оцінки тендерної пропозиції. Аудит типу 3 повинен допомогти клієнту оцінити отримані тарифні пропозиції та обрати найкращу з них.



5. Фінансовий аналіз

5.1. Огляд методів фінансового аналізу

Широко класифікують два різні методи фінансового аналізу проектів з підвищення енергоефективності:

- метод статичних, або недисконтованих грошових потоків;
- метод динамічних, або дисконтованих грошових потоків.

5.1.1. Методи статичних, або недисконтованих грошових потоків

У методах статичних грошових потоків зміна вартості грошових коштів з плином часу не враховується і розраховуються наступні показники:

- простий період окупності (SPP);
- річна рентабельність інвестицій (AROI).

Переваги методів статичного грошового потоку:

- прості та швидкі для розрахунку;
- потрібно врахувати лише інвестиції та економію коштів;
- корисні для початкової оцінки прибутковості.

Недоліки методів статичного грошового потоку:

- не враховують річних експлуатаційних витрат;
- не враховують заощадження після закінчення терміну окупності;
- не дають змоги порівняти різні проекти.

5.1.2. Методи динамічних або дисконтованих грошових потоків

Зміна вартості грошей із плином часу розглядається при розрахунку таких показників:

- чиста приведена вартість (NPV);
- внутрішня норма прибутку (IRR);
- індекс прибутковості (PI);
- динамічний, або дисконтований період окупності (DPP).

Переваги методів динамічних грошових потоків:

- можна порівнювати проекти з різною динамікою грошових потоків і тривалістю (наприклад, інвестиції в сонячну фотоелектроенергію протягом 20 років, новий двигун протягом 15 років тощо);
- можуть бути враховані операційні та інші переваги, такі як відшкодування податків, дозвільні одиниці на викиди CO₂ тощо;
- можуть бути оцінені та порівняні різні варіанти інвестицій.

Недоліки методів динамічних грошових потоків:

- для точного аналізу потрібно врахувати багато параметрів;

5.2. Модель фінансування

Основні типи стратегії фінансування залежать від джерел фінансування:

- фінансування за рахунок внутрішніх джерел;
- фінансування за рахунок залучених коштів;
- фінансування за рахунок позикових коштів;
- змішане (комплексне, комбіноване) фінансування.

Внутрішні джерела – це власні кошти компанії, прибуток і амортизація. Реінвестування прибутку є більш прийнятною і порівняно дешевою формою фінансування підприємства, що розширює свою діяльність.

Зовнішні джерела:

1. Залучені інвестиції:

- інвестор зацікавлений у високому прибутку та самій компанії;
- інвестор може мати (або не мати) намір позбутися інвестицій;
- частка власника для інвестора визначається на основі співвідношення його інвестицій до загального капіталу компанії.

2. Кредитні інвестиції:

- компанія отримує зобов'язання повернути суму кредиту;
- кредит повинен бути погашений відповідно до умов, на яких був отриманий;
- компанія сплачує проценти за кредитом;
- компанія надає необхідні і прийнятні гарантії для кредитора (наприклад, особисте майно власників);
- якщо кредит не погашається за узгодженим графіком, кредитор може накласти штраф та пеню.

Після повернення суми кредиту зобов'язання перед кредитором припиняються.

У залежності від розміру, складності, рівня прибутковості, рівня ризику та типу впровадженої технології можуть бути використані різні фінансові інструменти для фінансування проєктів з підвищення енергоефективності. Вони навіть іноді можуть бути об'єднані разом для оптимізації ресурсів, зниження ризиків або задоволення інвестиційної спроможності розробника. При реалізації стратегії фінансування можуть бути використані такі основні фінансові інструменти (схеми фінансування), які надають кошти з різних джерел: акціонерне фінансування, фінансування за рахунок третіх осіб, лізинг, фінансування з боку постачальників, інвестиційні фонди енергоефективності.

5.2.1. Акціонерне фінансування

Акціонерне фінансування означає одержання коштів шляхом випуску звичайних або привілейованих акцій в очікуванні доходу від дивідендів та збільшення капіталу через зростання вартості акцій. Акціонерне фінансування може також надходити від професійних венчурних компаній.

Венчурний капітал (ВК) – це окремий сегмент приватних інвестицій, який передбачає інвестування у нові компанії з високим потенціалом зростання. Венчурні інвестори отримують частки акцій компаній, які впроваджують енергоефективне обладнання і взагалі відіграють важливу роль в управлінні та технічних аспектах компанії.

Приватний капітал є важливим для зростаючих підприємств, які хочуть

розширити свою діяльність, а також для розробників великих проєктів. Деякі державні установи та фонди розробили механізми фінансування, які забезпечують можливості інвестування в акціонерний капітал для сталого енергетичного бізнесу та проєктів, що часто використовують великі обсяги інвестицій з інших приватних джерел фінансування.

Залежно від життєздатності проєкту та надійності його розробника, мінімальна частка акціонерного фінансування може становити від 10% до 40% загальної вартості інвестицій. Проте 30% є найпоширенішою часткою, яку пропонують фінансові установи для фінансування проєктів.

5.2.2. Фінансування за рахунок третьої сторони

Для проєктів з підвищення енергоефективності, крім прямого фінансування проєкту, існує ще одна модель фінансування – фінансування за рахунок третьої сторони. У цьому випадку фінансування буде частково надано компанією з постачання енергетичних послуг (ЕСКО), яка повністю або частково інвестує в проєкт з підвищення енергоефективності, а потім розділить економічний ефект із власником проєкту.

Таким чином, ЕСКО має гарантувати енергетичну ефективність проєкту. У разі, коли кінцевий користувач має кредитні зобов'язання, то кредитні ризики відокремлюються від ефективності проєкту і технічних ризиків проєкту: фінансова установа бере на себе кредитний ризик кінцевого користувача, а всі технічні особливості і питання, пов'язані з виконанням робіт, розглядають ЕСКО та кінцевий користувач. Кредит знаходиться на балансі кінцевого користувача. Кредитне фінансування може бути поєднаним із гарантуванням заощаджень від підрядника.

У випадку, коли ЕСКО-компанія бере позику, це ефективно поєднує фінансування з реалізацією проєктів під ключ та угодою про надання послуг. У цьому випадку фінансова установа має оцінити не тільки кредитний ризик кінцевого користувача, але й економіку проєкту, проєктні, інженерні і технічні особливості, фінансовий та капітальний внесок ЕСКО, структуру управління та результати діяльності ЕСКО, а також усі контракти проєкту, включаючи Угоду про надання енергетичних послуг. Кредит знаходиться на балансі ЕСКО, і ЕСКО бере на себе кредитні ризики.

5.2.3. Лізинг

Лізинг є поширеним способом боротьби з бар'єром початкових інвестицій. Лізинг – це спосіб отримання права на використання активу (а не володіння цим активом). На багатьох ринках фінансування лізинг може використовуватися для ЕЕ-обладнання, навіть якщо обладнання не має додаткової вартості. Лізингові компанії, часто дочірні компанії банків, мають досвід роботи з програмами фінансування постачальників та іншими формами фінансування обладнання, які аналогічні проєктам з підвищення енергоефективності.

З точки зору орендаря існують два основні типи оренди: капітальний лізинг та оперативний лізинг. При капітальному лізингу орендар зобов'язаний показувати лізингове обладнання як актив, поточну вартість орендних платежів – як борг на його балансі.

Оперативний лізинг не капіталізується на балансі компанії, а лізингові платежі для цілей бухгалтерського обліку розглядаються як витрати. Термін дії договору менше, ніж термін служби обладнання, а лізингодавець (інвестор) сплачує всі витрати на технічне обслуговування та підтримку. Лізинг є найпоширенішою формою фінансування виробників обладнання, що часто застосовується, наприклад, у випадку когенераційного обладнання.

5.2.4. Фінансування зі сторони постачальника обладнання

Для підтримки власної маркетингової стратегії, багато виробників обладнання запровадили механізм фінансування власних або зовнішніх постачальників. Фінансування постачальника допомагає виробнику продати свій продукт за рахунок сприяння фінансуванню покупця. Здійснення фінансування постачальника можливе тоді, виробник надає постачальнику капітал, що дає йому можливість запропонувати фінансування свого обладнання на «місці продажу».

Найпоширенішою формою фінансування за рахунок постачальників є лізинг. За схемою фінансування постачальника існують два типи домовленостей: 1) між постачальником і виробником; 2) між постачальником і клієнтом. Перший визначає терміни, які можуть бути запропоновані покупцю, такі, як ставки, строки та необхідну документацію.

Угода між постачальником і клієнтом визначає умови погашення кредиту. Для енергоефективного обладнання угода може бути структурована таким чином, щоб платежі покупця були нижчими за економічний ефект від нового енергоефективного обладнання.

5.2.5. Інвестиційні фонди енергоефек- тивності

Інвестиційні фонди з енергоефективності – це спеціальні інвестиційні компанії, створені для інвестування лише в проекти з енергоефективності, орієнтовані як на будівлі, так і на промисловість, які, як правило, вимагають повернення коштів за рахунок досягнутої економії.

Такі фонди націлені на державні фінансові установи і інвесторів, що вкладають кошти у соціально значущі проекти. Правові та фінансові механізми й інструменти можуть варіюватися від фінансування за рахунок придбання акцій до надання позики. Деякі інвестиційні фонди з енергоефективності співпрацюють з урядами в ролі інвестора, промोутера або гаранта.

Ці кошти часто орієнтовані на формування поточної економії витрат і скорочення рівня викидів вуглецю, а також на поліпшення продуктивності та вартості активів відповідно до поточних і майбутніх правил.

5.3. Фінансовий аналіз проектів з підвищення енергоефек- тивності

Інструмент фінансового аналізу був розроблений у рамках цього посібника. Метою цього інструменту є оцінка успішності фінансування проекту з підвищення енергоефективності. На ринку існує безліч різних інструментів, зокрема спеціальне програмне забезпечення та інструменти, наприклад, для Excel.

Для цього проекту ми пропонуємо інструмент фінансового аналізу, який може бути завантажено з веб-сторінки проекту та налаштовано відповідно до ваших власних потреб. Звичайно, кожен аудитор може також використовувати власні інструменти.

5.3.1. Інструмент фінансового аналізу

Наведений нижче рисунок показує інструмент фінансового аналізу. Поля, позначені жовтим кольором, це поля для введення початкової інформації. Поля, позначені синім, це поля, на які виводяться результати, на основі яких інструмент буде три діаграми для візуалізації грошового потоку проекту.

Також є кнопка, яка при натисканні перевіряє важливі результати та надає користувачам інформацію про можливість фінансування проекту.

Інструмент вимагає введення наступних даних (Табл. 10).

Вхідні параметри									
Інвестиція	Додаткова експлуатація та технічне обслуговування	Інфляція мінімальної експлуатації та обслуговування	Збережений ресурс	Інфляція збережених ресурсів	Збережені витрати	Капітал	Рентабельність капіталу	Проценти на борг	кр
грн	грн /рік	%/рік	кВт*год	%/рік	грн/кВт*год	%	%/рік	%/рік	
88,297	0	0.0%	95,394	9.0%	2.000	30%	14.00%	20.00%	

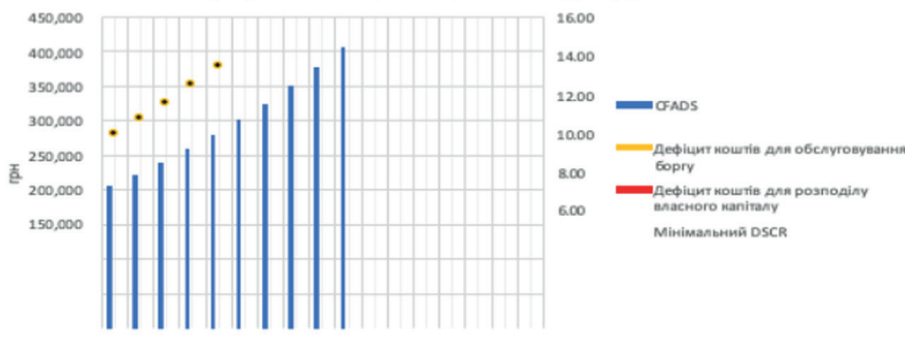
Натисніть щоб перевірити цілісність моделі

Назва ЕЕ-проекту: СМ 1: Енергоефективне освітлення
 Назва ресурсу: Електроенергія

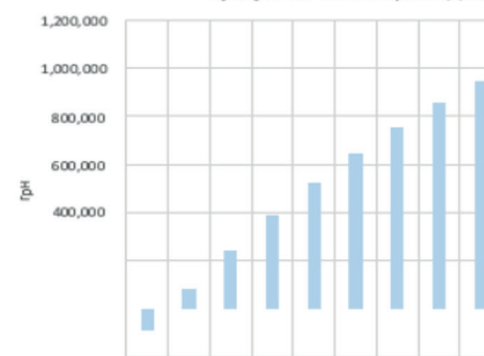
Кінець року	Суми	0	1	2	3	4	5	6
Інвестиція	-88,297	-88,297	0	0	0	0	0	0
кВт*год	901,473	0	94,440	93,486	92,532	91,578	90,624	89,670
Вартість збережених кВт*год	2,963,545	0	205,879	222,142	239,664	258,540	278,873	300,772
Додаткова експлуатація та технічне обслуговування	0	0	0	0	0	0	0	0
Обслуговування боргу	103,337	0	20,667	20,667	20,667	20,667	20,667	0
Розподіл власного капіталу	50,783	0	5,078	5,078	5,078	5,078	5,078	5,078
Дисконтована користь	1,194,425	0	174,179	158,999	145,128	132,452	120,870	110,289
Дисконтовані витрати	87,000	0	21,781	18,428	15,590	13,190	11,159	1,862
дкВт*год	407,880	0	79,899	66,913	56,033	46,916	39,279	32,881
Розрахована внутрішня норма прибутковості проекту	241.06%	-88,297	205,879	222,142	239,664	258,540	278,873	300,772
Розрахована чиста приведена вартість	1,106,128	-88,297	174,179	158,999	145,128	132,452	120,870	110,289
Чиста приведена вартість (час)		-88,297	85,882	244,881	390,009	522,461	643,331	753,620
Дисконтована вартість постачання	1,194,425	0	174,179	158,999	145,128	132,452	120,870	110,289

Грошові потоки (грн):									
Річні чисті доходи	2,963,545	0	205,879	222,142	239,664	258,540	278,873	300,772	
Додаткові операційні витрати	0	0	0	0	0	0	0	0	
CFADS (Грошовий потік, доступний для обслуговування боргу)	2,963,545	0	205,879	222,142	239,664	258,540	278,873	300,772	
Обслуговування боргу	103,337	0	20,667	20,667	20,667	20,667	20,667	0	
CFAED (Грошовий потік для оплати постачальникам коштів)	2,860,209	0	185,212	201,474	218,996	237,873	258,206	300,772	
Розподіл власних коштів	50,783	0	5,078	5,078	5,078	5,078	5,078	5,078	
Нерозподілений прибуток	2,809,426	0	180,134	196,396	213,918	232,795	253,128	295,694	
Дефіцит коштів для обслуговування боргу	0	0	0	0	0	0	0	0	
Дефіцит коштів для розподілу власного капіталу	0	0	0	0	0	0	0	0	
DSCR (Коефіцієнт покриття обслуговування боргу)	0		9.96	10.75	11.60	12.51	13.49	#N/A	
Мінімальний DSCR	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Обслуговування боргу та розподіл власного капіталу		0	25,746	25,746	25,746	25,746	25,746	5,078	
Динамічний період окупності	0.08								

Графік 1: CFADS, CFAED, ЧИСТИЙ ДОХІД, DSCR

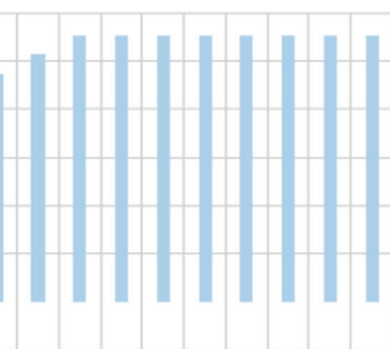


Графік 2: Чиста приведена вартість

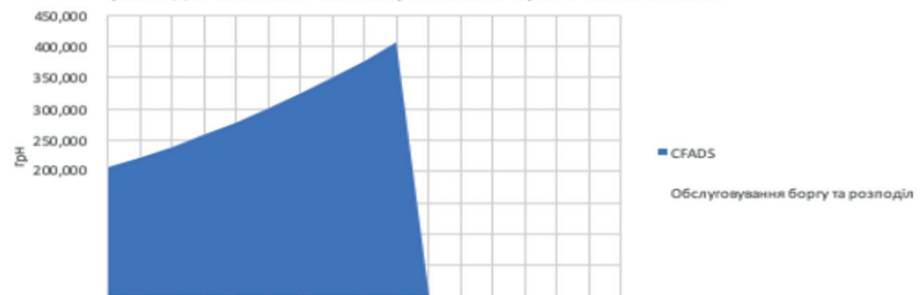


							Результати			
Термін едитування	Термін проекту	Віддача	Погашення заборгованості	Повернення капіталу	Використана WACC	Розрахована WACC				
Роки	Роки	%/рік	-	-	%/рік	%/рік	Чиста поточна вартість (проект)	Рентабельність	Внутрішня норма прибутку (проект)	Окупність
5	10	1.0%	0.3344	0.1917	18.20%	18.20%	1,106,128	13.729	241.06%	0.51
7	8	9	10	11	12	13	15	16	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88,716	87,762	86,809	85,855	0	0	0	0	0	0	0
324,354	349,744	377,078	406,498	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,078	5,078	5,078	5,078	0	0	0	0	0	0	0
100,623	91,793	83,729	76,363	0	0	0	0	0	0	0
1,575	1,333	1,128	954	0	0	0	0	0	0	0
27,522	23,034	19,275	16,128	0	0	0	0	0	0	0
324,354	349,744	377,078	406,498	0	0	0	0	0	0	0
100,623	91,793	83,729	76,363	0	0	0	0	0	0	0
854,243	946,036	1,029,765	1,106,128	1,106,128	1,106,128	1,106,128	1,106,128	1,106,128	1,106,128	1,106,128
100,623	91,793	83,729	76,363	0	0	0	0	0	0	0
324,354	349,744	377,078	406,498	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
324,354	349,744	377,078	406,498	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
324,354	349,744	377,078	406,498	0	0	0	0	0	0	0
5,078	5,078	5,078	5,078	0	0	0	0	0	0	0
319,276	344,666	371,999	401,420	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5,078	5,078	5,078	5,078	0	0	0	0	0	0	0

на вартість (функція часу)



Графік 3: Зелена зона платежів на обслуговування боргу та розподіл власного капіталу повинна бути в синій області



Таблиця 10: Вхідні дані, необхідні для інструмента фінансового аналізу

Вхідні дані	Опис	Одиниця вимірювання
Інвестиція	Це одноразова інвестиція в захід з підвищення енергоефективності на кінець року	грн
Додаткова інвестиція	Це додаткова інвестиція, необхідна в конкретному році протягом життєвого циклу проєкту для підтримки ефекту енергозбереження	грн
Уникнена інвестиція	Це уникнення необхідності залучення інвестицій в конкретному році протягом життєвого циклу проєкту внаслідок впровадження проєкту з енергоефективності	грн
Відсоток власного капіталу	Це відсоток від початкових інвестицій, наданих власником проєкту	%
Відсоток боргу	Це відсоток займаних інвестицій, наданих фінансовою організацією	%
Додаткова експлуатація та технічні витрати	Це операційні витрати, які додатково відбуваються внаслідок впровадження заходу з підвищення енергоефективності	грн/рік
Інфляція експлуатаційних витрат	Це річна інфляція додаткових витрат на експлуатацію. Наприклад, передбачається, що вартість технічного обслуговування нового заходу зростає на 5% на рік.	% на рік

5.3.2. Фінансові показники

Необхідно визначити, які фінансові показники будуть використані у звіті з енергоаудиту для оцінки заходу з енергоефективності. Існує безліч різних типових показників.

Фінансові показники використовуються на міжнародному рівні. Проте в різних країнах існують різні умови, такі як рівень інфляції, ціни на енергоносії або ставка кредиту, тому в один й той самий захід з підвищення енергоефективності в одній країні може бути доцільним, а в іншій – ні.

Є прості фінансові показники, які можна використовувати, наприклад, для першої швидкої оцінки економічної ефективності заходу.

Якщо така швидка оцінка вже призводить до терміну окупності, який є

Збережені витрати	Це поточна ціна збереженого ресурсу. Наприклад, вартість електроенергії в грн/кВт*год.	грн/одинаця ресурсу
Інфляція збережених ресурсів	Це річна інфляція вартості ресурсу, що підлягає збереженню. Наприклад, за прогнозами, вартість електроенергії зростатиме на 5% на рік.	% на рік
Мінімальна прийнятна норма прибутку	Це мінімальна процентна ставка, яку хоче бачити власник проекту для вкладеного в проект власного капіталу.	% на рік
Відсоткова ставка кредиту	Відсоткова ставка, яку необхідно сплачувати банку або фінансовій установі за користування позикою.	% на рік
Термін кредитування	Це кількість років, через яку проєкт з підвищення енергоефективності забезпечить економію енергії	роки
Термін проекту	Це кількість років, протягом яких проєкт з підвищення енергоефективності буде забезпечувати економію енергії	роки
Середньозважена вартість капіталу (WACC)	Це мінімальна норма прибутку від проєкту, необхідна для прийняття рішення щодо фінансування. Ця інформація не є обов'язковою. Якщо цю інформацію не буде введено, інструмент обчислить WACC враховуючи мінімальну прийнятну норму прибутку і відсоткову ставку боргу.	% на рік
Віддача	Це очікуване щорічне скорочення енергозбереження	% на рік

неприйнятним для клієнта, подальших детальних розрахунків проводити не потрібно.

Пам'ятайте, що важливо враховувати витрати життєвого циклу заходу з підвищення енергоефективності, тому що для деяких заходів щорічні заощадження від зниження витрат на технічне обслуговування є настільки високими, що впровадження цих заходів все ще має сенс, хоча на перший погляд вони можуть здаватися непривабливими.

Залежно від заходу, необхідно вирішити та/або обговорити з клієнтом, які фінансові показники повинні бути розраховані і які фінансові параметри представляють інтерес для клієнта (або його банку).

Мета повинна полягати в тому, щоб дати клієнту якомога точнішу оцінку прибутковості заходів, аби отримати надійну основу для прийняття рішень.

Може бути розраховано такі фінансові показники:

- чиста поточна вартість проєкту (NPV);
- середньозважена вартість капіталу (WACC);
- внутрішня норма прибутковості проєкту (IRR);
- коефіцієнт рентабельності;
- період окупності (PP);
- дисконтований термін окупності (DPP);
- дисконтований індекс прибутковості (DPI);
- коефіцієнт покриття обслуговування боргу (DSCR).

5.3.2.1. Чиста поточна вартість (NPV)

Чиста поточна вартість є одним з найважливіших показників для розрахунку ефективності інвестиційного проєкту, що використовується в інвестиційному аналізі. У загальному економічному контексті, найбільш важливим правилом для всіх інвестицій є «створення вартості» шляхом максимізації чистої поточної вартості (NPV), що виникають в результаті виконання проєкту. NPV проєкту – це сума дисконтованих грошових потоків протягом періоду спостереження, за вирахуванням початкових інвестицій. NPV обчислюється за такою формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CS_t + CA_t - OC_t}{(1 + WACC)^t} - C_0$$

де T – термін реалізації проєкту,

t – рік,

C_0 – початкові капітальні інвестиції,

CS_t – загальна економія коштів у результаті економії ресурсів за рік t,

CA_t – інвестиційні витрати, яких можна уникнути протягом року t, пов'язані з виконанням заходів із збереження ресурсів,

OC_t – загальна сума додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних із заходом в рік t,

Загалом поняття NPV – це:

NPV = (Поточна вартість очікуваних грошових потоків) – (Поточна вартість інвестованих коштів)

*WACC = % капіталу * MARR + % боргу * i,*

де WACC – середньозважена вартість капіталу,

% капіталу – відсоток власного капіталу в початкових інвестиціях,

% боргу – відсоток заборгованості в початкових інвестиціях,

MARR – мінімальна прийнятна норма прибутку,

i – процентна ставка заборгованості.

Для інвестицій, відсоток власного капіталу яких становить 100%, WACC і таким самим, як і MARR.

NPV може мати позитивне значення, негативне або дорівнювати нулю.

Позитивне значення NPV свідчить про те, що проєкт буде прибутковим або сприятиме збільшенню активів наприкінці терміну дії проєкту.

Нульове значення NPV вказує на те, що проєкт не матиме віддачі від

інвестицій за розглянутою дисконтною ставкою.

Негативне значення NPV вказує на те, що наприкінці життєвого циклу проєкт призведе до збитків.

5.3.2.2. Середньозважена вартість капіталу (WACC)

Середньозважена вартість капіталу (WACC) – це мінімальний рівень прибутку, який компанія повинна отримати за використання поточної бази активів, щоб задовольнити своїх кредиторів, власників та інших поставальників капіталу, або ж вони інвестують в інші проєкти. Компанії отримують кошти з низки джерел: звичайний акціонерний капітал, привілейовані акції, прямий борг, конвертований борг, змінний борг, гарантії, опціони, пенсійні зобов'язання, виконавчі акції, державні субсидії тощо.

Очікується, що різні цінні папери, які представляють різні джерела фінансування, генерують різні прибутки. WACC розраховується з урахуванням відносної ваги кожного компонента структури капіталу. Що складнішою є структура капіталу компанії, то складніше розрахувати WACC. Компанії можуть використовувати WACC, щоб дізнатися, чи варто здійснювати інвестиції в доступні інвестиційні проєкти.

У випадку, коли компанія фінансується лише акціонерним капіталом і позиченими коштами, формула для розрахунку WACC є такою:

$$WACC = \% \text{ капіталу} * MARR + \% \text{ боргу} * i,$$

де WACC – середньозважена вартість капіталу,
 % капіталу – відсоток власного капіталу в початкових інвестиціях,
 % боргу – відсоток заборгованості в початкових інвестиціях,
 MARR – мінімальна прийнятна норма прибутку,
 i – процентна ставка заборгованості.

Для інвестицій, в яких відсоток власного капіталу становить 100%, WACC є таким самим, як і MARR.

5.3.2.3. Внутрішня норма прибутковості (IRR)

Внутрішня норма прибутковості (IRR) часто використовується для порівняння та вибору між проєктами. Внутрішня норма прибутковості – ставка дисконту, за якої NPV = 0, або, іншими словами, ставка, за якою дисконтовані витрати дорівнюють дисконтованому доходу.

Внутрішня норма прибутковості показує очікувану норму прибутку для проєкту. Однією з переваг цього показника є можливість порівняння інвестиційних проєктів різної тривалості та масштабу.

Інвестиційний проєкт вважається прийнятним, якщо IRR є більшим за дисконтні ставки. IRR розраховується за допомогою формули, наведеної нижче:

$$\sum_{t=1}^T \frac{CS_t + CA_t - OC_t}{(1 + IRR)^t} - C_0 = 0$$

Наведене вище рівняння має бути вирішене для IRR.

Якщо IRR більше, ніж WACC, проєкт буде вважатися прибутковим.

5.3.2.4. Коефіцієнт рентабельності

Коефіцієнт користі/вартості обчислює співвідношення отриманої вигоди і вкладених витрат. Для прибуткового проєкту це співвідношення має бути вищим за 1.

$$\frac{\text{Вигода}}{\text{Витрати}} = \frac{\text{Поточна вартість (вигоди)}}{\text{Поточна вартість (витрат)}}$$

Поточна вартість (вигод) – це сума поточних значень динамічних рядів надходження грошових коштів, дисконтованих з WACC.

$$\text{Поточна вартість вигод} = \sum_{t=1}^T \frac{CS_t + CA_t}{(1 + WACC)^t}$$

Поточна вартість (витрат) – є сумою поточних значень динамічних рядів відтоку грошових коштів, дисконтованих з WACC.

$$\text{Поточна вартість витрат} = \sum_{t=1}^T \frac{DS_t + ES_t + CR_t + OC_t}{(1 + WACC)^t}$$

де DS_t – обслуговування боргу в рік t для погашення заборгованості рівними частинами з використанням ануїтетів;

ES_t – забезпечення капіталу в році t для погашення власного капіталу рівними частинами з використанням ануїтетів;

CR_t – інвестиції, необхідні в році t для підтримки економії ресурсів через заходи збереження.

5.3.2.5. Термін окупності (PP)

Термін окупності (PP) показує час, протягом якого дохід від інвестицій в інвестиційний проект дорівнює витратам.

Термін окупності використовують з показниками NPV і IRR для оцінки ефективності інвестиційних проектів.

Термін окупності зазвичай виражається в роках. Формула для його обчислення виглядає так:

$$PP = n, \text{ якщо } \sum_{t=1}^n CF_t > I_0$$

PP – термін окупності проекту (інвестиції);

CF_t – грошовий потік від інвестиційного проекту в період t ;

I_0 – початкові витрати;

n – сума кількості періодів (зазвичай у роках).

5.3.2.6. Дисконтований термін окупності (DPP)

Щоб уникнути обмежень індикатора простого терміну окупності, можна використати альтернативний показник, який називається дисконтованим терміном окупності, що враховує часову вартість грошей шляхом дисконтування грошових потоків проекту. Індикатор, що відображає кількість періодів повернення інвестицій в інвестиційний проект, скорочений до поточного часу.

DPP – це період часу, за який чиста поточна вартість стає нульовою.

$$NPV(t)=0$$

$$DPP = n, \text{ якщо } \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + r)^t} > I_0$$

де CF_t – грошовий потік від інвестиційного проекту в період t ;

I_0 – початкові витрати;

r – ставка дисконтування;

n – сума кількості періодів (зазвичай у роках).

Індекс прибутковості демонструє відносну прибутковість інвестиційного проекту на одиницю інвестицій. Формула для розрахунку показника:

$$PI = \frac{NPV}{I}$$

де NPV - чиста поточна вартість;
I - витрати в інвестиційному проекті.

5.3.2.7. Індекс прибутковості (PI)

Індекс прибутковості визначає взаємозв'язок між витратами та вигодами запропонованого проекту. Цей показник розраховується шляхом ділення всіх дисконтованих прибутків на інвестиції з усіх дисконтованих інвестицій у проект. PI більший за 1 свідчить про те, що прибутковість є позитивною, тоді як PI менший за 1 - про те, що проект втратить гроші. Із збільшенням значень індексу прибутковості зростає і фінансова привабливість запропонованого проекту. Формула для розрахунку показника має такий вигляд:

$$DPI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}}$$

де CF_t - грошовий потік від інвестиційного проекту в період,
 I_t - витрати в інвестиційному проекті в період,
r - ставка дисконтування,
n - сума кількості періодів.

5.3.2.8. Дисконтований індекс прибутковості (DPI)

Коефіцієнт 1 є логічно найменшим прийнятним показником для цього індексу. Будь-яке значення, нижче за 1, означає, що індекс прибутковості проекту менший, ніж початкові інвестиції, і проект має бути відхилений або залишений без фінансування. Правило індексу прибутковості свідчить, що для продовження проекту цей показник має бути більшим за 1.

5.3.2.9. Коефіцієнт покриття обслуговування боргу (DSCR)

Додатково до вищезазначених умов показник DSCR (t) повинен бути вищим за 1 протягом усього строку погашення заборгованості для того, щоб проект міг фінансуватися згідно з припущеннями. Слід зазначити, що іноді проекти, які є прибутковими, можуть мати DSCR (t) менше 1. У такому випадку умови фінансування повинні бути узгоджені таким чином, щоб DSCR (t) був вище 1.

$$DSCR(t) = \frac{CS_t + CA_t - OC_t}{DS_t}$$

Для t: 1 до строку погашення заборгованості

Це співвідношення повинно бути вище одиниці або мінімального значення, яке вимагає кредитор. Якщо проект призводить до DSCR меншого за одиницю, інвестор повинен надати додаткові кошти для обслуговування боргу.

Для того, щоб проект можна було вважати прибутковим, повинні бути виконані такі умови:

$$NPV > 0.$$

$$IRR > WACC.$$

$$\text{Коефіцієнт рентабельності} > 1.$$

5.3.3. Інші фінансові терміни

Капітальні витрати (CAPEX) та операційні витрати (OPEX) - дві основні категорії бізнес-витрат. Вони відрізняються за характером витрат і за відповідними методами використання для зниження податків. Капітальні витрати (CAPEX) - це засоби, які бізнес використовує для придбання основних фізичних товарів або послуг з метою розширення здатності компанії до

5.3.3.1. CAPEX/OPEX

отримання прибутку. Ці покупки можуть включати обладнання (наприклад, принтери або комп'ютери), транспортні засоби для транспортування товарів, чи покупку або будівництво нової будівлі.

Тип галузі, в якій бере участь компанія, багато в чому визначає характер її капітальних витрат. Придбаний актив може бути новим активом або тим, що подовжує термін експлуатації раніше придбаного активу.

Якщо термін корисного використання активу перевищує один рік, то капітальні витрати відображаються у балансі як довгострокові активи і відносяться на витрати, із застосуванням амортизації для розподілу вартості активу протягом певного строку корисного використання, як це визначено у податкових правилах.

Капітальні витрати найчастіше знецінюються протягом п'яти-десятирічного періоду, але вони можуть бути подовжені й на більш ніж два десятиліття у випадку нерухомості.

Операційні витрати (OPEX) – це витрати, які компанія несе за управління своєю основною діяльністю. На відміну від капітальних витрат, операційні витрати повністю виключаються з оподаткування протягом року, в якому вони виникають. Оскільки операційні витрати складають основну частину регулярних витрат компанії, керівництво розглядає способи скоротити операційні витрати, не викликаючи критичного зниження якості або виробництва продукції.

Іноді предмет, який зазвичай купується за рахунок капітальних витрат, можна віднести до операційних витрат – якщо компанія вирішує орендувати продукт, а не купувати його. Цей варіант може бути більш фінансово привабливим, якщо компанія має обмежений грошовий потік і хоче зберегти загальну вартість позицій за рік. Прикладами операційних витрат є витрати на дослідження та розробки, внески до пенсійного фонду, податки на нерухомість, витрати на проїзд, оренду та страхування.

5.3.3.2. Амортизація активу

Амортизація – це метод розподілу вартості активу протягом строку його корисного використання. Вона необхідна як для бухгалтерського обліку, так і для цілей оподаткування. Для цілей бухгалтерського обліку амортизація вказує на те, яку частину вартості активу було використано. Амортизація використовується в бухгалтерському обліку для того, щоб порівняти витрати активу з доходом, який він допомагає отримувати компанії. Для цілей оподаткування підприємства можуть вираховувати вартість матеріальних активів, які вони купують, як бізнес-витрати, однак вони повинні амортизувати ці активи відповідно до національних офіційних стандартів звітності про те, як і коли може бути зроблено вирахування, виходячи з того, який актив є у наявності та як довго він буде використовуватись.

5.3.3.3. Грошові потоки інвестиційного проекту

Грошовий потік – це рух грошей у або з бізнесу, проєкту або фінансового продукту. Загалом, грошові потоки проєкту розраховуються за такою формулою:

Грошовий потік = загальні доходи проєкту – загальні витрати (без урахування амортизації).

При початку аналізу капітального бюджету важливо визначити грошові потоки проєкту. Ці грошові потоки можна сегментувати так:

Початкові інвестиційні витрати – це витрати, необхідні для початку про-

екту, наприклад, нове обладнання, встановлення тощо.

Операційні грошові потоки протягом строку тривалості проекту – це додатковий грошовий потік, який генерує новий проект.

Грошовий потік за термінальний рік – це кінцевий грошовий потік (як надходження, так і витрати) у кінці життя проекту; наприклад, потенційна залишкова вартість обладнання в кінці проекту.

5.3.4. Проведення фінансового аналізу

На схемі нижче показано послідовність кроків для проведення фінансового аналізу проекту з підвищення енергоефективності за допомогою відповідного інструменту.

Щоб продемонструвати застосування інструменту фінансової оцінки, було розглянуто два практичні приклади:

- встановлення обладнання для рекуперації тепла;
- встановлення частотно-регульованого приводу.

5.3.5. Фінансова оцінка проекту з рекуперації тепла

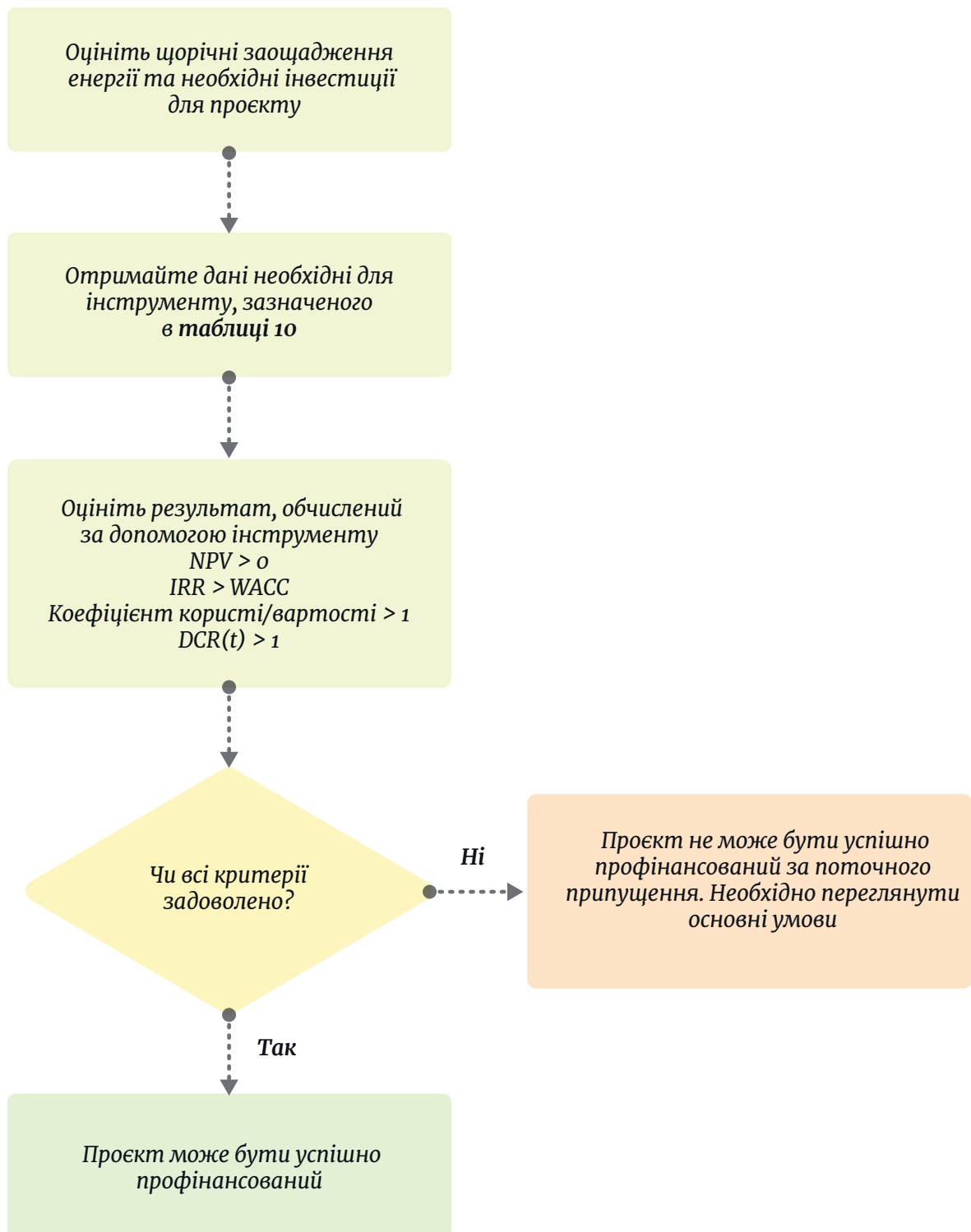
Поточна ситуація:

На розглянутому заводі є дизельний генератор, який працює 5 000 годин на рік. Цей генератор не має системи рекуперації тепла. Оскільки на заводі існує постійна потреба в гарячій воді, відпрацьоване тепло з вихлопних газів дизельного генератора може використовуватися для виробництва гарячої води. Цей проект дозволить зменшити кількість природного газу, що використовується для нагрівання води.

Об'єм економії природного газу оцінюється в 20 000 м³ на рік. Необхідні інвестиції для реалізації цього проекту становлять 1 000 000 грн. Власник заводу готовий інвестувати до 30% власного капіталу для реалізації цього проекту. Решта фінансування проекту здійснюється зі спеціального фонду енергоефективності, який надає кредити під 15% відсотків з терміном окупності до 7 років. Інструмент фінансового аналізу використовується для оцінки того, чи можна успішно фінансувати цей проект за таких умов.



Рисунок 9. Кроки фінансового аналізу



Крок 1.**Оцініть щорічні заощадження енергії та необхідні інвестиції.**Економія газу = 20 000 м³/рік.

Необхідні інвестиції = 1 000 000 грн.

Крок 2.**Отримайте дані, необхідні для інструменту.**

Вхідні дані	Деталізація даних	Одиниця вимірювання
Початкова інвестиція	1 000 000	грн
Додаткова інвестиція	0	грн
Уникнена інвестиція	0	грн
Відсоток власного капіталу	30	%
Відсоток боргу	70	%
Додаткові експлуатаційні витрати	5 000	грн/рік
Інфляція експлуатаційних витрат	2	% на рік
Вартість збереженого ресурсу	14	грн/ кВт-год
Інфляція вартості ресурсу	5	% на рік
Мінімальна прийнятна норма прибутку	13	% на рік
Процентна ставка боргу	15	% на рік
Строк погашення заборгованості	7	років
Термін служби проекту	10	років
Середньозважена вартість капіталу (WACC)	Недоступно	% на рік
Віддача	1	% на рік

Крок 3.**Оцініть результати фінансового аналізу.**

Результати ЕЕ-проекту			
Чиста поточна вартість (проект)	Рентабельність	Внутрішня норма прибутку	Окупність
686,189	1,673	29,33%	4,76

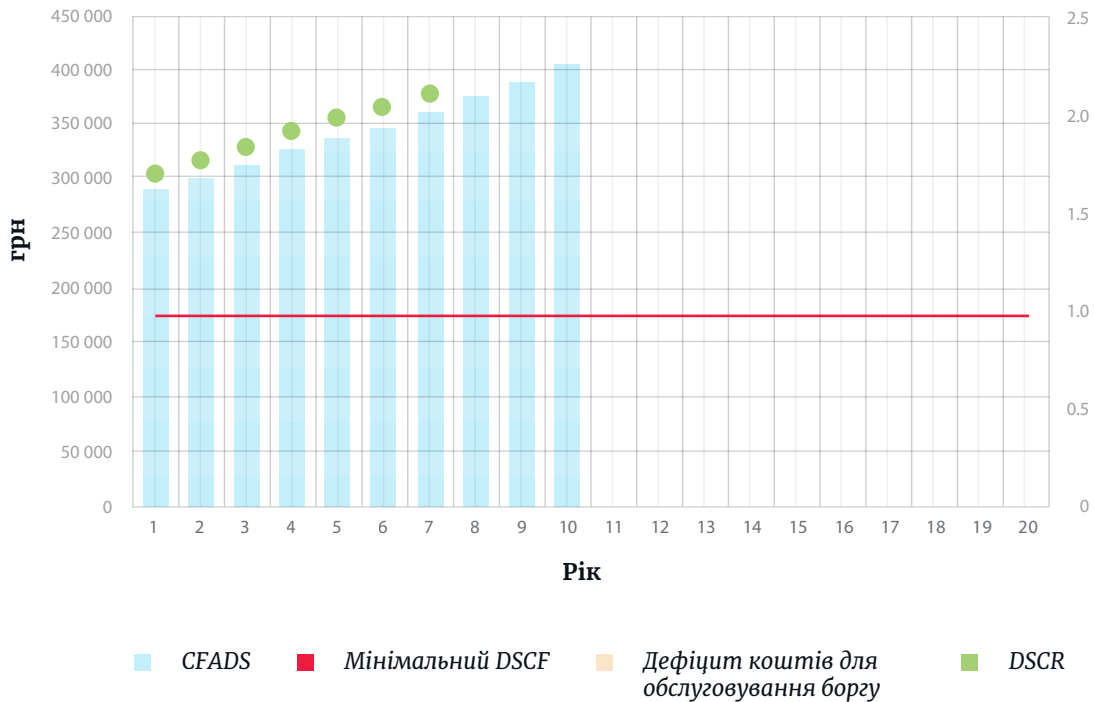
- NPV > 0 ОК
- Рентабельність > 1 ОК
- IRR > WACC ОК (WACC для цього проекту розрахований на рівні 14,40)
- DSCR (t) > 1 ОК

Усі критерії успішного фінансування проекту задоволено. Таким чином, цей проект може бути профінансований за нинішніх умов.

Поточна ситуація:

Фабрика спеціалізується на виробництві молочної продукції. На заводі встановлено кілька насосів. Сумарна потужність усіх насосів становить 400 кВт. Потоки рідини з цих насосів контролюються за допомогою заслонок. У розглянутому проекті пропонується встановити для всіх цих насосів перетворювачі змінної частоти для управління потоком.

Рисунок 10: Перевірка DSCR



5.3.6. Фінансова оцінка насосу зі змінною частотою обертів

Оцінюється, що проект забезпечить економію електроенергії на рівні близько 130 000 кВт*год на рік. Необхідні інвестиції для проекту складають 1 500 000 грн. Власник заводу готовий інвестувати до 20% власного капіталу для цього проекту.

Решта фінансування проекту надходить від спеціального фонду енерго-ефективності, який надає кредити під 15% відсотків з терміном окупності до 5 років. Інструмент фінансового аналізу використовується для оцінки того, чи можна успішно фінансувати цей проект за таких умов.

Крок 1.

Оцініть щорічні заощадження енергії та необхідні інвестиції для проекту

Економія електроенергії = 130 000 кВт*год/рік.

Необхідні інвестиції = 1 500 000 грн.

Крок 2:

Отримайте дані, необхідні для інструменту

Вхідні дані	Деталізація даних	Одиниця вимірювання
Початкова інвестиція	1 500 000	грн
Додаткова інвестиція	0	грн
Уникнена інвестиція	0	грн
Відсоток власного капіталу	20	%
Відсоток боргу	80	%
Додаткові експлуатаційні витрати	0	грн/рік
Інфляція експлуатаційних витрат	0	% на рік
Вартість збереженого ресурсу	2	грн/кВт-год
Інфляція вартості ресурсу	6	% на рік
Мінімальна прийнятна норма прибутку	13	% на рік
Процентна ставка боргу	15	% на рік
Строк погашення заборгованості	5	років
Термін служби проекту	10	років
Середньозважена вартість капіталу (WACC)	Недоступно	% на рік
Віддача	2	% на рік

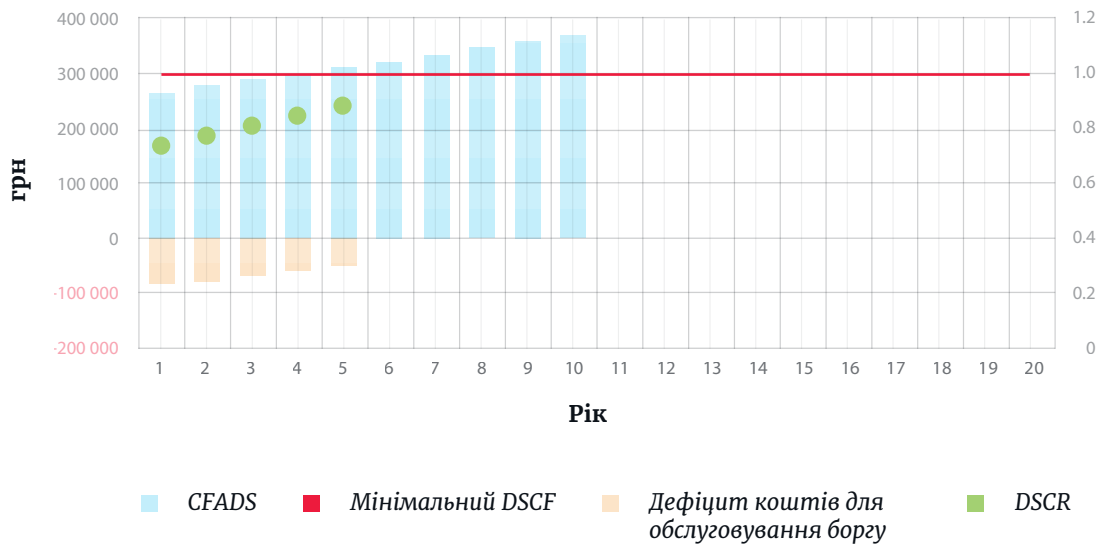
Крок 3. Оцініть результати фінансового аналізу.

Результати ЕЕ-проекту			
Чиста поточна вартість (проект)	Рентабельність	Внутрішня норма прибутку	Окупність
91, 813	1,068	15,87%	9.08

- NPV > 0 ОК
- Рентабельність > 1 ОК
- IRR > WACC ОК (WACC для цього проекту розрахований на рівні 14,40)
- DSCR (t) > 1 ОК

Результати фінансового аналізу показують, що протягом перших 4 років DSCR < 1. Це означає, що економія коштів від проекту не є достатньою для погашення заборгованості перед банком. Проте інші критерії задоволені, і тому цей проект можна розглянути для впровадження. Умови кредиту з банком повинні бути переглянуті або власник проекту повинен надати більше власного капіталу, щоб умова DSCR > 1 виконувалася протягом усього строку погашення боргу.

Рисунок 11: Перевірка DSCR



5.4. Економічні показники компанії

5.4.1. EBIT, EBITDA

EBIT (прибуток до вирахування витрат за відсотками і сплати податків) є показником прибутковості компанії. Його можна розрахувати як дохід мінус витрати, без урахування податків та відсотків. EBIT також називають операційними доходами, операційним прибутком, прибутком до сплати відсотків і податків. Він розраховується за такою формулою:

$$EBIT = \text{Дохід} - \text{Вартість проданих товарів} - \text{Оперативні витрати}$$

або

$$EBIT = \text{Чистий прибуток} + \text{Відсотки} + \text{Податок}$$

EBITDA (прибуток до вирахування витрат за відсотками, сплати податків та амортизаційних відрахувань) – це показник розрахунку прибутковості, аналогічний EBIT, без урахування амортизаційних витрат. Він вказує на кількість самостійно сформованої ліквідності, доступного для розподілу прибутку, податків, інвестицій, погашення боргу та виплати відсотків. Як і EBIT, EBITDA також виключає сплату податків та процентні витрати за заборгованостями. Компанії зі значним обсягом основного капіталу можуть амортизувати витрати на придбання цих активів протягом строку їх корисного використання. Іншими словами, амортизація дозволяє компанії поширювати вартість активу протягом багатьох років або терміну використання активу. Амортизація дозволяє компанії не вносити в облік вартість активу в році, коли актив був придбаний. Як наслідок, амортизаційні витрати знижують прибутковість. EBITDA розраховується за такою формулою:

$$EBITDA = \text{Чистий прибуток} + \text{Відсотки} + \text{Податки} + \text{Амортизаційні вирахування.}$$

У випадку компаній зі значним обсягом основних активів витрати на амортизацію можуть впливати на розмір чистого доходу. EBITDA ж вимірює прибуток компанії шляхом усунення амортизації. Як наслідок, EBITDA допомагає знизити прибутковість операційної діяльності компанії.

5.4.2. Коефіцієнт власного капіталу

Коефіцієнт власного капіталу – це фінансовий коефіцієнт, який визначає відносну частку власного капіталу, що використовується для фінансування активів компанії. Ці два складники часто беруться з балансу фірми або звіту про фінансовий стан (так звана облікова вартість), але коефіцієнт може також обчислюватися з використанням ринкової вартості для обох складників, якщо акції компанії публічно торгуються. Коефіцієнт власного капіталу розраховується за такою формулою:

$$\text{Коефіцієнт власного капіталу} = \frac{\text{Власний капітал}}{\text{Сукупні активи}}$$

Рекомендоване значення коефіцієнта власного капіталу для промислових компаній – 30-35%.

5.4.3. Норма заборгованості

Відсотковий борг (IDB) – це зобов'язання компанії, що передбачають сплату відсотків. Приклади включають усі боргові зобов'язання банку, акцепти, облігації, довгострокові кредити від інших кредиторів (наприклад, страхові компанії) незалежно від строку.

Потенціал обслуговування боргу – показник, що відображає, у скільки разів фінансова заборгованість перевищує EBITDA. Спираючись на цей показник, можна зробити висновок про те, скільки років знадобилося б на погашення боргу за поточного рівня EBITDA; при цьому припускається, що рівень доходу залишиться без змін. Розраховують за формулою:

$$\text{Потенціал обслуговування боргу} = \frac{IBD}{EBITDA}$$

Покриття відсотків – показник, що демонструє, у скільки разів EBITDA покриває відсоткову базу. Високі значення мають тенденцію бути позитивними, оскільки в цьому випадку показник EBITDA є високим та/або процентні витрати низькими (наприклад, через низький борг або сприятливу відсоткову ставку). Цей показник вираховують за формулою:

$$\text{Покриття відсотків} = \frac{EBITDA}{\text{Витрати за відсотками}}$$

5.4.4. Коефіцієнт прибутку і обороту

Рентабельність продажів, яка також називається коефіцієнтом прибутковості або коефіцієнтом валового прибутку, є коефіцієнтом, що визначає суму чистого доходу, отриманого з кожного євро продажів, шляхом порівняння чистого прибутку та чистих продажів компанії. Іншими словами, коефіцієнт прибутку вказує на те, який відсоток продажів залишається після того, як бізнес оплачує всі витрати. Кредитори та інвестори використовують це співвідношення для визначення того, наскільки ефективно компанія може перетворити продажі на чистий прибуток. Інвестори хочуть

переконатися, що прибуток достатньо високий, щоб розподілити дивіденди, а кредитори хочуть переконаватися, що компанія має достатній прибуток, щоб погасити свої кредити. Іншими словами, зовнішні користувачі прагнуть переконаватися, що компанія працює ефективно. Надзвичайно низький коефіцієнт прибутковості вказує на те, що витрати надто високі, а керівництво потребує контролю бюджету і скорочення витрат. Рентабельність продажів розраховують за такою формулою:

$$\text{Рентабельність продажів} = \frac{\text{Чистий дохід}}{\text{Чистий обсяг продажів}}$$

Рекомендовані значення прибутковості продажів перевищують 1 % або більше 2% (у випадку промисловості).

Маржа EBIT - це співвідношення прибутку до відсотків і податків до чистого доходу. Це показник прибутковості компанії від продажів за певний період часу. Таким чином цей показник дає інформацію про здатність компанії отримувати прибутки. Маржа EBIT розраховується за формулою:

$$\text{Маржа EBIT} = \frac{\text{EBIT}}{\text{Загальний дохід}}$$

Рекомендовані значення EBIT-маржі становлять від 4 % до 6 % для промислових компаній.

5.4.5. Ліквідність

Коефіцієнти ліквідності - це клас фінансових показників, що використовуються для визначення спроможності боржника погашати поточну заборгованість без збільшення зовнішнього капіталу. Коефіцієнти ліквідності визначають здатність компанії сплачувати боргові зобов'язання та її запас міцності через розрахунок показників, включаючи коефіцієнт поточного, швидкого коефіцієнта та співвідношення операційного грошового потоку. Поточні зобов'язання аналізуються стосовно ліквідних активів для оцінки покриття короткострокових боргів у надзвичайних ситуаціях.

Коефіцієнти ліквідності є найбільш корисними, коли вони використовуються у порівняльній формі. Цей аналіз може бути внутрішнім або зовнішнім. Наприклад, внутрішній аналіз коефіцієнтів ліквідності передбачає використання кількох періодів обліку, які відображаються за допомогою тих же методів обліку. Порівняння попередніх періодів часу з поточними операціями дозволяє відстежувати зміни в бізнесі. Загалом високий коефіцієнт ліквідності показує, що компанія є більш ліквідною і має кращий потенціал покриття заборгованості. Альтернативно, зовнішній аналіз передбачає порівняння коефіцієнтів ліквідності однієї компанії з іншою або цілої галузі. Ця інформація корисна для порівняння стратегічного позиціонування компанії щодо конкурентів при встановленні цільових показників.

Аналіз коефіцієнтів ліквідності може бути не таким ефективним, якщо розглядати різні галузі, оскільки різні підприємства потребують різних структур фінансування. Аналіз коефіцієнтів ліквідності менш ефективний для порівняння підприємств різних розмірів у різних географічних локаціях. Найбільш базовим коефіцієнтом ліквідності або метрикою є обчислення оборотного капіталу. Оборотний капітал - це різниця між поточними активами та поточними зобов'язаннями. Якщо підприємство має позитивний оборотний капітал, це означає, що воно має більше оборотних активів, ніж

поточні зобов'язання, а в разі надзвичайної ситуації, підприємство може сплатити всі свої короткострокові борги. Негативний оборотний капітал вказує на те, що компанія є неліквідною. Коефіцієнт поточної ліквідності ділить загальні оборотні активи за загальними поточними зобов'язаннями. Цей коефіцієнт забезпечує найпростіший аналіз щодо рівня покриття поточних боргів оборотними активами. Коефіцієнт миттєвої ліквідності охоплює на поточний коефіцієнт, включаючи лише грошові кошти, ринкові цінні папери та дебіторську заборгованість у чисельнику. Коефіцієнт миттєвої ліквідності відображає потенційні труднощі при продажу запасів або передплачених активів у результаті надзвичайної ситуації.

5.5. Проектна документація, необхідна фінансовим установам

Заявнику кредиту необхідно розробити пакет презентації проекту для потенційних фінансистів незалежно від формату заявки на отримання кредиту.

Стандартний пакет містить документацію, наведену нижче.

- Лист-заява від заявника до банку.
- Фінансова інформація про заявника. Ця інформація включає:
 - фінансову звітність, що пройшла аудит, за останні три роки (за наявності);
 - податкову декларація за останні три роки;
 - статут заявника та інша корпоративна документація заявника (у випадку приватної компанії);
 - звіт про фінансовий аналіз, що вказує на фінансове становище заявника: поточні активи/зобов'язання; коефіцієнт довгострокової заборгованості (загальна довгострокова заборгованість / (загальна довгострокова заборгованість + власний капітал); відношення заборгованості до власного капіталу (сукупні зобов'язання / (сукупні зобов'язання + акціонерний борг));
 - Коефіцієнт покриття обслуговування боргу (можливість обслуговування боргу, що визначається як річний грошовий потік до відсотків і податків, поділений на виплату відсотків і основної суми; загальний коефіцієнт боргу (річний грошовий потік до відсотків і податків, поділений на загальну суму кредиту);
- Інформація, що стосується кредитоспроможності, наприклад активи для забезпечення та будь-які кредитні гарантії.
- Проектна документація. Залежить від типу проекту, але в основному включає:
 - бізнес-план, що описує фінансову модель проекту
 - технічне обґрунтування проекту
 - дослідження фінансової спроможності проекту
 - дослідження навколишнього середовища та соціального впливу (якщо необхідно)
 - будь-які інші відповідні проектні документи, такі як юридичний дозвіл;
 - угоди про партнерство тощо.

5.6. Кредитний аналіз фінансовими установами

Головною метою фінансової установи є мінімізація ризику, пов'язаного із кредитом, що надається компанії. З цієї причини, коли проект з енергоефективності подається для фінансування, фінансова установа вивчить низку критеріїв, щоб оцінити, чи варто фінансувати проект, з точки зору кредитора.

Аналіз кредиту – це процес оцінки заявки на отримання кредиту або випуску боргу корпорації з метою визначення ймовірності того, що позичальник буде дотримуватися своїх зобов'язань. Іншими словами, кредитні аналітики вивчають фінансову історію заявника для визначення кредитоспроможності. Ключовим елементом кредитного аналізу є прогнозування ймовірності того, що підприємство може зіткнутися з фінансовими труднощами.

З точки зору фінансової установи проведення належної оцінки позичальника є найважливішою частиною загальної оцінки проекту з енергоефективності. Незалежно від того, наскільки потужним може бути інвестиційний проект з технічної та фінансової точки зору, кредитори завжди хочуть перевірити загальну кредитоспроможність потенційного позичальника.

Таким чином, оцінки прибутковості та прогноз грошових потоків будуть проаналізовані не тільки для конкретного проекту з енергоефективності, але і для компанії в цілому.

Оцінка інвестиційного проекту з енергоефективності завжди вимагає детального процесу аналізу, який охоплює:

- оцінку кредитоспроможності (кредитний аналіз);
- технічну оцінку;
- фінансову оцінку;
- екологічну оцінку;
- юридичну оцінку.

Що стосується технічної, екологічної та юридичної оцінки, кредитори будуть спиратися на експертні висновки, надані в технічних дослідженнях та документах комплексної перевірки. Хоча іноді банки мають відповідну внутрішню експертизу, у більшості випадків вони використовують зовнішніх консультантів для перегляду документів.

Незалежно від того, де ви бажаєте отримати фінансування, потенційний кредитор перегляне вашу кредитоспроможність. Оцінка кредитоспроможності вимагає детального аналізу фінансового стану позичальника та можливості обслуговування боргу, глибокого розуміння їхнього походження та мети позики і оцінки застави. До основних компонентів аналізу кредиту відносять:

Потенціал – це здатність (з технічної, фінансової та управлінської точки зору) керувати бізнесом і повертати кредит. Кредитор розглядатиме грошові потоки від бізнесу, терміни погашення та ймовірність успішного погашення кредиту. Історія платежів за існуючими кредитними відносинами вважається показником майбутнього виконання зобов'язань. Потенційні кредитори також прагнуть знати про можливі джерела погашення.

Капітал – це довгострокова стійкість компанії та джерел її фінансування. Капітал також належить до ваших власних коштів, вкладених у бізнес, і є показником того, наскільки ви/ваша компанія несете ризик, якщо проект виявиться невдалим. Потенційні кредитори та інвестори очікують, що ви внесете частку своїх власних активів та будете нести особистий фінансовий ризик, перш ніж попросити їх внести будь-яке фінансування.

Застава. Кредитори перевірятимуть міцність запропонованого безпечного пакета у разі невдачі передбачуваних засобів погашення (грошовий потік нижчий, ніж очікувалося). Забезпечення або гарантії є додатковими формами забезпечення, які просять кредитори. Надання застави позико-

давцю означає, що ви віддаєте актив у заставу кредиторів (іпотеку на нерухомість, заставу на обладнання), якщо ви не зможете погасити кредит. З іншого боку гарантія – це коли певна особа підписує гарантійний документ, за яким обіцяє погасити кредит, якщо ви не матимете змоги. Деякі кредитори можуть вимагати таку гарантію на додаток до застави в ролі забезпечення позики.

Умови фінансування в першу чергу спрямовані на цільове призначення кредиту (чи будуть гроші використані для оборотного капіталу, додаткового обладнання або інвентарю) і одночасно на ринок і те, як компанія виконує свою діяльність на ринку. Кредитор також враховуватиме місцевий економічний клімат і умови як у вашій галузі, так і в інших галузях, які можуть вплинути на ваш бізнес.

Репутація. Кредитор перегляне цілісність бізнесу та його керівництва і сформує суб'єктивну думку щодо того, чи ви є достатньо надійними для погашення кредиту або повернення коштів, вкладених у вашу компанію. Якщо компанія велика, репутація акціонерів і менеджерів, а також досвід роботи в бізнесі будуть ретельно проаналізовані. У випадку малого бізнесу враховуватиметься якість ваших рекомендацій та рівень досвіду вашого персоналу.

Загалом представники банків не тільки аналізуватимуть інформацію, яку ви надаєте про свій бізнес-план, а й здійснюватимуть дослідження галузі та намагатимуться отримати інформацію про компанію від ваших ділових партнерів та їхніх колег-банкирів. Вони перевірятимуть національні бази даних, пов'язані з рівнями боргу позичальників та історією погашення, загальною транзакційною поведінкою та існуючими заставами на ділові активи. Експерти з заявки на отримання кредиту будуть ретельно переглядати ваші фінансові звіти та їх динаміку у часі з метою пошуку показників або ознак поганої кредитоспроможності.



6. Вимірювання та верифікація згідно зі стандартом ISO 50015

6.1. Визначення

Стандарт ISO 50015 визначає загальні керівні принципи процесу вимірювання та верифікації (ВВ) енергетичних показників організації або різних її компонентів.

ВВ – це процес планування, вимірювання, збирання даних, їх аналізування, перевіряння та звітування щодо рівня (або його підвищення) енергоефективності, отриманих після впровадження заходу з підвищення енергоефективності, наприклад:

- модернізація системи освітлення;
- поліпшення теплоізоляції;
- модернізація системи опалення.

ВВ за стандартом ISO 50015 може використовуватися в кількох організаційних контекстах:

- організаціями, що мають існуючі системи енергетичного менеджменту, такі як ISO 50001, або не мають їх;
- для ВВ рівня досягнутої/досяжної енергоефективності або підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності;
- для всієї організації або її частини.

Цей стандарт можуть використовувати організації будь-якого розміру або будь-яка сторона, зацікавлена в здійсненні ВВ для звітування про результати енергетичної ефективності.

6.2. Мета і потреба

При виконанні заходів з підвищення енергоефективності виникають такі питання:

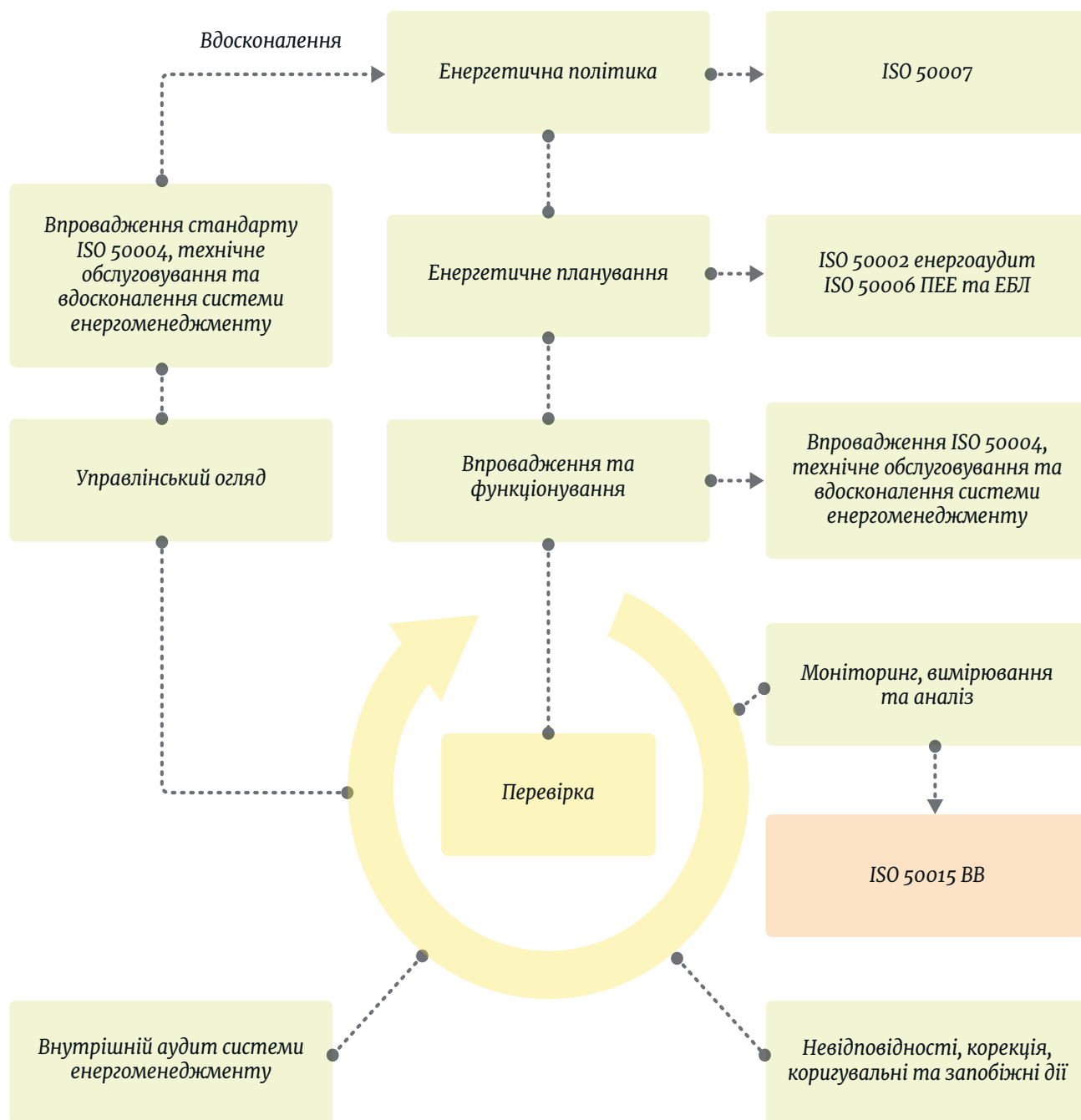
- Потенціал енергозбереження;
- Вимірювання енергозбереження
 - при зміні обставин, наприклад, при зміні виробничої системи;
 - при зміні виробничої потужності.

Для більш прозорого відображення енергетичних потоків необхідне систематичне вимірювання енергоспоживання.

Стандарт ISO 50015 встановлює загальний принцип енергоефективності та підвищення її рівня в системах енергоменеджменту. Він також визначає результат енергозбереження від заходів з підвищення енергоефективності.

Рисунок нижче демонструє значення стандарту ISO 50015 та галузі, в яких він використовується.

Рисунок 12: Значення стандарту ISO 50015 в енергетичній системі



6.3. Огляд

У таблиці нижче показаний огляд діяльності та принципів BB відповідно до стандарту ISO 50015. Ці принципи й етапи, що беруть участь у BB, детально описано в наступних розділах.

Принципи BB слугують основою для подальших керівничих вказівок з питань енергоефективності організації та підвищення її енергоефективності. Такі принципи не обов'язкові для виконання, а радше допомагають у прийнятті рішень, що найкраще підходять до певних запланованих і незапланованих ситуацій.

Таблиця 11: Огляд вимірювання та верифікації відповідно до стандарту ISO 50015

Основний принцип вимірювання та верифікації	Крок 1: План	Крок 2–6: Реалізація
Принципи ВВ	План ВВ	Реалізація плану ВВ
Неточності вимірювання ВВ		Документація ВВ

6.4. Вимірювання та верифікація: принципи

Мета ВВ полягає у забезпеченні впевненості зацікавлених сторін у тому, що представлені результати заслуговують на довіру.

Відповідно до стандарту ISO 50015 основою для подальшого керівництва щодо ВВ є такі принципи:

- відповідна точність та управління невизначеністю;
- прозорість і відтворюваність процесу(-ів) ВВ;
- управління даними та планування вимірювань;
- компетенція фахівця з питань ВВ;
- неупередженість;
- конфіденційність;
- використання відповідних методів.

6.5. Вимірювання та верифікація: вимірювання

Типові питання для виконання вимірювань у системі:

1. Де необхідно встановити додаткові лічильники для ВВ заходу, що було реалізовано?
2. Які умови встановлення таких лічильників?

На рисунку нижче показано типову структуру системи збору даних для вимірювання та верифікації.

6.6. Вимірювання та верифікація: приклад

У 2017 році компанія АБВ витратила 3 млн євро на оплату рахунків за електроенергію. Щоб зменшити витрати на електроенергію, компанія найняла енергоменеджера. У 2018 році ця компанія сплатила 4 млн євро за електроенергію відповідно до рахунків.

Що повинна зробити компанія?

- Звільнити енергоменеджера.
- Винагородити енергоменеджера.
- Потрібно більше інформації для прийняття рішення.

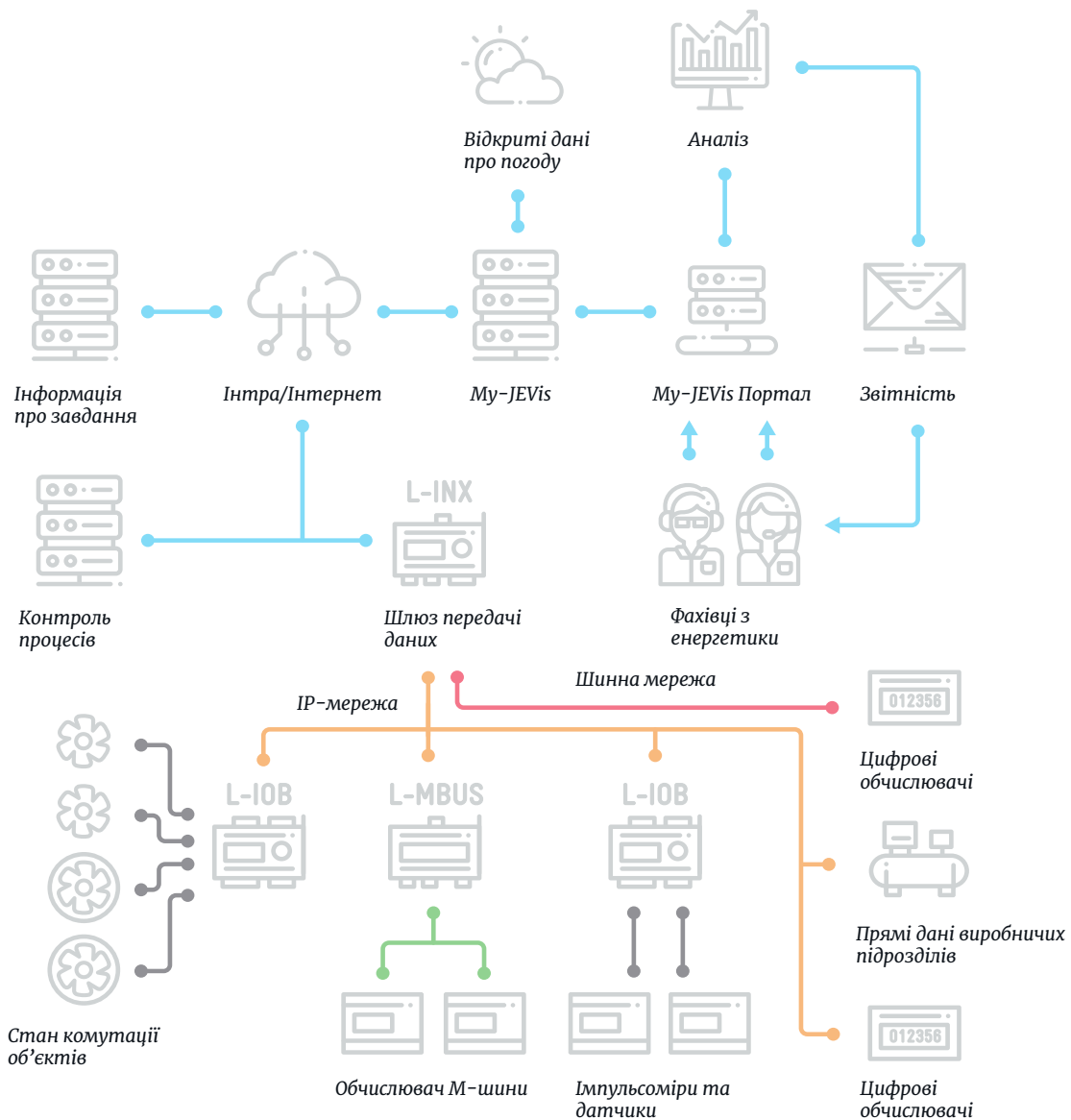
Більш докладно

У 2017 році компанія АБВ витратила 3 млн євро на оплату рахунків за електроенергію. Щоб зменшити витрати на електроенергію, компанія най-

Рисунок 13: Вимірювання у процесі ВВ



Рисунок 14: Структура вимірювання в рамках ВВ



няла енергоменеджера. У 2018 році ця компанія сплатила 4 млн євро за електроенергію відповідно до рахунків.

Проте компанія також розширилася на 7 000 м², збільшила щотижневу кількість робочих годин на 9% і стикнулася із підвищенням ціни на електроенергію на 5%. Крім того, літо було рекордно спекотним.

Що повинна зробити компанія?

- Звільнити енергоменеджера.
- Винагородити енергоменеджера.
- Потрібно більше інформації для прийняття рішення.

Більше деталей

У 2017 році компанія АБВ витратила 3 млн євро на оплату рахунків за електроенергію. Щоб зменшити витрати на електроенергію, компанія найняла енергоменеджера. У 2018 році ця компанія сплатила 4 млн євро за електроенергію згідно рахунків.

Проте компанія також розширилась на 7 000 м², збільшила кількість працівників на 7%, збільшила щотижневу кількість робочих годин на 9% і стикнулася із підвищенням ціни на електроенергію на 5%. Крім того, літо було рекордно спекотним.

Виходячи з базової лінії 2017, розрахунки ВВ показують, що за відсутності програми управління енергією компанія витратить 4,8 млн євро. Отже, у 2018 році енергоменеджер допоміг компанії заощадити 800 000 євро.

Що повинна зробити компанія?

- Винагородити енергоменеджера.

6.7. Вимірювання та верифікація: План

6.7.1. Фундаментальні кроки в процесі ВВ

Відповідно до стандарту ISO 50015 процес ВВ передбачає шість основних кроків, про які йдеться нижче:

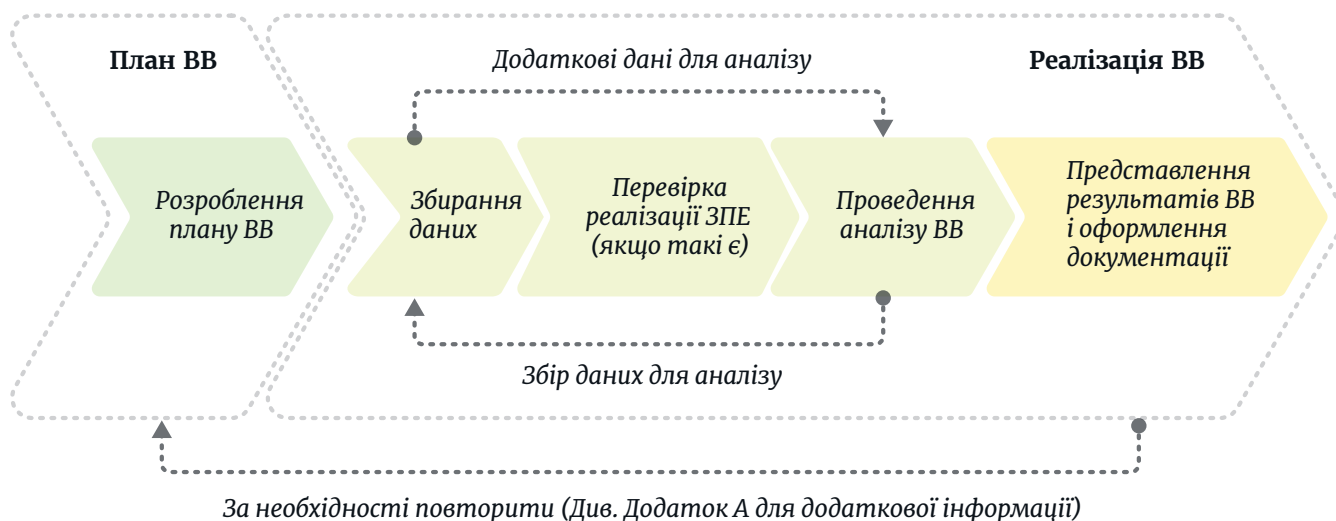
1. Розроблення та документування плану ВВ – документа, який описує, як повинна виконуватися кожна фаза ВВ.
2. Збирання даних.
3. Перевіряння реалізації заходів з підвищення енергоефективності (якщо такі є).
4. Проведення аналізу ВВ.
5. Представлення результатів ВВ і оформлення відповідної документації.
6. Розглядання питання про необхідність повторення кроків 1-5 у разі потреби.

6.7.2. Обсяг та цілі

План ВВ повинен описувати такий обсяг та цілі:

- організація, для якої здійснюється ВВ;
- завдання ВВ, оскільки це важливо при виборі методів, що будуть ви-

Рисунок 15: План процесу вимірювання та верифікації



користуватись, а також рівня точності, необхідного при виконанні вимірювань;

- відповідальні сторони, їхні ролі та відношення до організації, відповідність принципу неупередженості;
- вимоги до конфіденційності результатів вимірювань;
- сторони, які отримують результати вимірювань;
- будь-які законодавчі або інші вимоги, включаючи додаткові стандарти, яким має відповідати ВВ;
- опис фізичної сфери застосування ВВ;
- опис вимірюваних і перевірених заходів з підвищення енергоефективності;
- потенційні непрямі впливи;
- методологія, що була використана для ВВ;
- огляд даних, які необхідно зібрати та проаналізувати, зокрема, тип даних і частота їх збирання;
- вимоги щодо точності або невизначеності вимірювань;
- частота і формат звітів щодо ВВ;
- процес оновлення плану ВВ у разі потреби;
- підтвердження того, що сфера дії ВВ відповідає практиці ВВ та компетентності фахівця з питань ВВ.

6.7.3. Заходи з підвищення енергоефективності

На практиці слід дотримуватися таких заходів:

- опис кожного заходу з підвищення рівня енергоефективності;
- очікуваний результат;
- порядок реалізації;
- терміни та послідовність виконання;
- розташування витрат на впровадження.

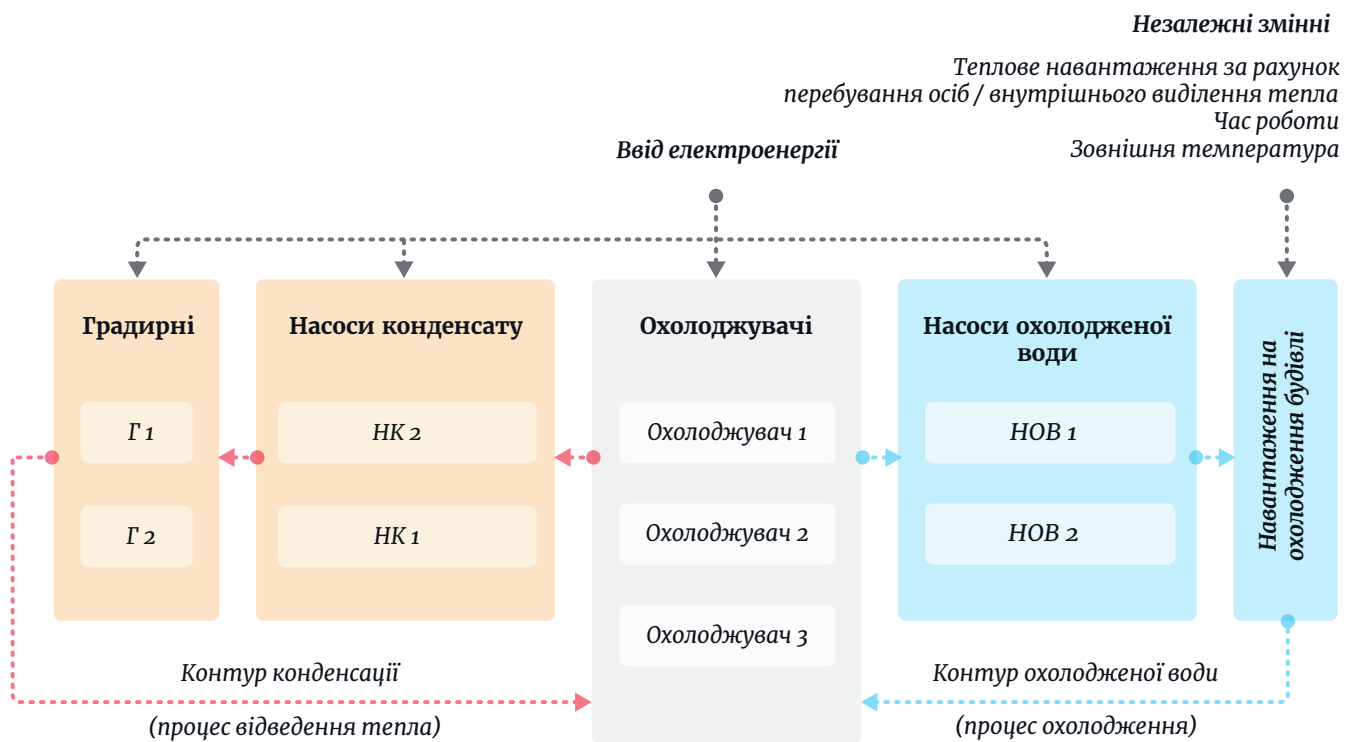
6.8 Межі

Організаційні, фізичні межі, межі, що пов'язані з вузлами, об'єктами, обладнанням, системами, процесами або діяльністю, в яких вимірюється та перевіряється енергетична ефективність або поліпшення енергетичних характеристик.

Межі залежать від:

- обсягу та цілей ВВ;
- характеру заходів з підвищення рівня енергоефективності;
- вибору методів розрахунку і ВВ.

Рисунок 16: Межі вимірювання та верифікації в системі



Якою може бути межа ВВ в цій системі?

6.8.1. Вимірювання та верифікація: План – Приклад меж

Нижче наведено різні випадки з різними межами в цій системі:

Приклад 1:

У цьому випадку вимірювання та перевірка обмежуються лише одним охолоджувальним приладом у системі.

Приклад 2:

У цьому процесі вимірювання та верифікації межу системи становлять декілька охолоджувальних приладів.

Приклад 3:

У якості меж цього процесу вимірювання і перевірки, окрім охолоджувачів, також розглядаються деякі інші блоки.

Приклад 4:

У цьому випадку для цілей вимірювання та верифікації розглядається вся система.

Рисунок 17. Межі вимірювання та верифікації в системі – Приклад 1

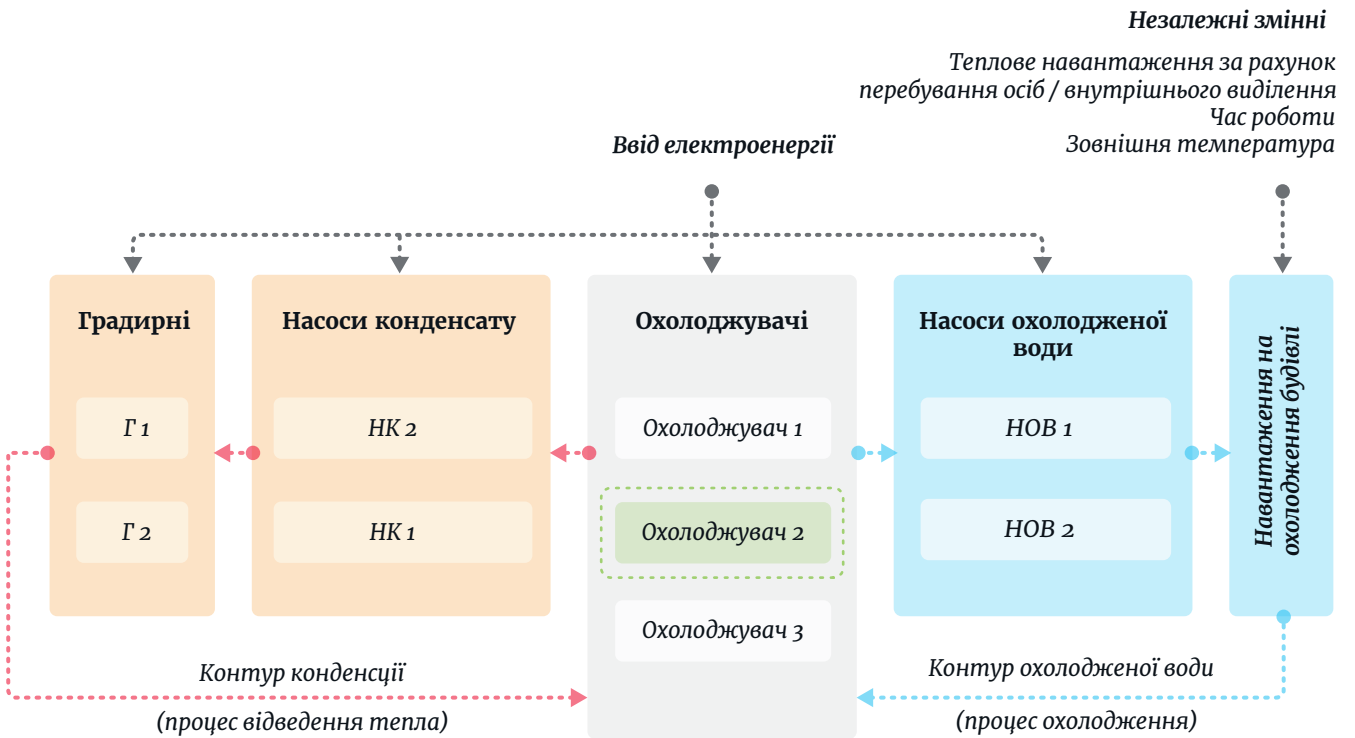


Рисунок 18. Межі вимірювання та верифікації в системі – Приклад 2

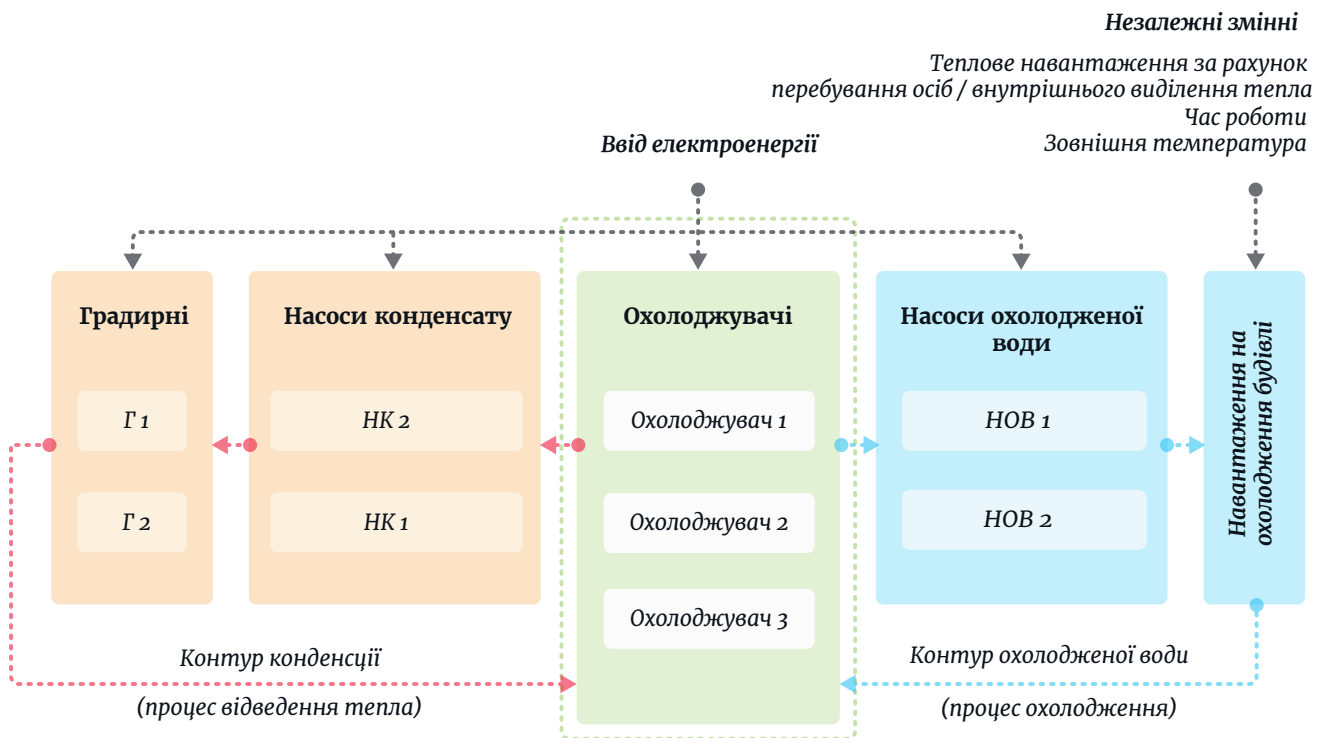


Рисунок 19: Межі вимірювання та верифікації в системі – Приклад 3

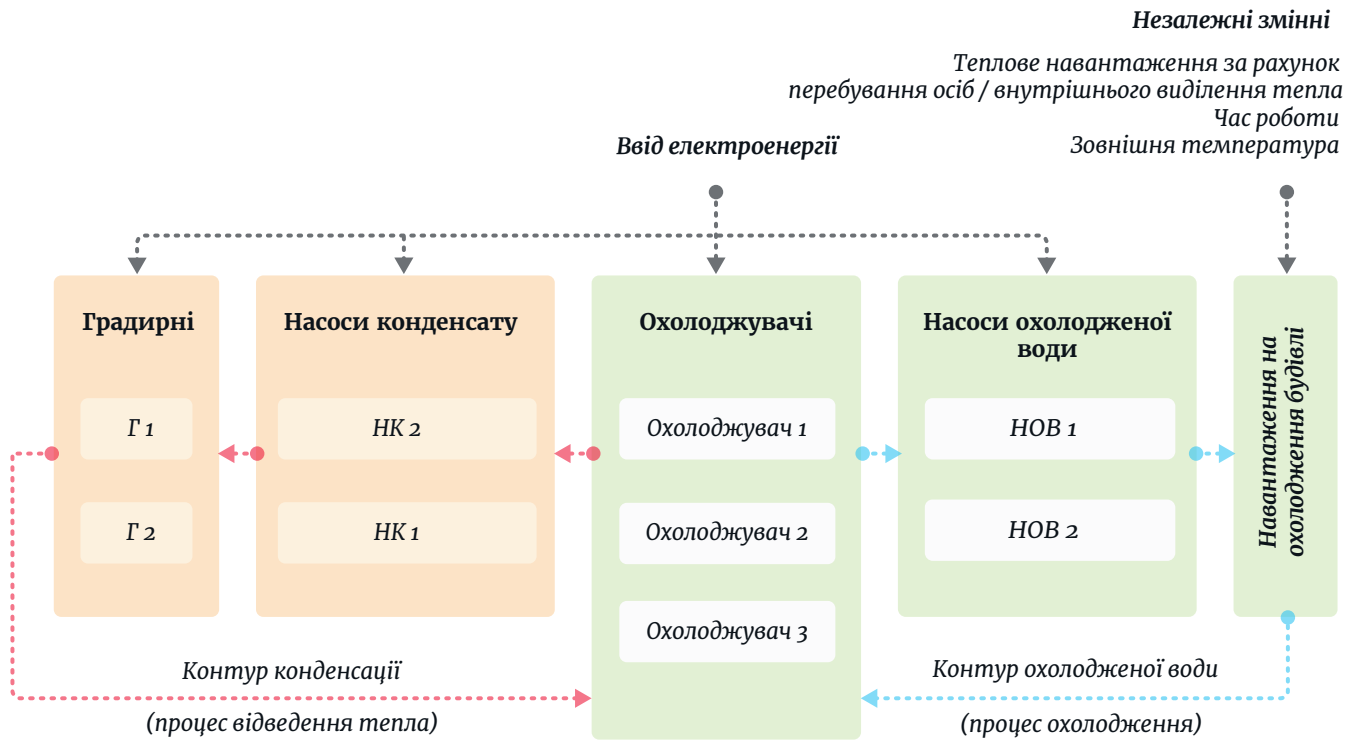
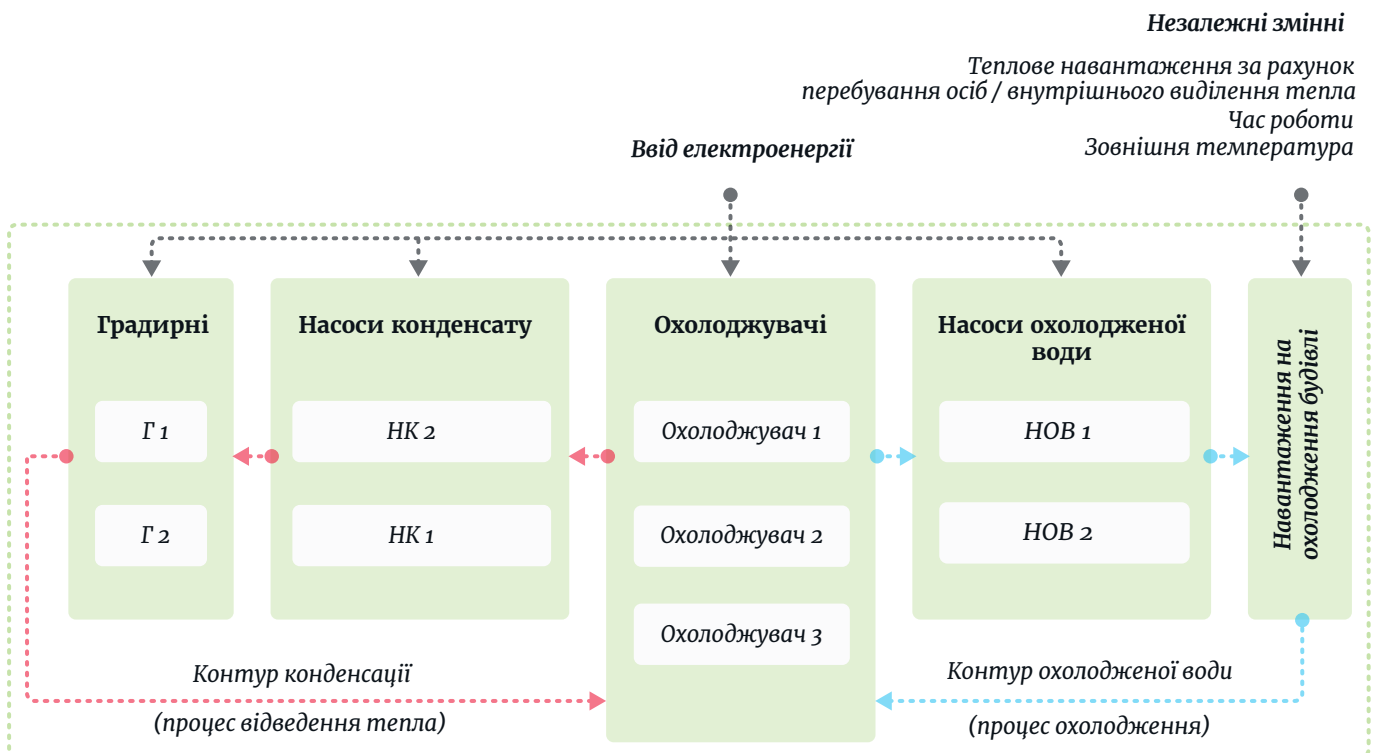


Рисунок 20: Межі вимірювання та верифікації в системі – Приклад 4



6.9. Вимірювання та верифікація: план – енергетична базова лінія

Для здійснення ВВ певний період часу використовується як еталон для порівняння зі звітним періодом.

Встановлення базового рівня енергоспоживання залежить від:

- обсягу та цілей конкретного ВВ;
- характеру заходу(-ів) з підвищення рівня енергоефективності;
- вибору методів розрахунку і ВВ.

6.10. Вимірювання та верифікація: План реалізації

При підготовці базового рівня зазвичай виникають такі складнощі:

- базовий рівень енергоспоживання не враховує періоди експлуатації обладнання;
- неточні або відсутні дані про споживання через помилки обліку, виставлення рахунків або введення даних;
- години роботи обладнання важко точно виміряти.

6.10.1. Збирання даних

Фахівець з питань ВВ повинен збирати та записувати дані відповідно до вимог плану збору даних.

Фахівець з питань ВВ має пересвідчитися, що захід з підвищення енергоефективності, описаний у плані ВВ, впроваджено належним чином. Необхідно зафіксувати такі дії щодо поточного плану ВВ:

- реалізовані дії;
- дії, що не були реалізовані, та відповідні причини;
- дії, що відрізняються від поточного плану ВВ.

6.10.2. Перевірка реалізації заходів з підвищення енергоефектив- ності

Якщо впроваджений захід з підвищення рівня енергоефективності відрізняється від його опису у плані ВВ таким чином, що потребує коригування плану ВВ, то коригування повинно бути зроблено, задокументовано та включено до періодичної звітності про ВВ. Елементи плану ВВ, які можуть потребувати коригування, включають (але не обмежені) методи, вибір меж ВВ, відповідні змінні і статичні фактори.

6.10.3. Очікувані спостереження або непередбачені зміни

Фахівець з питань ВВ має забезпечити, щоб результати ВВ відповідали вимогам і цілям плану ВВ. Ситуації, які потребують нестандартних коригувань, повинні відзначатися і реєструватися відповідальною особою або організацією. Такі ситуації можуть включати зміни в обсязі, зміни в реалізації, виконанні або важливих елементах заходів з підвищення рівня енергоефективності, а також зміни, що відбуваються в межах чи за межами ВВ.

Фахівець з питань ВВ повинен:

- зафіксувати цю ситуацію в межах періодичної звітності ВВ;
- обговорити й оновити план ВВ, щоб включити незаплановану зміну до плану ВВ.

6.10.4. Аналіз ВВ

На цьому етапі ВВ енергетичні показники або поліпшення енергорезультативності визначаються на основі аналізу та результатів збору даних. Аналіз ВВ повинен враховувати обсяг, динамічні періоди, частоту даних і методи, визначені у плані ВВ.

Якщо мета ВВ включає визначення поліпшення енергорезультативності, фахівець з питань ВВ повинен розрахувати базовий рівень енергоспоживання відповідно до плану ВВ. Будь-які нерегулярні зміни або

внесені зміни до методів повинні бути зафіксовані. Результатом цього кроку є виміряні та перевірені дані енергетичних показників.

Якщо протягом одного або кількох періодів часу впроваджуються два або більше заходи з підвищення рівня енергоефективності, то результат ВВ від їх спільного ефекту може відрізнитися від суми, яку було б отримано в результаті впровадження кожного заходу окремо. Аналіз ВВ повинен забезпечити, щоб результат ВВ, визначений для комбінації заходів з підвищення енергоефективності, відповідним чином враховував будь-яку таку різницю.

6.10.5. Звітність з ВВ

Результати ВВ повинні бути задокументовані і представлені протягом періоду, встановленого згідно з планом ВВ. Звіти можуть бути надані один раз на рік, щоквартально, щомісячно тощо. Звіти повинні узагальнювати обсяг і мету ВВ. У звіті повинно бути вказано фахівця з питань ВВ, та її зв'язок з організацією. З метою забезпечення впевненості в результатах, звіти повинні містити чітку інформацію щодо точності або невизначеності вимірювань.

Як правило, звітність щодо ВВ повинна містити:

- список впроваджених заходів з підвищення рівня енергоефективності;
- перелік заходів, запланованих для реалізації, які не були реалізовані, з уточненням причини;
- деталі будь-якого заходу з підвищення рівня енергоефективності, відмінного від початкових планів;
- визначення змін, які сталися, якщо така зміна передбачає будь-які незаплановані коригування;
- наведення результатів енергоефективності або підвищення рівня енергоефективності відповідно до вимог плану ВВ, а також правових, нормативних або інших вимог, які можуть бути застосовані.

6.11. Вимірювання та верифікація: Невизначеність

У процесі вимірювання та верифікації важливо враховувати елемент невизначеності для того, щоб ефективно інтерпретувати та повідомляти результати та забезпечувати достовірність результатів.

Якщо це можливо, необхідно визначити джерела невизначеності та кількісно представити їх, наскільки це практично і корисно для цілей ВВ, таких як перевірка стандартних процедур, перевірка використовуваної методології, аутентифікація розміру вибірки даних та невизначеності вимірювального обладнання.

6.12. Вимірювання та верифікація: документація

Усі заходи в рамках ВВ повинні бути задокументовані, наприклад:

План ВВ

План ВВ повинен бути задокументований таким чином, щоб підвищити впевненість у результаті, прозорість процесу, його передбачуваність, відтворюваність і послідовність. Він повинен бути задокументований і підтримуватися для забезпечення доступності інформації.

Звіт про ВВ

Звіти про ВВ повинні бути задокументовані та подаватися відповідно до графіку, закріпленого у плані ВВ. Звіти можуть подаватися раз на рік, щоквартально, щомісячно тощо.

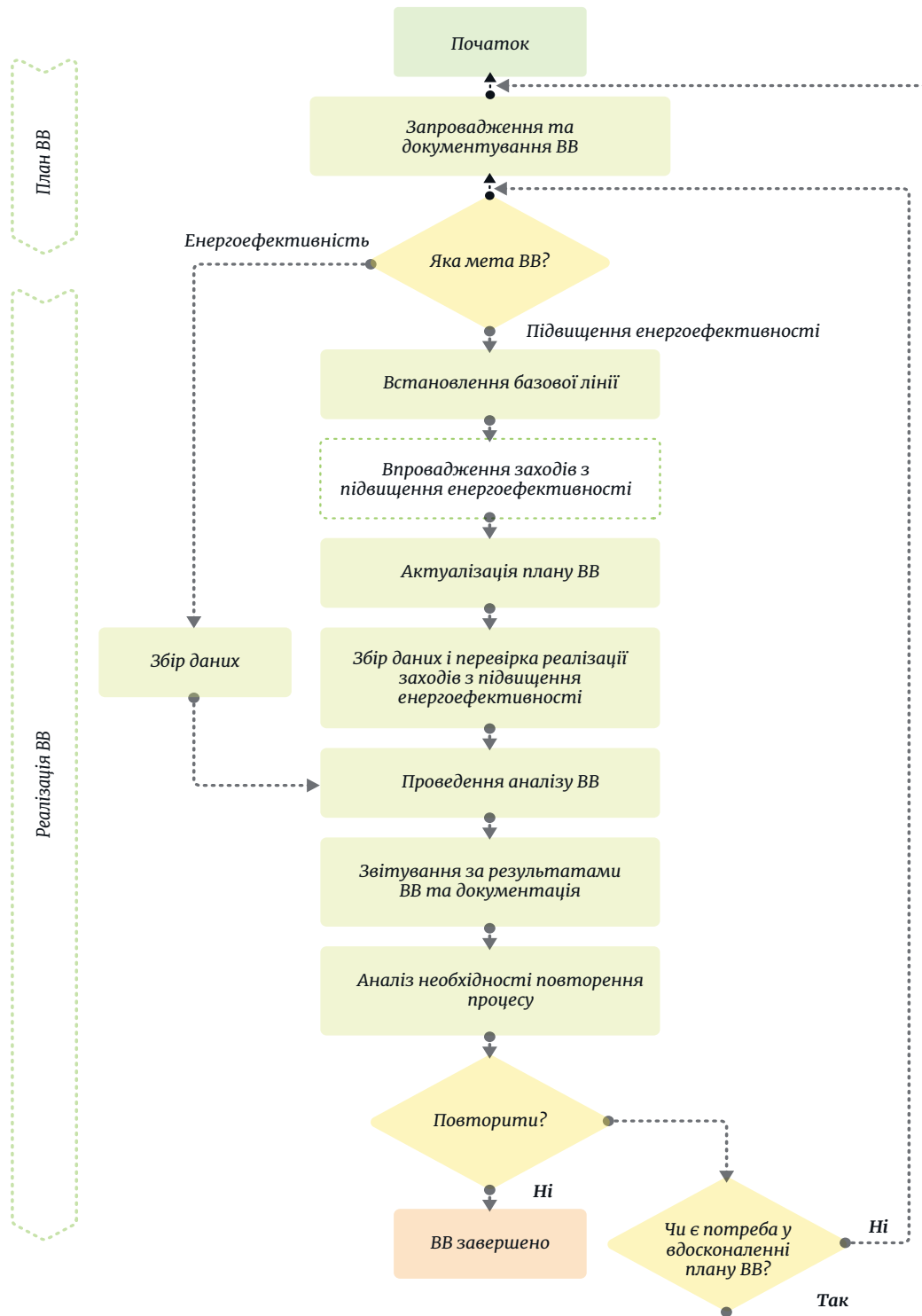
6.13 Вимірювання та верифіка- ція: підсумок

Процес ВВ можна підсумувати таким чином:

- розробка та документація плану ВВ;
- збір необхідних даних;
- огляд виконання заходів з підвищення енергоефективності;
- аналіз та оцінка ВВ;
- звіти про ВВ (результати та документація).

Також важливо перевірити, чи є необхідність коригувати ВВ (наприклад, через певні слабкі місця).

Рисунок 21: Підсумки вимірювання та верифікації



7. Заходи енергоефективності за сферами промисловості

7.1. Виробництво молокопродуктів

Звіт про секторальний аналіз [1] визначає такі процеси як найбільш енергоємні у молочному секторі України:

- зберігання сировини;
- розпакування;
- змішування;
- гомогенізація;
- центрифугування;
- фільтрація;
- пастеризація;
- стерилізація;
- пакування;
- розлив;
- очищення/санітарна обробка.

Серед цих процесів найбільш адекватні та фінансово привабливі заходи енергоефективності можна запропонувати для пастеризації, гомогенізації та CIP (cleaning in place, мийка на місці).

7.1.1. Заходи, пов'язані з процесом пастеризації

Пастеризація – це процес підвищення температури молока до такої точки, коли більшість мікробів у ньому стають неактивними, та підтримки цієї температури протягом певного часу. Як правило, вимагається, аби молоко нагрівалось до 72 °C і проходило обробку протягом 15 секунд, після чого воно негайно охолоджується, з метою обмеження розвитку мікробної активності. Процеси нагрівання й охолодження визначають значні потреби в теплі й електроенергії. Деякі виробництва пастеризують молоко при вищій температурі протягом коротшого проміжку часу. Пастеризація може проводитися для партії продукту чи в установках із безперервною роботою. Безперервні установки короточасної високотемпературної обробки (high temperature short time – HTST) найбільш поширені в молочному секторі.

Нижче наведено деякі загальні заходи щодо енергоефективності, які застосовуються на молочних підприємствах у всьому світі.

Підвищення ефективності рекуперації тепла

Рекуперація у пастеризації реалізується у вигляді нагрівання вхідного холодного молока за рахунок обробленого гарячого молока, що дозволяє одночасно зменшити потребу і в нагріванні, і в охолодженні. На підприємствах удавалося досягти показника рекуперації, що дорівнює 94%. Кожен відсоток рекуперованого тепла дозволяє суттєво скоротити потреби у тепlopостачанні та охолодженні.

Було проведено спеціальні обчислення і визначено обсяг заощаджень, яких можна досягнути, підвищивши ефективність рекуперації з 90% до 94% для типового пастеризатора потужністю 20 000 л/год. Установлено, що це дозволяє заощадити 32% електроенергії, що використовується для охолодження, і 27 % природного газу, який використовується для нагрівання.

Цей захід є найбільш привабливим у плані рентабельності. Для збільшення площі теплообмінників і досягнення показника рекуперації у 94% необхідно інвестувати приблизно 450 тис. грн, які окупляться за один рік¹. Потенційно, він може бути застосований у всіх підприємствах сектору, оскільки більшість рідкого молока проходить пастеризацію. Точний потенціал заощадження не може бути наразі оцінений через відсутність даних.

Простий виробництва у зв'язку з установкою нового обладнання може стати перешкодою.

Згідно зі стандартами у більшості країн, молоко слід нагріти до таких температур і підтримувати їх протягом такого часу:

- 63 °C протягом 30 хвилин;
- 72 °C протягом 15 секунд;
- 88 °C протягом 1 секунди.

Оптимізація температури і тривалості пастеризації

Оптимізація процесу пастеризації і зниження температури до мінімальної припустимої може сприяти суттєвій економії. Серед досліджених молочних підприємств немає консенсусу щодо температури і тривалості пастеризації, і перша коливається у діапазоні між 75 °C і 85 °C. Аби продемонструвати потенційні заощадження, було проведено спеціальні обчислення. Зниження температури пастеризації від 85 °C до мінімального значення - 72 °C при рекуперації на рівні 90% призведе до економії близько 10% природного газу для нагрівання молока та близько 13% електроенергії для його охолодження.

Захід потребує переналаштування обладнання, що може призвести до простою у виробництві. Виробники можуть поставитися до цього заходу насторожено. Можливе проведення тестових запусків із новими налаштуваннями, після яких перевірятиметься якість продукції. Так можна з'ясувати оптимальні параметри, які забезпечують найкращу енергоефективність і не шкодять виробничому процесу.

Потенційно цей захід може бути застосований в усьому секторі, однак точний потенціал заощадження не може бути наразі оцінений через відсутність даних.

«Режим сну» для пастеризаторів

Сучасні установки для пастеризації мають спеціальний режим сну, який скорочує роботу з охолодження і знижує нагрівання до 90%, а також зменшує тиск гомогенізатора, що приводить до економії енергії на рівні 95% порів-

1. Із розрахунку 4,000 робочих годин на рік, за вартості електроенергії 3,3 грн/ кВт*год та природного газу - 4 800 грн/1000 м³.

няно з нормальним режимом роботи. Режим сну доцільно використовувати для пастеризаторів, які проводять тривалі проміжки часу в режимах непродуктивної роботи, наприклад, промивки, CIP та ін. Пастеризатор має пройти переналаштування, перш ніж зможе переходити в режим сну. Як правило, для цього вимагається близько 1,8 млн грн інвестицій². Точний показник економії можна визначити на основі детального аналізу процесу пастеризації.

Методи нетермічної пастеризації

Існують різні методи нетермічної пастеризації, що наразі досліджуються і можуть забезпечити вищий рівень енергоефективності, ніж традиційна термічна обробка. Деякі з цих методів вже були успішно впроваджені в інших секторах харчової промисловості, а деякі скоро стануть доступними на ринку. Серед альтернатив технології HTST-пастеризації:

- Ультразвукова пастеризація.
- Ультрафіолетова пастеризація.
- Пастеризація імпульсним електричним полем.
- Гідродинамічна пастеризація.
- Пастеризація під високим тиском.

Незважаючи на те, що деякі з цих технологій пропонують реальні можливості у плані енергозбереження та економії коштів, процес пастеризації досі розглядається різними органами регулювання харчової промисловості в усьому світі як суто тепловий процес. Ці технології повинні пройти всебічну перевірку, перш ніж їх можна буде впроваджувати на українських молочних заводах.

7.1.2. Заходи, пов'язані з процесом гомогенізації

Гомогенізація – це процес розщеплення жирових часток у молоці, що здійснюється для запобігання виділенню вершків. Як правило, гомогенізація здійснюється шляхом пропускання молока під високим тиском через спеціальну гомогенізуючу головку. Рівні тиску при гомогенізації коливаються від 50 до 500 бар.

Використання високоефективного гомогенізатора

Високоефективні головки дозволяють знизити тиск гомогенізації на 20-30% порівнянно зі звичайним обладнанням, без шкоди процесу. Відповідно, знижуються енерговитрати на роботу насоса.

Це комерційна технологія, яку можна встановити на робочий гомогенізатор. Інвестиційні витрати становлять близько 0,8 млн грн для гомогенізатора потужністю 20 000 л/год, а період окупності складає 2-3 роки³. Цей захід може застосовуватися в усій галузі, оскільки всі молочні заводи проводять гомогенізацію. Неможливо наразі обчислити точні заощадження в секторі.

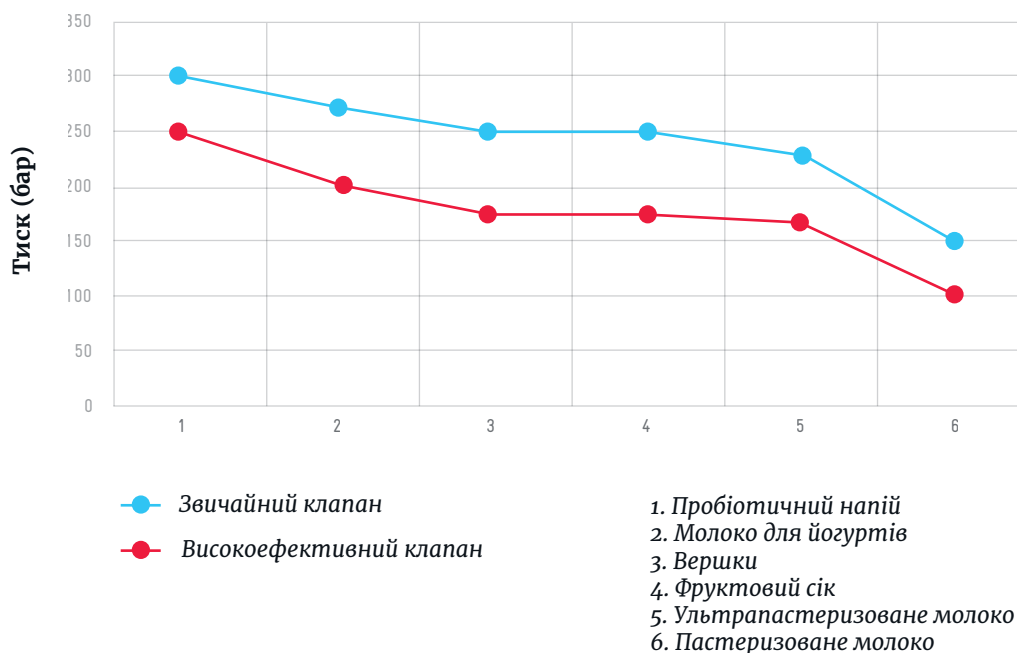
Часткова гомогенізація

У ході звичайного процесу гомогенізації як знежирене молоко, так і вершки пропускають через гомогенізатор. На противагу, в ході часткової гомогенізації через установку проходять лише вершки, які потім змішуються з молоком. Відповідно, відпадає потреба у крупній гомогенізаційній установці і знижуються експлуатаційні витрати. Незважаючи на те, що тиск, необхідний для гомогенізації жирної частини молока, вищий, експлуатаційні витрати можуть знизитися на 70%. Деякі підприємства можуть насторожено поставитися до часткової гомогенізації, але це перевірена

2. Європейська ціна для установки потужністю 350,000 м³

3. Із розрахунку 6000 робочих годин на рік, та вартості електроенергії 3,3 грн/кВт год. Розрахунок виробника

Рисунок 22. Порівняння робочих тисків звичайного і вискоєфективного клапанів для різних рідин



ефективна технологія. Рекомендується пропонувати українським молочним виробникам часткову гомогенізацію як маловитратний захід, що дасть змогу заощадити значну кількість енергії. Внаслідок того, що через гомогенізатор проходить менша кількість молока, потреба в очищенні також зменшується, що, у свою чергу, означає зменшення споживання енергії.

Наприклад, дослідження показують, що у Великій Британії 7 із 10 молочних підприємств уже використовують часткову гомогенізацію. Для закупки нового обладнання та внесення технологічних змін знадобиться близько 4,5 млн. грн⁴.

7.1.3. Заходи, пов'язані з CIP-мийкою

Очищення є дуже важливою операцією в молочній промисловості через високі вимоги до забезпечення харчової безпеки та технічного обслуговування обладнання. На молочних виробництвах, на яких було проведено енергетичні аудити, застосовується процедура Cleaning In Place (CIP), за якої спеціальна мийна рідина проходить через обладнання за певних умов, очищуючи і дезінфікуючи його. Цей процес вимагає теплової енергії для нагрівання мийного розчину до необхідної температури та електричної енергії для забезпечення циркуляції мийного розчину. Окрім енергії, процес CIP також вимагає великої кількості води та хімічних речовин, таких як ПАВ, кислоти та ін.

Ефективність процесу CIP залежить від таких параметрів:

- концентрація мийного розчину;
- температура мийного розчину;
- час роботи;
- турбулізація потоку.

4. Європейська ціна для типового підприємства розміром 350 000 мз. Потрібен додатковий аналіз, щоб визначити необхідний обсяг інвестицій в українських реаліях.

Оптимізація CIP

Оптимізація цих параметрів може підвищити й ефективність очищення, і показники енергоефективності. Молочним підприємствам варто випробувати різні режими очищення, аби знайти той, що буде найбільш енергоефективним. Існує сучасне програмне забезпечення для оптимізації процесу CIP, яке допоможе знайти оптимальний режим у плані очищення й енергоефективності.

Ці програмні засоби аналізують вхідні дані різних датчиків і встановлюють оптимальні показники для різних параметрів. Такі програмні засоби підходять для підприємств з високим рівнем автоматизації. Слід провести дослідження рівня автоматизації на українських молочних заводах, перш ніж можна буде оцінити застосовність цього заходу та пов'язані витрати і доходи.

Також можна досягти економії, перевівши систему CIP з роботи на основі таймера в режим роботи на основі показань датчиків. У першому випадку, система CIP працює протягом певного періоду часу, що часто призводить до неефективної роботи – обладнання вже очищене, а система продовжує працювати. CIP, що використовує показання датчиків, отримує інформацію від сенсорів про ключові параметри обладнання і вмикається за потреби, забезпечуючи, таким чином, оптимальне використання ресурсів і необхідне очищення.

CIP-системи з повторним використанням мийного засобу

На молочних виробництвах було виявлено системи CIP з температурою мийного розчину вище 85°C. Широко застосовуються ПАВ та кислоти, які необхідно нагріти до відносно високих температур для забезпечення очищення.

Такі CIP-системи дозволяють мийному засобу циркулювати в системі. У результаті зменшуються витрати хімічних речовин, а також обсяги енергії, необхідної для нагрівання хімічних розчинів до необхідної температури.

Близько 25-50% споживаної теплової енергії в системах CIP втрачається після завершення циклу, коли мийний розчин виводиться у каналізацію. Цього можна уникнути, налагодивши рециркуляцію розчину і його багаторазове використання, аж поки він не втратить мийних характеристик.

Необхідні капіталовкладення для встановлення нових компонентів та переналаштування системи CIP.

CIP-системи з використанням ензимів

Деякі ензими, такі як протеаза, ліпаза тощо, можуть використовуватися в системах CIP з численними перевагами, в тому числі енергетичними. Розчин на основі ензимів потрібно нагрівати лише приблизно до 50°C, на відміну від розчинів каустичної соди (85°C), що дозволяє зберегти до 50% енергії.

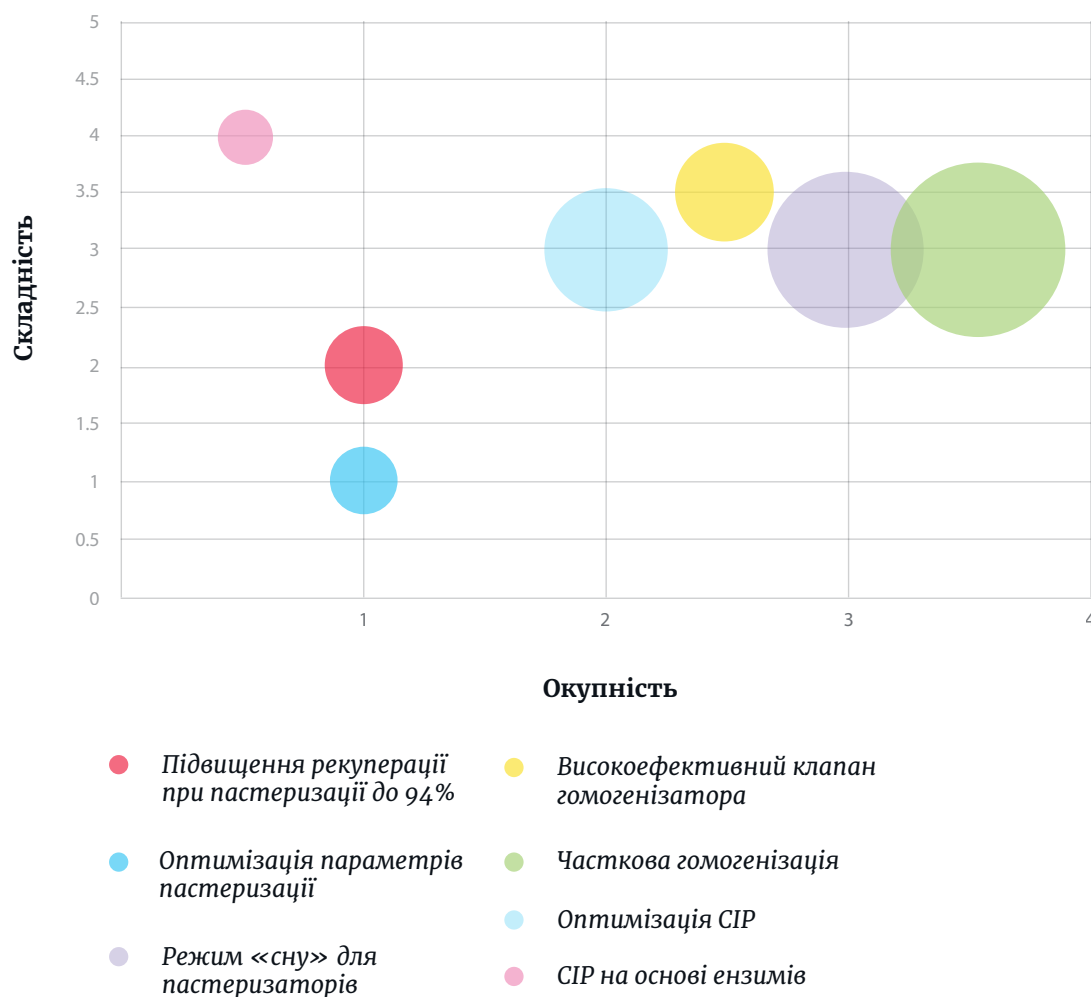
Системи з використанням ензимів уже успішно застосовуються в інших секторах харчової промисловості і проходять випробування на деяких молочних виробництвах. Необхідно провести додаткові дослідження з метою оцінки потенціалу збереження та придатності даного заходу для українських молочних підприємств.

7.2. Виробництво хлібопекарських продуктів

Виробничий процес, із яким у хлібопекарнях пов'язане найбільше споживання енергії – це, звичайно, випічка. Близько 40-50% енергії споживається печами. Тепло непрямим шляхом переноситься на хлібобулочні вироби в печі. Системи безпосереднього перетворення енергії та виробництва тепла (наприклад, печі, обладнані окремими пальниками), розглядаються в розділі, присвяченому теплогенераторам.

У більшості хлібозаводів є кілька печей і різноманітні установки для випікання різних типів продуктів. Найпоширенішими є тунельні, подові та стелажні (тупикові) печі. Їхні особливості розглянуто далі. По-перше,

Рисунок 23: Діаграма найбільш актуальних заходів енергоефективності, пов'язаних із технологічним процесом. Розмір кола відповідає розміру необхідних інвестицій



представлені організаційні заходи, спрямовані на зменшення енергоспоживання, частина з яких передбачає незначні інвестиції. Близько 20% використаної енергії втрачається в навколишнє середовище із водяною парою, втратами тепла з поверхонь з відхідними газами. Лише близько 36% енергії переноситься на випічку як корисна енергія.

Тепло використовується в печах для нагрівання випечених виробів та випаровування з них води, аби надалі в продукті могли відбуватися різні ферментативні, хімічні та фізичні процеси. У більшості випадків для забезпечення стабільної якості продукту використовуються автоматичні програми випікання з установленою температурою та тривалістю випікання. Температура, залежно від продукту, коливається між 120 °C для кондитерських виробів і тортів і 280°C для випічки хліба й рулетів. Окрім стабільної температури, для запобігання висиханню продуктів у печі необхідне також зволоження (пропарювання). Крім того, особливо на початку процесу випікання, парова обробка забезпечує необхідну теплоту та запускає важливі процеси у продуктах.

Обробка парю

Більше 20% енергії, що споживають печі, використовується для парової обробки продуктів. Оскільки надмірна парова обробка (до певного моменту) не може зашкодити продукції, а от недостатня – може, пара часто використовується з надлишком. Надлишок пари викидається в навколишнє середовище і жодним чином не використовується. Якщо це можливо, слід визначити мінімальну необхідну кількість пари й автоматизувати процес парової обробки. Це дозволить подолати втрати, що виникають унаслідок використання логіки «Чим більше – тим краще!».



ПЕРЕВІРТЕ КІЛЬКІСТЬ ВИКОРИСТОВУВАНОЇ ПАРИ ТА ЗМЕНШІТЬ ЇЇ ДО МІНІМУМУ!

У загальному випадку парогенератор – це установка (апарат), що виробляє (генерує) водяну пару з тиском, який перевищує атмосферний. Для забезпечення оптимальної роботи парогенератора поверхні нагріву мають залишатися чистими. Хоча вода для парогенераторів часто проходить очищення, вона все одно містить домішки (наприклад, вапно), які поступово утворюють шар на поверхнях нагріву та погіршують теплообмін. Це знижує ефективність роботи. Багато виробників печей оптимізували їхню конструкцію з метою зменшення засмічення поверхонь нагріву та зниження споживання енергії для виробництва пари. Поцікавтеся у виробника обладнання, чи є технічна можливість оснащення ваших установок відповідними модифікаціями для оптимізації споживання енергії й процесу генерування пари.



РЕГУЛЯРНО ОЧИЩУЙТЕ ПОВЕРХНІ ПАРОГЕНЕРАТОРА!

Оптимізація використання площі печі

Те, як використовується зона випікання, істотно впливає на питоме енергоспоживання (кВт год/кг тіста). Печі, що працюють з оптимальним завантаженням, мають найвищу ефективність – коли завантаженість знижується, зростають втрати. Якщо піч завантажена наполовину, то споживання енергії на 20% вище, ніж у випадку, коли вона завантажена на оптимальному рівні. На додачу деякі виробники пропонують можливості оптимізації виробничих процесів для досягнення оптимального використання печей.



НЕ ЗАВАНТАЖУЙТЕ ПЕЧІ НАПОЛОВИНУ! КООРДИНУЙТЕ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТАКИМ ЧИНОМ, АБИ ПРАЦЮВАЛИ ТІЛЬКИ ПОВНІСТЮ ЗАВАНТАЖЕНІ ПЕЧІ!

Втрати через простій

Між завантаженнями окремих партій у печах часто підтримується постійна температура, аби, за необхідності, їх можна було оперативнo використовувати для випікання. Однак це може призвести до значних втрат енергії під час простою. У пекарнях середніх розмірів окремі печі часто використовуються для конкретних продуктів. Саме в цих випадках можливі тривалі періоди простою, що необґрунтовано збільшує споживання енергії.



КООРДИНУЙТЕ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТАКИМ ЧИНОМ, АБИ ПРОСТОЇВ У РОБОТІ НЕ БУЛО! НЕ ПІДТРИМУЙТЕ ВИСОКУ ТЕМПЕРАТУРУ В ПЕЧІ ПІД ЧАС ПРОСТОЮ!

Оптимізація порядку випікання

Різні продукти випікаються за різних температур. У результаті печі іноді доводиться нагрівати для одного процесу випікання, а потім знову охолоджувати для наступного. Як наслідок, споживається значна кількість енергії. Слід вживати відповідних заходів для запобігання такому нагріванню/охолодженню печі.



КООРДИНУЙТЕ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ: ВИПІКАЙТЕ ПРОДУКТИ З ОДНАКОВИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ ВИПІКАННЯ ОДНОЧАСНО! ПОЧИНАЙТЕ РОБОТУ З ПРОДУКТІВ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ НИЖЧОЇ ТЕМПЕРАТУРИ, І РУХАЙТЕСЯ В НАПРЯМКУ ПІДВИЩЕННЯ!

Клапан для вхідних газів

Один із заходів зменшення втрат із відхідними газами – встановлення спеціального клапана або засувки. Під час роботи пальника печі відхідні гази виводяться через димохід. У разі, коли пальник припиняє роботу, гарячі продукти згоряння покидають камеру і вона може охолонути. Клапан автоматично закривається, коли пальник припиняє роботу, таким чином запобігаючи виходу гарячих газів в навколишнє середовище. Ця установка допомагає запобігти охолодженню камери, особливо у проміжок часу між завантаженнями печі. Клапан відкривається автоматично, коли пальник працює і необхідно забезпечити відвід продуктів згоряння. Такі клапани вже інтегровані в більшість сучасних печей. Старі системи, як правило, можуть бути відповідним чином модернізовані. **Економія, якої можна досягти за допомогою клапана для димових газів, становить приблизно 2-3%!**



УСТАНОВІТЬ КЛАПАН ДЛЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ, ЩО ЗАПОБІГАЄ ОХОЛОДЖЕННЮ ПІД ЧАС ЗУПИНКИ!

Ізоляція

Якість теплової ізоляції стінок і дверей печі істотно впливає на втрати з поверхонь, і, відповідно, на енергоефективність. Сучасні печі зазвичай мають високоякісну ізоляцію. У подових печах слід приділити особливу увагу дверцяткам, які часто виготовляються з листової сталі.

Поцікавтеся у відповідальній особи, якими є втрати з зовнішніх поверхонь печі. Поцікавтеся цінами на більш якісну ізоляцію (обчисліть, у тому числі, очікувані заощадження).

Рекуперация тепла від пари та димових газів

Можливості рекуператії тепла описані більш докладно в розділі «Рекуперация тепла». Тут слід лише зазначити, що роздільне відведення відхідних газів та пари є вигідним з енергетичної точки зору, якщо планується використовувати відпрацьоване тепло. Тільки тоді можуть оптимально використовуватися дві різні характеристики (температура газів, що відходять, та теплоємність пари). Економічний ефект, якого можна досягти завдяки рекуператії тепла, залежить не тільки від доступності вторинної теплової енергії в пекарні, а насамперед від того, яка частка відпрацьованого тепла може бути використана.



ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ТЕПЛА ПЕРЕКОНАЙТЕСЯ, ЩО ДИМОВІ ГАЗИ ТА ПАРА ВИВОДЯТЬСЯ З ПЕЧЕЙ ОКРЕМО.

Придбання нового обладнання

Печі – надзвичайно довговічне обладнання, що може використовуватися протягом десятків років. Тому важливо купувати лише енергоефективне обладнання. З іншого боку, слід урахувати і поточний попит, і майбутній розвиток підприємства, перш ніж придбати нове обладнання. Системи, що працюють за модульним принципом (наприклад, стелажні печі), відносно легко можна пристосувати до нових вимог. У свою чергу, великі печі із сітчастими стрічками не можуть бути легко збільшені чи зменшені у розмірах, але вони дають можливість нагрівання лише окремих ділянок, і, таким чином, оптимально використовувати (нагріту) область випікання.



ВРАХОВУЙТЕ РОЗВИТОК ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ. НАДАВАЙТЕ ПЕРЕВАГУ СИСТЕМАМ З ПЕЧАМИ, ЯКІ МОЖНА ВМИКАТИ Й ВИМИКАТИ.

Бродильні камери/ автоматизовані ферментатори

Якість продукції значною мірою залежить від якості сировини. Процес бродіння можна регулювати за рахунок температури та вологості. Як наслідок, весь процес виробництва можна контролювати за рахунок цього етапу. Саме тому, окрім ферментаторів та камер для бродіння, на ринку зараз стали доступними високотехнологічні автоматичні ферментатори. Їх можна використовувати для приведення продуктів до температури бродіння, а також для охолодження й заморожування. Швидкість процесу бродіння і, отже, все виробництво можна регулювати за допомогою різних температурних режимів.

Залежно від особливостей конкретного процесу, підігрів при бродінні може становити близько 25 % від загальної кількості енергії, що використовується в автоматизованих ферментаторах. Максимальна температура, до якої потрібно підігрівати продукти в приміщеннях для бродіння (макс. 40 °C), може легко забезпечуватися вторинним теплом з інших джерел (печі, холодильні установки, компресори). Таким чином, можна майже повністю уникнути використання електроенергії для нагрівання. Загалом у низькотемпературних діапазонах слід намагатися повністю замінити електричні обігрівачі системами використання вторинного тепла. Вироби, які ще не пройшли обробку в автоматизованому ферментаторі, іноді потрапляють на короткий час у звичайний ферментатор. Існує практика використання старих бродильних камер як запасного, проміжного пункту розміщення продукції. У будь-якому разі, слід уважно стежити за тим, аби ці приміщення також були добре ізольовані, а двері відчинялись лише на короткі проміжки часу.

Зволоження

На додачу до охолодження і нагрівання вирішальну роль у процесі бродіння відіграє зволоження продукції. Звичайні електричні випарники, які часто використовуються для зволоження ферментаційної камери, споживають електроенергію для випаровування води. Після цього пару подають у приміщення для бродіння.

Залежно від особливостей процесу, електричні випарники можуть споживати приблизно стільки ж енергії, скільки й системи охолодження (приблизно 35%). Високоєфективним методом зволоження є використання ультразвуку. Споживання електроенергії ультразвуковими випарниками дуже низьке. Вони споживають лише близько 2% обсягу електроенергії, що необхідна для роботи електричних випарників.

Шляхом використання відпрацьованого тепла для нагрівання примі-

щення для бродіння, споживання енергії для ферментації можна зменшити приблизно на 23%. Застосування ультразвукових випарників замість електричних зменшує споживання енергії приблизно на 35%. Загалом, цими заходами можна досягти зменшення споживання енергії для бродіння приблизно на 60%.



ВИМИКАЙТЕ СТАРІ ФЕРМЕНТАТОРИ, КОЛИ ВОНИ НЕ ПОТРІБНІ. ЗАБЕЗПЕЧТЕ ЯКІСНУ ІЗОЛЯЦІЮ ТА ПОВНІСТЮ ЗАЧИНАЙТЕ ДВЕРІ У ПРИМІЩЕННЯХ ДЛЯ БРОДІННЯ.

Системи для смаження

Обладнання для смаження можна знайти майже в усіх пекарнях. Воно використовується для виробництва таких виробів, як пончики та обсмажені тістечка. У більшості випадків жир розтоплюється за рахунок використання електричної енергії чи кип'ятіння. Тісто або маса, як правило, розподіляються автоматично і смажаться у розігрітій олії.

З енергетичної точки зору, системи смаження мають особливе значення для управління піковим навантаженням. Навіть в умовах нормального виробничого процесу слід враховувати загальне навантаження пекарні, якщо використовується система смаження. Це дозволить уникнути дорогих пікових навантажень.

Координуйте використання системи смаження з рештою виробництва та уникайте надмірних пікових навантажень.

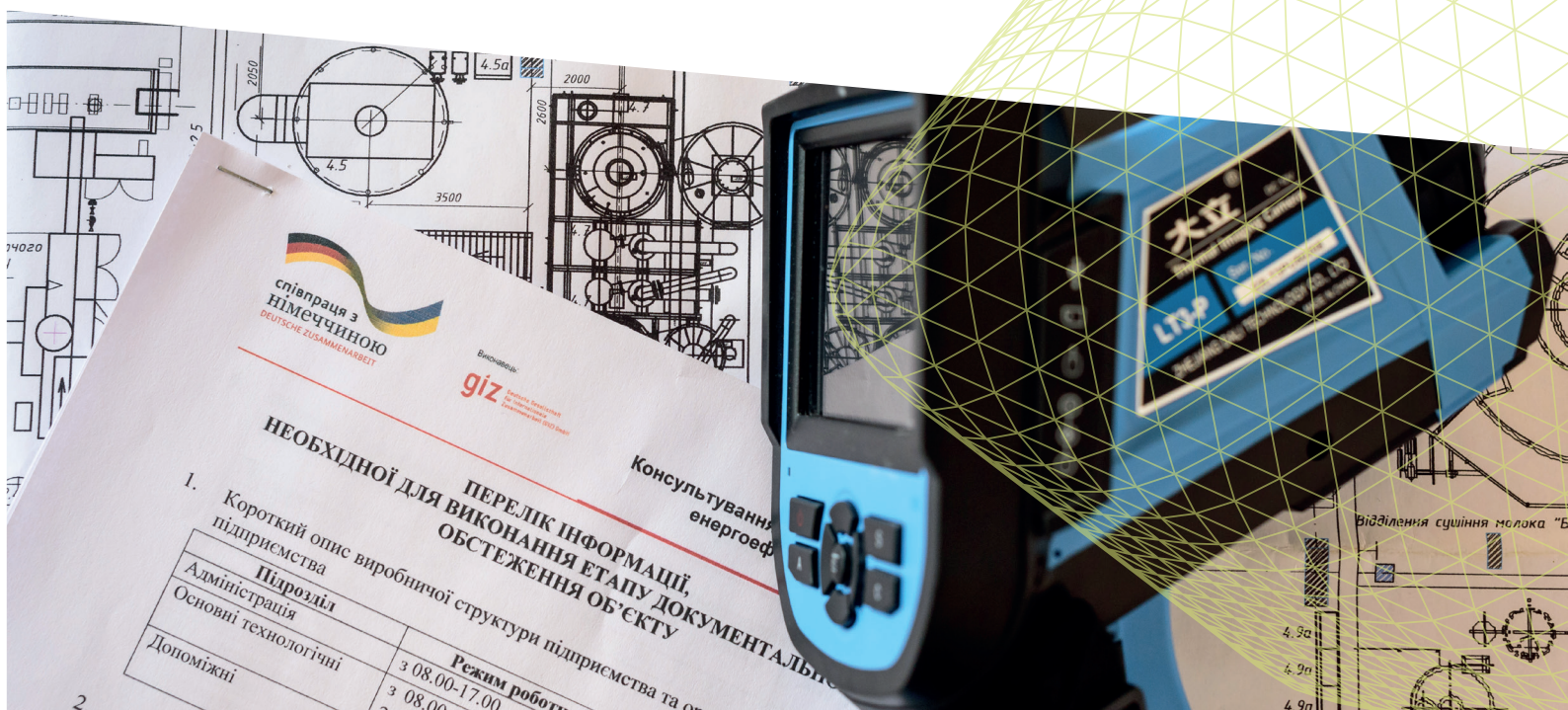
Крім цього, виробництво на підприємстві має бути добре узгоджене у плані використання олії та жирів. Часте нагрівання не лише дорого коштує, а й шкодить їх якості. Саме тому всі жирні кондитерські вироби слід виготовляти за один раз, якщо це можливо.

Аби мінімізувати споживання енергії для нагрівання олії, виробляйте якнайбільше жирної випічки за раз!

На додачу до поглинання енергії продукцією, втрати тепла відбуваються через стінки та поверхню масла. Аби зменшити ці втрати, система повинна бути максимально ізольованою. Якщо це можливо, вона повинна мати кришку.



РОЗГЛЯНЬТЕ МОЖЛИВІСТЬ ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СМАЖЕННЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ КРИШКИ!



8. Енергозбереження у загальновиробничих системах

Таблиця 12: Огляд заходів енергоефективності для розповсюджених систем

Енергетичний менеджмент

<ul style="list-style-type: none"> • Стратегічні програми енергетичного менеджменту • Регулярні оцінки 	<ul style="list-style-type: none"> • Створення команди з енергетичних питань
--	---

Системи контролю за енергією та виробничими процесами

<ul style="list-style-type: none"> • Моніторинг • Моделювання 	<ul style="list-style-type: none"> • Оптимізація
---	---

Парові установки

<ul style="list-style-type: none"> • Відповідність потужності потребам • Живильна вода котла • Контроль використання котла • Оптимізація продувки • Засувні клапани для відхідних газів • Зменшення обсягу відхідних газів • Технічне обслуговування • Зменшення надлишку повітря 	<ul style="list-style-type: none"> • Вдосконалення ізоляції • Моніторинг відхідних газів • Видалення сажі та накипу • Встановлення турбулізаторів • Підігрівання води за рахунок тепла відхідних газів • Рекуперація тепла від продувки котла • Використання конденсату
---	--

Когенераційні установки і ТЕЦ

<ul style="list-style-type: none"> • Газові турбіни із впорскуванням пари • Високотемпературна когенерація • Парові турбіни 	<ul style="list-style-type: none"> • Комбінований цикл • Газові турбіни
--	---

Заходи ефективності для системи розподілу пари

<ul style="list-style-type: none"> • Відключення зайвих розподільчих ліній • Перевірка і моніторинг паровловлювачів • Підбір труб належного розміру • Термостатичні паровловлювачі • Ізоляція • Закриття паровловлювачів 	<ul style="list-style-type: none"> • Зменшення втрат від протікання • Повторне використання пари • Рекуперація гострої пари
--	--

8.1. Енергоефективні двигуни

Огляд заходів з енергоефективності для загальнопромислових процесів та обладнання, що застосовуються в усіх галузях виробництва, наведено в Таблиці 12. (Ernst Worrell et al. 2010)

Електричні двигуни

Енергоефективними називають ті двигуни, у яких реалізовані конструктивні вдосконалення з метою підвищення експлуатаційної ефективності

Системи двигунів

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Програма управління двигунами • Належний підбір розміру двигунів • Технічне обслуговування • Частотно-регульовані приводи (ЧРП) | <ul style="list-style-type: none"> • Енергоефективні двигуни • Корекція коефіцієнта ефективності • Перемотка двигунів • Мінімізація асиметрії напруги |
|--|---|

Насосні системи

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Експлуатація й обслуговування • Частотно-регульовані приводи (ЧРП) • Моніторинг • Невикористання дросельних клапанів • Контроль • Підбір труб належного розміру • Зменшення споживання • Заміна стрічкових приводів | <ul style="list-style-type: none"> • Ефективніші насоси • Точне відливання, покриття поверхні або полірування • Належний підбір розміру насосів • Вдосконалення ізоляції • Кілька насосів для забезпечення різних потреб • Зменшення витoku шляхом зменшення шкідливого простору • Сухі вакуумні насоси |
|--|--|

Системи вентиляції

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Мінімізація об'ємних втрат • Належний підбір розміру вентиляторів • Мінімізація тиску • Частотно-регульовані приводи (ЧРП) | <ul style="list-style-type: none"> • Контроль щільності • Високоєфективні ремені (зубчаті ремені) • Підвищення ефективності вентиляторів |
|---|---|

Системи стисненого повітря

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Зниження потреби • Технічне обслуговування • Оптимізація компресора(ів) для відповідності навантаженню • Моніторинг • Контроль • Зменшення втрат від протікання (у трубах і обладнанні) | <ul style="list-style-type: none"> • Електронні конденсатовідвідники • Підбір труб належного розміру • Якість повітря • Рекуперація тепла • Зниження температури вхідного повітря • Частотно-регульовані приводи (ЧРП) • Раціональний підбір об'єму зберігання |
|--|---|

порівняно зі стандартними двигунами. Такі вдосконалення, як правило, зосереджені на зменшенні внутрішніх втрат двигуна. Серед них: використання сталі з меншими втратами, товстіших дротів (для зменшення опору), тоншого ламінування, меншого повітряного зазору між статором і ротором, мідних, а не алюмінієвих смуг у роторі, кращих підшипників, менших вентиляторів тощо. Це може призвести до значних переваг при роботі з різними рівнями навантаження. Коефіцієнт потужності приблизно такий самий або може бути більшим, ніж у стандартних двигунів. Крім цього, енергоефективні двигуни мають меншу робочу температуру та рівень шуму, більшу здатність прискорювати навантаження з високою інерцією і менше залежать від коливань напруги живлення.

Корекція коефіцієнта потужності

Коефіцієнт потужності – це співвідношення між активною та загальною потужностями. Він показує, наскільки ефективно використовується електрична енергія. Високий коефіцієнт потужності вказує на ефективне використання електроенергії, а низький коефіцієнт потужності свідчить, відповідно, про неефективне використання. Індуктивні навантаження, такі як трансформатори, електродвигуни та газорозрядні лампи, можуть знижувати коефіцієнт потужності. Коефіцієнт потужності може бути скоригований шляхом мінімізації холостого ходу електродвигунів (вимкнений двигун не споживає енергії), заміни двигунів на енергоефективні та встановлення конденсаторних батарей у мережі змінного струму для зменшення величини реактивної потужності в системі (US DOE, 1996).

Частотно-регульовані приводи (ЧРП)

Частотно-регульовані приводи забезпечують оптимальне співвідношення між потужністю двигуна та потребами механізму. Оскільки споживання енергії двигунами приблизно пропорційне кубу об'ємної витрати, відносно незначне зменшення об'ємної витрати, пропорційне швидкості насоса, вже забезпечує значний обсяг енергозбереження.

Системи з ЧРП пропонуються багатьма виробниками і доступні у всьому світі. Типові обсяги заощаджень коливаються в межах від 7% до 60%, а простий період окупності ЧРП становить від 0,8 до 2,8 років. ЧРП, як правило, дозволяють досягти значних заощаджень у системах стисненого повітря.

8.2. Технічне обслуговування

Системи стисненого повітря

Неналежне технічне обслуговування може призвести до зниження ефективності роботи компресорного обладнання, привести до втрат, зниження тиску та підвищення температури стисненого повітря, його вологості та забруднення. Якісне технічне обслуговування дозволить уникнути цих проблем та заощадити енергію.

Підприємства часто схильні закуповувати більш потужне обладнання, ніж потрібно, обираючи обладнання із запасом чи враховуючи можливе нарощування потужностей виробництва у майбутньому. З огляду на те, що енергоефективність компресорів знижується у неномінальних режимах роботи, наприклад, в режимі часткового завантаження, цього слід уникати. Деякі виробники обладнання встановлюють модульні системи з декількома меншими компресорами, що допомагає задовольнити потреби у стисненому повітрі (Sergel et al., 2000) з високою ефективністю при різному навантаженні. У деяких випадках необхідний для споживача тиск в мережі має

Розташування компресорів

бути настільки низьким, що цю потребу може задовольняти повітродувка, а не компресор, адже вона споживає значно нижчу потужність порівняно із компресором і дозволяє значно економити енергію (Cergel et al. 2000).

Ввід холодного повітря

Місце розташування повітряних компресорів та якість повітря, отриманого із середовища, матимуть суттєвий вплив на кількість спожитої енергії. Енергоефективність компресора підвищується, якщо йому подається прохолодне, чисте, сухе повітря.

Збільшення температури вхідного повітря на кожні 40°C призводить, за інших рівних умов, до збільшення споживання енергії на 1%. Отже, що прохолодніше повітря, то краще працює компресор.

Таблиця 13: Вплив температури на вході на споживання енергії

Температура на вході (°C)	Відносна подача повітря (%)	Заощадження енергії (%)
10.0	102.0	+1.4
15.5	100.0	0
21.1	98.1	-1.3
26.6	96.3	-2.5
32.2	94.1	-4.0
37.7	92.8	-5.0
43.3	91.2	-5.8

Очищення вхідного повітря

Слід використовувати холодне повітря ззовні, оскільки температура повітря всередині компресорної може бути значно вище температури на вулиці. Бажано, аби отвір забору повітря розташовувався на північній стіні будівлі і був захищений від дощу. При прокладанні труби до цього отвору слід мінімізувати втрати тиску в лінії, використовуючи труби з більшим діаметром і мінімальною кількістю вигинів.

Пил у повітрі спричиняє надмірне зношення рухомих частин і призводить до несправності клапанів внаслідок стирання. Отвір і лінія для забору повітря мають бути оснащені відповідними фільтрами. Ці фільтри повинні мати високу здатність уловлення пилу, забезпечувати незначні втрати тиску та бути надійно сконструйованими, аби їх не доводилося часто очищувати й замінювати.

Таблиця 14. Вплив втрат тиску на фільтрі на загальне споживання енергії

Втрати тиску на фільтрі (мм рт. ст.)	Збільшення споживання енергії (%)
0	0
200	1.6
400	3.2
600	4.7
800	7.0

Повітряні фільтри слід обирати з урахуванням типу компресора і встановлювати якомога ближче до компресора. Кожні 25 мбар, втрачені при проходженні фільтра, призводять до втрат близько 2% у плані енергоефективності. Отже, слід проводити регулярне очищення фільтрів, аби уникнути серйозних втрат тиску. Прості або диференціальні манометри можуть бути встановлені для моніторингу перепадів тиску і планування очистки фільтрів.

Забір сухого повітря

Атмосферне повітря завжди містить певну кількість водяної пари, що залежить від відносної вологості, і зростає при тумані чи дощовій погоді. Рівень вологості також буде високим, якщо повітря вибирається з вологої зони в межах приміщення, від градирні чи повітряного кондиціонера.

Бажано використовувати повітря з низькою відносною вологістю, оскільки в іншому випадку споживається енергія для стиснення водяної пари і потім знов для конденсації та відведення вологи від інтеркулерів. Здатність повітря поглинати вологу зростає з підвищенням температури і зменшується при зростанні тиску.

Попереднє охолодження повітря

Ефективність компресора може підвищуватися за рахунок додаткового охолодження повітря, що надходить до компресора. Здійснюється воно, як правило, за допомогою холодильних установок. За рахунок попереднього охолодження вдається або обробити більшу кількість повітря при незмінному споживанні енергії, або зменшити споживання енергії за незмінної об'ємної витрати. Використання попередньо охолодженого сухого повітря може знизити на 20–30% споживання енергії компресором. Крім того, волога, що міститься в повітрі, конденсується, забезпечуючи, таким чином, зниження вологовмісту повітря та економію енергії.

Пил, наявний у повітрі, в ході заморожування вкривається льодом. Це підвищує якість фільтрації і теж сприяє економії енергії та економії капітальних витрат.

Таблиця 15. Порівняння параметрів повітряних фільтрів

Тип	Ефективність фільтра, %	Розмір часток, мікрони	Втрати тиску при повному очищенні, мм.в.ст.	Примітки
Сухий	100-99-98	10-5-3	75-200	Рекомендується для компресорів без змазки, які працюють при високій запиленості
Сухий із заглушувачем	100-99	10-5	125-175	Так само
Масляний	95-85	20-10	5-50	Не рекомендується використовувати для компресорів без змазки, які працюють при високій запиленості
З масляною ванною	98-90	10-3	65-225	Так само. Рекомендується для ротаційних пластинчастих компресорів, що працюють за звичайних умов

Таблиця 16: Кількість вологи при різних рівнях відносної вологості

Відносна вологість, %	Кг водної пари, що стискаються за годину на кожні 1000 м ³ /хв при температурі 30°C
50	27.60
80	45.00
100	68.22

Таблиця 17. Вплив висоти над рівнем моря на об'ємну ефективність

Висота над рівнем моря, м	Атмосферний тиск, кПа	Відносна об'ємна ефективність порівняно з висотою на рівні моря, %	
		При 4	При 7 бар
Рівень моря	1013	100.0	100.0
500	945	98.7	97.7
1000	894	97.0	95.2
1500	840	95.5	92.7
2000	789	93.9	90.0
2500	737	92.1	87.0

Кінцеві охолоджувачі та сушарки також не потрібні, оскільки попередній охолоджувач виконує їхні функції. Таким чином, можна отримати додаткові переваги у вигляді економії витрат і збереження енергії.

Висота над рівнем моря

Висота точки розташування компресора над рівнем моря безпосередньо впливає на його об'ємну ефективність. Вплив висоти над рівнем моря на об'ємну ефективність розглядається в таблиці 17.

Очевидно, що компресори, розташовані на значній висоті, споживають більшу кількість енергії для забезпечення однакового тиску, ніж ті, що розташовані на рівні моря, оскільки коефіцієнт стиснення у них вище.

Вода для охолодження

Більшість промислових компресорів мають систему водяного охолодження, у якій тепло компресії видаляється шляхом руху холодної води між голівками циліндрів та інтеркулерами. Отриману теплу воду охолоджують у градирні та подають назад до компресорів. Далі у розділі обговорюється вплив продуктивності роботи градирні, загальної кількості розчинених твердих речовин (total dissolved solids - TDS) у холодній воді, насосів і вентиляторів на продуктивність компресора.

Градирня

Завдання градирні - знизити температуру вхідної теплої води до температури повітря по вологому термометру. Градирні, як правило, випускають воду з температурою між 2 і 5°C, залежно від їхнього типу. На практиці, через мікробну активність, утворення накипу, корозію та неналежне технічне обслуговування порушується прямий контакт між повітрям та водою,

що призводить до підвищення температури води на виході, а це, у свою чергу, впливає на ефективність роботи інтеркулерів компресора та продуктивність самого компресора. Належне обслуговування градирні дуже важливе для забезпечення необхідної температури води.

Вплив температури за вологим термометром на продуктивність градирні

Ефективність роботи градирні залежить від атмосферних умов, особливо від температури повітря за вологим термометром. Ця температура, змінюючись протягом року, лише часом досягає максимальних показників. Тому неекономічно розраховувати роботу градирні з огляду на такі максимальні значення.

Слід знайти адекватний компроміс між середнім і максимальними значеннями. Під час планування роботи градирні часто використовується правило «+5%», тобто закладається орієнтовне значення температури за вологим термометром, що не перевищує більш ніж на 5% середнє літнє значення. Розрахунки проводять на основі метеорологічних даних про відповідну місцевість.

Насос градирні

Охолоджувальна вода подається на компресори за допомогою насосів, під певним тиском із певною об'ємною витратою. Будь-які зміни у витраті води або тиску позначаються на ефективності компресора. Слід використовувати високоефективні насоси та двигуни, оскільки вони працюють безперервно. Труби, проміжні та кінцеві охолоджувачі повинні призводити до мінімальних втрат тиску.

Як правило, з міркувань безпеки встановлюються більш потужні насоси, ніж це необхідно, і вони можуть забезпечувати більше ніж один компресор. У періоди, коли навантаження на систему невелике (наприклад, вночі працюють усього один-два компресори, але вода для охолодження пропускається навіть через неактивні компресори).

Аби уникнути такого нераціонального використання води, слід передбачити можливість відключення подачі води до непрацюючих компресорів або ж установити перемикач, що автоматично відключатиме подачу води до компресора при падінні тиску нижче установленого показника.

Вентилятори градирні

Вентилятори градирень забезпечують швидше надходження повітря, що підвищує їхню ефективність. Несправність такого вентилятора призводить до погіршення співвідношення повітря/вода, зміни розподілу повітря та ін., що впливає на ефективність градирні. Отже, необхідно забезпечити належне технічне обслуговування вентилятора і налагодити управління його енергоспоживанням.

- Коли температура води наближається до температури повітря за вологим термометром, вентилятор градирні можна вимикати або запускати з перервами, якщо встановити прямий зв'язок між температурою води на виході та механізмом вентилятора.
- Використання двигуна з двома режимами роботи може суттєво знизити споживання енергії – менша швидкість роботи застосовуватиметься тоді, коли температура за вологим термометром знижується.
- Для забезпечення змінної швидкості роботи вентилятора можна використовувати гвинти з регульованим кроком або інвертори. Вони можуть відслідковувати потребу в охолодженні і забезпечувати стабільну температуру води на виході з градирні.

- Важкі лопаті вентиляторів слід замінити на легші аеродинамічніші варіанти, наприклад, із фіброармованого пластику, щоб зменшити необхідний крутний момент та споживання енергії.
- Контроль швидкості вентиляторів градирні за допомогою гідравлічних муфт може зменшити споживання енергії приводами.

Таблиця 18. Вплив накипу на втрати тиску та внутрішній діаметр труб 64 мм

Товщина накипу (мм)	Зменшення внутрішнього діаметру		Втрата тиску, кПа
	З (мм)	До (мм)	
0.4	64	63.2	6
0.8	64	62.4	14
1.2	64	61.6	21
4.7	64	54.6	134

Кількість розчинених твердих речовин у воді для охолодження

У більшості систем для охолодження використовується необроблена вода з високим вмістом твердих речовин. Це призводить до наростання накипу на головках циліндрів, проміжних та кінцевих охолоджувачах, що зменшує ефективність теплообміну та продуктивність компресора. Накип у компресорі та трубах не тільки знижує його ефективність, а й підвищує втрати тиску і потреби в енергії.

Використання очищеної води може забезпечити прийнятні показники вмісту твердих розчинених речовин. Краще підтримувати рН води шляхом додавання хімічних речовин і уникати мікробної активності шляхом додавання фунгіцидів та альгіцидів.

Ефективність проміжних та кінцевих охолоджувачів

Проміжні охолоджувачі, або інтеркулери, встановлюються між ступенями багатоступеневого компресора для охолодження повітря, зменшення його питомого об'єму та конденсації надлишкової води. Це зменшує потреби в енергії на наступних ступенях. В ідеалі, температура вхідного повітря на кожному ступені багатоступеневої машини повинна бути такою ж, як і на першій. Це називають «ідеальним охолодженням». Але на практиці, через забруднення теплообмінників та утворення накипу із твердих речовин, температура вхідного повітря на наступних етапах вище оптимальної, що призводить до збільшення споживання енергії.

З таблиці можна побачити, що збільшення температури на вході до другого ступеня на 5,5°C призводить до збільшення питомого споживання енергії на 2%. Використання холодної води зменшує споживання енергії.

Таблиця 19. Вплив охолодження між стадіями на питоме споживання енергії поршневим компресором

Інформація	Неідеальне охолодження	Ідеальне охолодження	Охолодження холодною водою
Температура на вході до першої стадії, °C	21.1	21.1	21.1
Температура на вході до другої стадії, °C	26.6	21.1	15.5
Потужність (м ³ /хв)	15.5	15.6	15.7
Потужність на валу (кВт)	76.3	75.3	74.2
Питоме споживання енергії, кВт/м ³ /хв	4.9	4.8	4.7
Відносна різниця, %	+2.1	-	-2.1

Однак вода з дуже низькою температурою може викликати конденсацію вологи в повітрі, що призведе до пошкодження циліндрів. Після останнього ступеня компресора стиснене повітря проходить через кінцевий охолоджувач, що знижує температуру повітря та вміст води, наскільки це можливо, перед входом повітря у систему. Із часом розчинені тверді речовини в охолодженій воді покривають робочі поверхні охолоджувачів, тим самим зменшуючи ефективність теплопередачі.

Таблиця 20. Потреба у воді для охолодження

Тип компресора	Мінімальна потреба в охолоджувальній воді (л/хв.) для компресора продуктивністю 2,85 м ³ /хв. і тиску 7 бар
Одноступеневий	3.8
Двоступеневий	7.6
Одноступеневий з кінцевим охолоджувачем	15.1
Двоступеневий з кінцевим охолоджувачем	18.9

Отже, забруднені таким чином охолоджувачі подають тепле, вологе повітря, що може стати причиною конденсації і корозії. Тому необхідно проводити періодичну очистку теплообмінників та головок циліндрів. Ефективність охолоджувачів також залежить від кількості води, що циркулює через теплообмінник.

Налаштування рівня тиску

Зниження тиску на виході:

Споживання енергії компресором залежить від робочого тиску та номінальної потужності. Не слід використовувати компресори для досягнення тиску, вищого, ніж оптимальний, оскільки це призводить не тільки до підвищених енерговтрат, але й до прискореного зносу. Об'ємна ефективність компресора також менша при високому тиску на виході. Слід ретельно оцінити можливість зниження тиску на виході з компресора, проаналізувавши потреби обладнання, а також врахувавши втрати тиску в розподільчій системі. Слід налаштувати пневматичні вимикачі так, аби компресор вмикався і працював за оптимальних показників.

Зниження тиску на виході з компресора зменшить споживання енергії. Це вже принесло результати на багатьох підприємствах.

Таблиця 21. Зменшення споживання шляхом зниження тиску на виході

Зниження тиску		Зменшення споживання електроенергії (%)		
Від (бар)	До (бар)	Одноступеневий з водним охолодженням	Двоступеневий з водним охолодженням	Двоступеневий з повітряним охолодженням
6.8	6.1	4	4	2.6
6.8	5.5	9	11	6.5

Управління системою із декількома компресорами

Дуже часто на підприємствах компресори різних видів, потужностей та марок підключаються до спільної розподільчої мережі. У таких ситуаціях правильний вибір варіантів поєднання компресорів та оптимальне управління різними компресорами може підвищити енергоефективність. Загальне правило для всіх випадків одночасного використання кількох компресорів - витрати на виробництво стисненого повітря мають бути мінімальними. Якщо всі компресори однакові, то налаштування можна змінити таким чином, аби тільки один компресор реагував на зміни у споживанні, а решта працювали майже постійно на повній потужності.

Якщо компресори мають різні розміри, то реагування на зміни споживання слід налаштувати на найменшому. Якщо різні типи компресорів використовуються одночасно, наприклад, гвинтовий і поршневий, то реагування повинно здійснюватися на поршковому, у той час як гвинтовий має працювати стабільно на повну потужність. Загалом, зміна потужності має здійснюватися компресором із нижчим енергоспоживанням без наван-

Таблиця 22: Очікуване питоме споживання енергії поршневих компресорів

Тиск, бар	Кількість ступенів	Питоме споживання енергії кВт/170 м ³
1	1	6.29
2	1	9.64
3	1	13.04
4	2	14.57
7	2	18.34
8	2	19.16
10	2	21.74
15	2	26.22

таження. Компресори слід класифікувати за питомим споживанням енергії при різних рівнях тиску, і більш енергоефективні мають забезпечувати більшу частину споживання.

Зниження тиску в мережі

Часто існує потреба зменшити тиск у системі, коли стиснене повітря постачається всьому підприємству чи цілому цеху. Для цього потрібен редуційний клапан з високою пропускною здатністю. За таких умов варто замислитися над установкою станції зниження тиску.

Якщо існує значна потреба в повітрі з низьким тиском, рекомендується генерувати повітря низького тиску та високого тиску окремо, а не зменшувати тиск через клапани, що завжди веде до втрат.

Мінімізація втрат тиску

Повітропроводи та їхні відгалуження, шланги, стики тощо дають значні можливості енергозбереження.

Падіння тиску через неадекватний підбір розміру труб, забруднені фільтри, неправильно підібрані стики та шланги – це причини втрат енергії. Наведена таблиця 23 показує втрати енергії, які відбуваються, коли труби мають менший діаметр.

Еквівалентні довжини елементів

Коли йдеться про системи розподілу з великою загальною протяжністю труб, втрати тиску можуть перевищувати припустимі рівні. У такому разі слід перевірити фактичні втрати тиску. Приклади еквівалентних довжин для різних елементів системи наведено у таблиці 24.

Таблиця 23. Втрати енергії, пов'язані з використанням труб меншого діаметра

Діаметр труби (мм)	Втрати тиску на 100 метрів (бар)	Еквівалентні втрати енергії (кВт*год)
40	1,80	9,5
50	0,65	3,4
65	0,22	1,2
80	0,04	0,2
100	0,02	0,1

Повітродувки замість стисненого повітря

Оскільки система стисненого повітря вже наявна, інженерам об'єктів може здатися раціональним використання стисненого повітря для тих випадків, коли необхідним є повітря низького тиску, наприклад, для змішувальних цистерн або пневматичних конвеєрів. Використання повітродувки, призначеної для роботи при низькому тиску, дозволить суттєво зменшити витрати в такому разі.

Контроль роботи компресорів

У багатьох системах споживання повітря не є постійним. Тому є сенс налагодити контроль роботи компресора. Такий контроль можна здійснювати, регулюючи тиск, об'єм, температуру або інші параметри. Спосіб, що використовується для контролю, безпосередньо впливає на споживання електроенергії компресором. Далі розглянуто найпоширеніші методи такого контролю.

Контроль типу «вкл/викл»

Автоматичне управління «вкл/викл», як можна здогадатися з назви, запускає або вимикає компресор, коли тиск у системі досягає певного показника. Це дуже ефективний спосіб контролю роботи компресора – коли він вимкнений, не спостерігається традиційних втрат холостого ходу. Такий варіант підходить для невеликих компресорів (менше 10 кВт).

Режими роботи і холостого ходу

Це варіант із двома режимами роботи: компресор знаходиться в режимі роботи, коли є потреба у стисненому повітрі, і входить у режим холостого ходу, коли потреби немає. У режимі холостого ходу двигун поршневого компресора працює без стиснення повітря, завдяки чому споживається лише 10-20% енергії. У гвинтових компресорах цей режим реалізується шляхом закриття впускного клапана. Споживання енергії при холостому ході становить 50-70% від повного обсягу споживання.

Таблиця 24. Опір з'єднувальних елементів в трубі в еквівалентних довжинах, метрів

Тип з'єднувального елемента	Номинальний розмір труби, мм									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
Шибєрний засув	0.11	0.14	0.18	0.27	0.32	0.40	0.49	0.64	0.91	1.20
Стандартний фітінг	0.12	0.18	0.24	0.38	0.40	0.52	0.67	0.85	1.20	1.52
Трійник	0.15	0.18	0.24	0.38	0.46	0.61	0.76	0.91	1.20	1.52
Коліно	0.26	0.37	0.49	0.67	0.76	1.07	1.37	1.83	2.44	3.20
Зворотній вигін	0.46	0.61	0.76	1.07	1.20	1.68	1.98	2.60	3.66	4.88
Вентиль	0.76	1.07	1.37	1.98	2.44	3.36	3.96	5.18	7.32	9.45

Таблиця 25. Споживання енергії поршнеvim компресором за різних рівнів завантаження

Навантаження %	Споживання енергії у % від споживання при макс.
100	100
75	76-77
50	52-53
25	27-29
0	10-12

Декілька режимів роботи

Поршневі компресори з двигунами потужністю вище 75 кВт зазвичай обладнані системою багатоступеневого контролю. У такому разі компресор має кілька режимів роботи, що поступово варіюють від повного навантаження до цілком холостого ходу.

П'ятиступеневий контроль (0%, 25%, 50%, 75% і 100%) реалізується шляхом зміни мертвого простору, і, відповідно, зменшення об'ємного коефіцієнта, за допомогою спеціальних порожнин. У деяких випадках передбачена рухлива головка циліндра, що змінює розмір мертвої зони.

Таблиця 26. Типові показники роботи компресорів при неповному навантаженні: Споживання енергії при використанні контролю швидкості і направляючих лопаток для центрифужних компресорів

Об'єм системи	Витрата % Контроль швидкості	Споживання енергії (%) Направляючі лопатки
111	120	-
100	100	100
80	76	81
60	59	64
40	55	50
20	51	46
0	47	43

Дроселювання

Цей вид контролю реалізується за шляхом часткового перекриття впускного клапана, що призводить до падіння тиску на вході компресора, що рівноцінно збільшенню гідравлічного опору впускного клапана. Дроселювання - неекономічний спосіб регулювання, так як призводить до збільшення питомої витрати енергії. Крім того, слід мати на увазі, що дроселювання у вхідній лінії викликає небезпечне зростання кінцевої температури повітря.

Крім того можливе регулювання за рахунок часткового перепуска повітря з нагнітальної лінії у впускну. Для тривалого регулювання цей спосіб не придатний внаслідок його неекономічності.

Потужність відцентрових компресорів можна контролювати за допомогою використання регульованих направляючих лопаток для зниження тиску. Крім цього, ще один ефективний спосіб - це контроль швидкості обертання.

Таблиця 27. Ефективність заміни пневмоінструмента на електроінструмент

Інструмент	Діаметр колеса, мм	Швидкість, об/хв	Споживання повітря, м ³ /год	Потужність, кВт
Кутова шліфмашина	150	6000	102 м ³ /год при 6 бар	10.2
Електрична кутова шліфмашина	150	5700–8600	–	1.95–2.90
Пневматична шліфувальна машина	35	30000	32.3 м ³ /год при 6 бар	3.59
Електрична шліфувальна машина	25	22900–30500	–	0.18

Запобігання неправильному використанню стисненого повітря

Використання стисненого повітря для завдань типу очищення, сушки, охолодження обладнання та ін. є неприпустимим. Якщо це можливо, стиснене повітря завжди слід замінити на повітря від повітрядувок.

Наступні приклади дають уявлення про те, як використання альтернатив стисненому повітрю може допомогти зменшити витрати енергії. Електродвигуни можуть працювати більш ефективно, пристрої із повітряним приводом. У таблиці нижче наведено порівняння пневматичних шліфувальних машин та електричних шліфувальних машин.

Слід відзначити, що в деяких випадках використання електричних інструментів неможливе з міркувань безпеки, особливо там, де працюють із легкозаймистими випаровуваннями. У цих випадках, при оцінці використання електричних інструментів можна враховувати можливість переміщення роботи за межі вогненебезпечної зони. Слід завжди пам'ятати, що міркування безпеки переважають над прагненням до енергоефективності.

Замість пневматичних підйомників можна використовувати електричні. Порівняння наведено в таблиці 28. В установках для транспортування матеріалів замість стисненого повітря можна використовувати повітродувки у поєднанні зі стрічковими/гвинтовими конвеєрами та ковшовими підйомниками. Для прикладу, на одному паперовому виробництві для транспортування деревної стружки використовували стиснене повітря. Відповідно, споживалося 77 кВт енергії. Коли натомість почали застосовувати повітродувку, споживання знизилося до 7 кВт, тож економія склала 70 кВт.

Для таких потреб, як продування деталей, можливе використання простих повітродувок або систем на основі гравітації. Щітки можуть видалити сміття з деталей настільки ж ефективно, як і стиснене повітря. Навіть коли завдання неможливо вирішити без продування, стиснене повітря не має бути першим рішенням. У багатьох випадках зовсім не потрібне чисте, сухе стиснене повітря під тиском 6 чи 7 бар.

Таблиця 28. Порівняння енергоспоживання пневматичними і електричними підйомниками

Потужність	Тип	Використання стисненого повітря, м ³ /год	Еквівалентна потужність компресора, кВт	Потужність двигуна електричного підйомника, кВт
0.5	Ланцюг	125	12	0.37
1.0	Ланцюг	118	12	0.37
1.5	Ланцюг	118	12	1.125
2	Ланцюг	118	12	1.5
5	Трос	200	20.25	2.7

Слід усіляко уникати використання стисненого повітря для прибирання; у багатьох випадках можна обмежитися звичайними пирососами. Якщо це необхідно, стиснене повітря слід подавати за допомогою пульверизаторів, тиск яких є нижче 2 бар; вищий тиск буде порушенням міжнародних правил безпеки.

Для процесів, у яких немає альтернатив стисненому повітрю, можна розглянути можливість встановлення окремого колектора з основним відсічним клапаном. Цей клапан має відкриватися лише протягом кількох, чітко визначених періодів часу упродовж усього дня.

Можна розглянути можливість заміни пневмоциліндрів гідравлічними. Використання стисненого повітря для особистого охолодження може спричинити тяжкі травми та є надзвичайно неекономним; його слід заборонити вже з самої лише точки зору безпеки.

Вакуумні системи значно ефективніші, ніж використання трубок Вентурі. Існують варіанти для змішування матеріалів, що є значно ефективнішими за стиснене повітря.

Запобігання втратам повітря

Серйозні можливості енергозбереження пов'язані з запобіганням витокам у системі стиснутого повітря. Витоки нерідко виникають у повітряних приймачах, запобіжних клапанах, трубопровідних та шлангових з'єднаннях, запірних клапанах, муфтах швидкого звільнення, інструментах та обладнанні. У більшості випадків вони пов'язані з неналежним технічним обслуговуванням, а іноді й неправильною установкою в підземних лініях.

Втрати повітря через отвори різних розмірів Вартість втрат стисненого повітря

У таблиці 29 наведені дані про обсяги втрат повітря за різних розмірів отворів і рівнів тиску.

Як можна побачити з таблиці 30, будь-які витрати на виявлення й усунення витоків легко окупляться за рахунок економії втрат.

Таблиця 29. Втрати повітря крізь отвір, м³/мін

Тиск, бар	0.5 мм	1 мм	2 мм	3 мм	5 мм	10 мм	12.5 мм
0.5	0.06	0.22	0.92	2.1	5.7	22.8	35.5
1.0	0.08	0.33	1.33	3.0	8.4	33.6	52.5
2.5	0.14	0.58	2.33	5.5	14.6	58.6	91.4
5.0	0.25	0.97	3.92	8.8	24.4	97.5	152.0
7.0	0.33	1.31	5.19	11.6	32.5	129.0	202.0

Таблиця 30. Вартість втрат повітря

Розмір отвору, мм	Втрати у кВт	*Втрати на енергію (грн/рік)
0.8	0.2	2670
1.6	0.8	10683
3.1	3.0	40000
6.4	12.0	160257

*розрахунки на основі вартості 1,6 грн./ (кВт*год), 8000 робочих годин на рік, тиск 7 бар

Для цього потрібно:

- відключити всіх споживачів стисненого повітря (або ж проводити тест у такий час, коли жодне обладнання не використовує стиснене повітря);
- запустити компресор для досягнення устанавленого рівня тиску;
- засікти час, який компресор проводить у стані активної роботи і у простої. З міркувань точності, варто заміряти цей час протягом 8-10 циклів увімкнення/вимкнення. Після цього слід скласти проміжки активної роботи і простою.

Простий метод обчислення втрат

Втрати обчислюються так:

$$\text{Втрати повітря (м}^3\text{/хв)} = Q \cdot T / (T+t),$$

де Q – споживання звичайного повітря, у $\text{м}^3\text{/хв}$,
 T – час активної роботи,
 t – час простою.

Приклад:

У ході описаного випробування на підприємстві було зафіксовано такі показники:

$$\text{Відпуск компресора (м}^3\text{/хв)} = 35$$

$$\text{Тиск включення кг/см}^2 = 6.8$$

$$\text{Тиск відключення кг/см}^2 = 7.5$$

$$\text{Потужність під час активної роботи} = 188 \text{ кВт}$$

$$\text{Потужність під час простою} = 54 \text{ кВт*год}$$

$$\text{Середній час активної роботи} = 1.5 \text{ хв}$$

$$\text{Середній час простою} = 10.5 \text{ хв}$$

Можемо оцінити обсяг втрат і їхню вартість для підприємства

a) Втрати ($\text{м}^3\text{/хв}$)	$= \frac{(1.5) \times 35}{(1.5) + (10.5)}$
b) Втрати за день	$= \frac{4.375 \text{ м}^3\text{/хв}}{6300 \text{ м}^3\text{/день}}$
c) Питоме енергоспоживання для стиснення повітря	$= \frac{188 \text{ кВт/год}}{(35 \times 60) \text{ м}^3\text{/год}} = 0.0895 \text{ кВт*год / м}^3$
d) Денні втрати енергії	$= 563.85 \text{ кВт*год}$

Використання ультразвукового обладнання

Виявлення витоків можливе з використанням спеціальних ультразвукових датчиків. Ультразвукові вібрації дозволяють виявити витoki. Спеціальні детектори виявляють коливання повітря, а трансформатори перетворюють їх на звуки нижчої частоти, у межах можливостей людського слуху. Так можна виявити витoki в системах стисненого повітря та газу при високих температурах, під ізольованими покриттями, а також у трубопроводах та колекторах.

Для виявлення витоків за допомогою ультразвукового обладнання слід просканувати ділянки, де можуть потенційно розташовуватися отвори, орієнтуючись на інтенсивність звуку, який видаватиме прилад. Найбільша перевага ультразвукового виявлення витоків полягає в тому, що цей спосіб може використовуватися для будь-якої рідини, якщо її витікання створюватиме відповідний звук. Коли йдеться про виявлення витоків у повітряному середовищі, то діапазон роботи приладу складає до 30 метрів. Це серйозна перевага тоді, коли йдеться про перевірки крупних систем. Енергія ультразвукової механічної вібрації, перетворюється на енергію електричного сигналу у приладі. Важливим фактором, про який слід згадати, є розподіл частоти ультразвукової енергії від витоків. Всі витoki мають частоту 30-50 кГц. За нижчого тиску 480 і 70 кПа максимум становить близько 40 кГц.

Оцінка потужності компресора

Потужність компресора виражається кількістю стисненого повітря, яку він виробляє за певного тиску. Унаслідок старіння компресорів та конструктивних помилок у них відпуск стисненого повітря може бути меншим за номінальне значення, незважаючи на те, що компресор належним чином обслуговується. Часом інші фактори, такі як неналежне технічне обслуговування, проблеми з теплообмінником чи вплив висоти над рівнем моря, призводять до зниження відпуску стисненого повітря. Для задоволення потреби в стисненому повітрі неефективному компресору доводиться працювати довше, і, відповідно, він споживає більше енергії.

Потреба у проведенні оцінки

Витрати енергії залежать від відсоткового відхилення від номінального відпуску стисненого повітря. Наприклад, зношений компресорний клапан може зменшити потужність компресора на цілих 20%. Слід проводити регулярну перевірку фактичної потужності компресорів. Якщо відхилення від номінального показника перевищує 10%, слід ужити відповідних заходів.

Ідеальний спосіб оцінки потужності компресора – використання спеціального каліброваного сопла, що використовується як навантаження на компресор. Це дозволяє визначити відпуск стисненого повітря, виходячи з температури, тиску тощо.

Простий метод оцінки потужності

- Від'єднати компресор і тестового споживача від загальної системи стисненого повітря.
- Відкрити водовідвідний клапан, повністю злити воду і очистити приймач і трубу. Переконайтеся, що лінія конденсатовідводу щільно закрита перед початком випробування.
- Запустити компресор та секундомір.
- Зафіксувати час, необхідний для досягнення нормального робочого тиску P_2 (у приймачі).
- Розрахувати потужність за формулою, наведеною нижче:

Відпуск повітря:

$$Q = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times \frac{V}{T} N \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$$

де P_2 - тиск після наповнення (кг/см²),

P_1 - початковий тиск (кг/см²),

P_0 - атмосферний тиск (кг/см²),

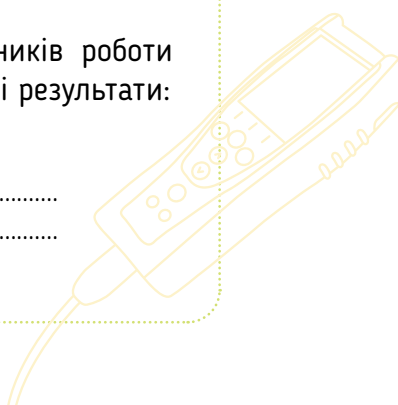
V - наповнюваний об'єм, що включає ємність, кінцевий охолоджувач і труби,

T - час, що знадобився для досягнення тиску P_2 у хвиликах.

Приклад

Вимірювання показників роботи компресора дало такі результати:

Виробник : АБВ
 Дата :
 Час :
 №перевірки : 1



Робочий об'єм циліндра	16.88 м ³
Теоретична продуктивність компресора	14.75 м ³ /хв при 7 кг/см ²
Номінальні обороти компресора - 750	Номінальні обороти мотора - 1445
Об'єм приймача	7.79 м ³
Додатковий об'єм (труби, охолоджувач води тощо)	0.4974 м ³
Загальний об'єм	8.322 м ³
Початковий тиск P ₁	0.5 кг/см ²
Кінцевий тиск P ₂	7.03 кг/см ²
Атмосферний тиск P ₀	1.026 кг/см ²
Відпуск, м ³ /хв	$\frac{(P_2 - P_1) * \text{Заг. об'єм}}{\text{Атм. тиск} * \text{Час наповнення}}$ $\frac{(7.03 - 0.5) * 8.322}{1.026 * 4.021} = 13.17 \text{ м}^3/\text{хв}$

Примітка:

Втрати потужності відносно номінального показника 14,75 м³/хв становлять 1,577 м³/хв, тобто 10,69%. Слід провести детальніше дослідження роботи компресора.

Приклад

Перевірка системи стисненого повітря на промисловому об'єкті дала такі результати.

У системі 5 компресорів: А, В, С, D, Е (усі поршневі).

Комп-ресор	Фактична продуктивність, м ³ /хв (при 7 кг/см ²)	Споживання при акт. роботі, кВт	Споживання на холостому ході, кВт	Час акт. Роботи, хв	Час холостого ходу, хв
А	13.17	115.30	42.3	Весь час	0
В	12.32	117.20	51.8	Весь час	0
С	13.14	108.30	43.3	Весь час	0
D	12.75	104.30	29.8	Весь час	0
Е	13.65	109.30	39.3	5.88 хв	39.12 хв

Примітки:

Дані на цикл роботи тривалістю 45 хвилин (39.12 + 5.88)

Відпуск стисненого повітря м³ за цикл роботи

$$45 (13.17) + 45 (12.32) + 45 (13.14) + 45 (12.75) + 5.88 (13.65) = 2392.36$$

Споживання енергії у кВт*год

$$45/60 (115.3) + 45/60 (117.20) + 45 / 60 (108.3) + 45/60 (104.3) + 5.88/60 (109.8) + ((39.12) / 60) 39.3 = 370.21 \text{ кВт*год}$$

Номінальний відпуск стисненого повітря у м³
 $45 [13.17 + 12.32 + 13.14 + 12.75 + 13.65] = 2926.35 \text{ м}^3$

Споживання під'єднаних приладів
 $2392.36 / 45 \text{ м}^3/\text{хв} = 53.16 \text{ м}^3/\text{хв}$

Фактичний відпуск у % від номінальної потужності
 $[2392.36 / 2926.35] \times 100 = 81.75 \%$

Питоме споживання енергії = $370.21 \text{ кВт*год} / 2392.36 = 0.155$

Споживання енергії при холостому ході = 25.62 кВт*год за кожен 45-хвилинний цикл, тобто 34.16 кВт*год на годину.

Було б доцільно й ефективно з точки зору енергозбереження перевести компресор 'D' на непостійну роботу, оскільки його споживання на холостому ході найменше.

Вологовідвідники та сепаратори

Хоча в ідеальній системі охолодження і конденсацію повітря слід проводити до того, як воно виходить з ресіверу, на практиці це рідко реалізується. Кількість конденсату, що виділяється у трубах, залежить від ефективності конденсатовідведення до моменту виходу повітря з ресіверу та температури в самій мережі. У цілому головна труба повинна мати перепад висоти не менше 1 м на кожні 100 м своєї довжини, а відстань між точками дренажу не повинна перевищувати 30 м.

Точки дренажу мають використовувати рівні трійники, оскільки це сприяє відведенню води. Бічні відгалуження мають відходити від верхньої частини труби так, аби вода не потрапляла прямо в обладнання. Крім того, дно цієї бічної труби також слід дрениувати.

Фільтр стисненого повітря

Хоча частина вологи, мастила і бруду вловлюється сепараторами в мережі, вони все одно залишаються у стисненому повітрі і переносяться в системі. Крім того, у трубах накопичується накип та інші сторонні речовини, дрібні шматки герметизуючого матеріалу, з'єднувальних сполук тощо. Спалене компресорне масло також може потрапляти до труби, і разом усі ці домішки утворюють густу речовину. Ось чому повітря слід фільтрувати якомога ближче до точки використання. Вода та масло, зібрані у фільтрі, також повинні регулярно видалятися, оскільки при надмірному накопиченні вони почнуть проходити крізь фільтр і шкодити обладнанню.

Регулятори

У багатьох випадках пневматичні операції проводяться за меншого тиску, ніж той, що підтримується у системі загалом. У такому разі застосовуються регулятори тиску, що знижують його до потрібного значення, а також підтримують його на постійному рівні. Регульовані клапани є енергоефективнішими, ніж прямі та газоспускаючі регулятори. Самоспускаючі регулятори мають невеликий запобіжний клапан, який дозволяє випускати надлишок повітря, якщо тиск у секції після регулятора перевищує задане значення. Ця система ефективна для тих випадків, коли періодично необхідно змінювати тиск.

Пристрої подачі мастила

У тих випадках, коли повітря використовується для руху двигунів, циліндрів та клапанів, установлюються пристрої подачі мастила. По суті, це резервуар із мастилом, що додає до повітряного потоку певну кількість парів масла. Далі воно переноситься разом із повітрям і змащує рухомі частини обладнання. Для будь-якого пристрою подачі мастила необхідно забезпечити певне мінімальне значення швидкості потоку повітря. Конструкція цього пристрою повинна бути такою, аби він забезпечував задовільне змащення і незначну втрату тиску за умови, що повітря рухається із необхідною швидкістю. Легке мастило з високим індексом швидкості та без свинцевих добавок найкраще підходить для змащення. Співвідношення «масло/повітря» слід вирахувати на основі практичних спостережень. Приблизне правило: одна крапля масла за хвилину на кожні 5 дм³/с повітря при тиску 5,5 бар.

Рекомендується установлювати фільтри, регулятори та системи подачі мастила якомога ближче до обладнання, яке вони обслуговують. Там, де мастило подається для лінійних приводів або коли напрямок потоку повітря змінний, об'єм труб між пристроєм подачі мастила і циліндром не повинен перевищувати 50% обсягу повітря, що використовується циліндром за один хід.

Осушувачі повітря

У деяких випадках повітря має не містити вологи і мати нижчу точку роси. Для цього необхідне застосування спеціальних методів осушення. Використовуються три основні типи осушувачів: абсорбційні, адсорбційні та охолоджувальні. Залежно від типу вони можуть забезпечити сухе повітря з точкою роси в межах 100–400 °С.

Таблиця 31. Вміст вологи у повітрі

Точка роси за атмосферного тиску, °С	Вміст вологи, ppm
0	3800
-5	2500
-10	1600
-20	685
-30	234
-40	80
-60	6.5

Резервуари для стисненого повітря

Основна мета резервуара – виконувати роль посудини, що компенсує тимчасові сплески у використанні стисненого повітря.

Такий резервуар повинен мати суттєвий об'єм. Часто згадується проста формула обчислення об'єму резервуара: він має дорівнювати об'єму стисненого повітря, який компресор би випустив за хвилину безперервної роботи. Насправді це радше формула обчислення мінімального об'єму.

Краще обчислити максимальний можливий показник споживання стисненого повітря і максимально допустиме зниження тиску за таких умов.

$$\text{Об'єм резервуара, м}^3 = \frac{\text{потреба у стисненому повітрі, м}^3}{\text{припустиме зниження тиску, бар}}$$

Таблиця 32. Точка роси під тиском і дані про споживання енергії для осушувачів

Тип осушувача	Атм. точка роси, °С	Початкові капітало-вкладення	Експлуатац. витрати	Споживання енергії на 1000 м ³ /год
Охолоджуючий	-20	Низькі	Низькі	2.9 кВт*год
Осушувач регенеративний (за рахунок продувки стисненим повітрям)	-20	Низькі	Високі	20.7 кВт*год
Осушувач регенеративний (зовнішнє чи внутрішнє нагрівання, електричним чи паровим обігрівачем, продувка повітрям низького тиску)	-40	Середні	Середні	18.0 кВт*год
Осушувач регенеративний (використання нагрітого повітря з низьким тиском, відсутні втрати повітря)	-40	Високі	Низькі	12.0 кВт*год
Осушувач регенеративний (за рахунок рекуперації скидного тепла від компресору)	-40	Високі	Дуже низькі	0.8 кВт*год

Контроль продуктивності

Якщо оцінити максимальне споживання неможливо, можна розрахувати об'єм резервуара як 5% від номінальної кількості стисненого повітря. Розміщення резервуара у кінці ланцюга споживання, де трапляються несподівані короткочасні сплески споживання, дозволить не змінювати параметри роботи компресора.

У багатьох системах споживання повітря не є постійним. Це означає, що компресор буде працювати в умовах низького навантаження або на холостому ході, що збільшує питомі витрати енергії на одиницю стисненого повітря. Відповідно, для оптимізації витрат слід налагодити управління роботою компресора. Тип керуючого пристрою залежить від параметра, що регулюватиметься.

ЧРП можуть установлюватися на компресори з поршнями, паровими турбінами, газовими двигунами, дизельними двигунами тощо. Пристрої переведення на холостий хід можуть установлюватися на поршневі компресорах. На холостому ході поршневі компресори споживають близько 30-50% повного споживання, тоді як гвинтові компресори споживають приблизно 25-30%. Інші типи елементів керування вже розглядалися в попередніх розділах. Гвинтові та турбокомпресори ефективно працюють при базовому і повному навантаженні, але не можуть бути рекомендованими для роботи із частковим навантаженням, коли воно регулюється завдяки дроселюючим лопаткам на впуску, тому що у такому разі значно зростає питоме енергоспоживання.

Чек-лист: енергоефективність систем стисненого повітря

- Слід переконатися, що повітря до компресора не є теплим і вологим, установивши його в добре провітрюваному приміщенні або забираючи холодне повітря ззовні. Підвищення температури повітря на вході на 4°C збільшує споживання енергії на 1%.
- Регулярно очищайте повітрязабірні фільтри. Ефективність компресора буде знижуватися на 2% на кожні 25 мбар-втрат тиску на фільтрі.
- Клапани компресора слід підтримувати в хорошому стані, проводячи перевірки й заміни раз на півроку. Зношені клапани можуть знизити ефективність роботи компресора на 50%.
- Слід установити манометри на фільтри та контролювати падіння тиску. Швидкість всмоктування повітря слід тримати нижче рівня 1400 м/хв.
- Варто обмежити час роботи компресора при низькому навантаженні; якщо потреба в повітрі менша за 50% потужності компресора, слід розглянути варіант переходу на менший компресор.
- Потрібно розглянути можливість використання регенеративних осушувачів повітря, які використовують скидне тепло від компресорів для своєї роботи.
- Забруднені охолоджувачі знижують ефективність роботи компресора та збільшують конденсацію води у резервуарах і трубах, що призводить до корозії. Необхідно забезпечити їх періодичне очищення.
- Необхідно періодично проводити тест на відпуск повітря компресором, порівнюючи фактичні показники з номінальними, і вживати відповідних заходів.
- Якщо одночасно працюють кілька компресорів, їхню роботу слід організувати так, аби тільки один компресор реагував на зміни у споживанні,

а решта працювали майже постійно на повній потужності.

- Для крупних компресорів слід оцінити з економічної точки зору можливість рекуперації тепла від гарячого стисненого повітря для нагрівання води чи повітря для технологічного застосування.
- Слід розглянути можливість використання двоступеневого чи багатоступеневого компресора, оскільки він споживає менше енергії. Надто крупні компресори не є ефективними.
- Якщо вимоги до рівня тиску для процесів дуже різні (наприклад, від 3 до 7 бар), бажано мати дві окремі системи стисненого повітря. Слід намагатися зменшити тиск у системі, наскільки це можливо.
- Слід розглянути установку додаткових ресіверів у точках, де передбачається значне коливання попиту, що дозволить працювати без підвищення відпуску компресора.
- Необхідно модернізувати крупні компресори і встановити на них сучасні ЧРП, тим самим узагалі унеможливити холостий хід для них.
- Слід налаштувати автоматичне водовідведення залежно від пори року, аби мінімізувати витрати стисненого повітря.
- Періодично регулюйте натягнення приводних ременів. V-подібні реміні можуть бути замінені плоскими ременями для ефективної роботи та зменшення споживання енергії на 10%.
- Якщо ресівери не наповнюються, слід перевірити наявність витоків у прохідних клапанах.
- Потрібно використовувати таймери, аби зменшити кількість компресорних двигунів, що запускаються одночасно, знизивши тим самим навантаження в момент запуску та максимальне споживання стисненого повітря і збільшити термін експлуатації компресора.
- Слід порівнювати фактичне і номінальне споживання мастила. Для три- або чотиріступневих компресорів характерне споживання мастила у кількості 0,11 кг/1000 кВт*год.
- Слід здійснювати моніторинг рН конденсату охолоджувачів. Він може вказати на потрапляння води у труби.
- Періодично перевіряйте прилади, аби пересвідчитися, що робочий тиск і температура масла відповідають вимогам виробника обладнання.
- У турбо/осьових компресорах, слід моніторити вібрації; надмірні вібрації вказують на невідцентрованість, просідання основи, сміття в робочих колесах, розбалансованість роторів, зношення підшипників, деформації валу або пошкодження привідних муфт.
- Слід регулярно перевіряти параметри компресора на факт аномальних показників, зокрема сили струму, температури та об'ємної витрати води, тиску та температури між ступенями та на виході, а також тривалості циклу роботи компресора.
- Варто перевіряти показник доступності системи (визначається як кількість часу, коли система готова до роботи, у годинах, поділена на загальну кількість робочих годин за рік). Так можна визначити, чи належним чином обслуговується система.
- Слід проводити на заводі семінари з технічного обслуговування, підкреслюючи необхідність зниження втрат повітря та поліпшення

продуктивності повітряного обладнання.

- На багатьох підприємствах втрати стисненого повітря становлять 40-50%. Їх можна зменшити до показника, нижчого за 5 %. Це вимагає виявлення та усунення всіх витоків; більшість із них виникають на стиках труб, клапанах, запобіжних клапанах, зношених фільтрах, та невикористовуваних одиницях обладнання. Слід регулярно проводити перевірки без навантаження для виявлення витоків.
- Необхідно забезпечити належний дренаж та запобігання накопиченню конденсату, а також перевіряти запобіжні клапани, аби уникнути надмірного зносу та підвищення тиску.
- Слід установити соленоїдні запобіжні клапани в повітряній системі, аби подачу повітря до одиниці обладнання можна було припинити, коли вона не використовується.
- Сучасні ціни на енергію диктують нові підходи до планування систем стисненого повітря. У точці навантаження, розташованій далеко від центрального компресора, є сенс установити окремий компресор.
- Сопла слід підтримувати у належному стані. Зношена піскоструминна форсунка діаметром від 8 мм до 10 мм буде використовувати зайвих 1,9 м³/хв. стиснутого повітря.
- За безперервної роботи, здувне сопло з отвором 3 мм споживає близько 0,70 м³/хв. при тиску 7 бар.
- Слід забезпечити належне змащення усього пневматичного обладнання, що зменшить тертя, запобігає зносу, тим самим обмежуючи втрати енергії.
- Використання стисненого повітря для завдань типу очищення, сушки, охолодження обладнання та ін. є неприпустимим.
- Не слід використовувати пневматичне обладнання за тиску, вищого ніж оптимальний, оскільки це призводить не тільки до енерговтрат, але й до прискореного зносу.
- Пневматичні прилади можна замінити електричними. Пневматичні пересувні засоби варто замінити механічними системами, оскільки перші споживають приблизно у 8 разів більше енергії. Найбільші можливості економії енергії пов'язані зі зменшенням використання стисненого повітря.
- Пневматичні інструменти, такі як свердла та шліфувальники, споживають приблизно в 20 разів більше енергії, ніж їхні електричні аналоги. Відповідно, їх слід ефективно використовувати. Де це можливо, слід використовувати електричний інструмент.
- Розпилювачі для чищення і усунення вологи повинні працювати за якомога нижчого тиску. Для прикладу, при зниженні тиску з 6,2 бар до 1,4 бар використання повітря зменшується на дві третини.
- Різьбові з'єднання та муфти ніколи не повинні використовуватися при з'єднанні труб у системі стисненого повітря. Зварювання є кращою практикою, і, якщо потрібно, можуть використовуватися фланці.
- Сферичні клапани ніколи не повинні використовуватися в системах стисненого повітря - замість них краще використовувати шарові чи конічні клапани або шиберні засуви.

8.3. Кондиціонування, обігрів та охолодження

Теплова ізоляція

Усі лінії холодопередачі слід належним чином ізолювати, аби мінімізувати теплопередачу. Рекомендується раціональне використання передової технології ізоляції керамічним волокном.

Слід оптимізувати потреби в кондиціонуванні за допомогою таких заходів, як підвісні стелі та відділення важливих областей для кондиціонування повітря за допомогою перегородок. Необхідно встановити належні температури: дані показують, що деякі будівлі влітку охолоджуються до дуже низьких температур, а деякі взимку – до дуже високих.

Управління потребою в опаленні будівлі

Слід мінімізувати навантаження на мережу змінного струму за допомогою таких заходів, як охолодження даху, фарбування даху, підвісні стелі, ефективне освітлення, попереднє охолодження свіжого повітря рекуператорами, регулювання обсягу повітря в системі, раціональне термостатичне регулювання температури приміщень та ін.

Мінімізація потреби в технологічному обігріві

Слід мінімізувати потребу в технологічному обігріві або охолодженні, тобто в необхідній температурі, за допомогою таких заходів, як:

Оптимізація об'ємних витрат:

- збільшення площі теплопередачі;
- уникнення втрат, таких як небажана теплопередача, витоки охолодженої води тощо;
- регулярне очищення (у т.ч. від накипу) всіх теплообмінників;
- частотно-регульовані приводи.

Коли спостерігаються помітні коливання споживання та/або температури навколишнього середовища, спостерігатимуться помітні коливання навантаження та ефективності компресора. У таких випадках встановлення ЧРП може бути цілком привабливим у плані окупності (Heijkers et al. 2000 р.) Використання ЧРП в роторних компресорних системах дозволяє знизити споживання енергії системою стиснутого повітря на 15% за рік (Radgen and Blaustein, 2001).

8.4. Насоси і насосні системи

Технічне обслуговування

Неналежне технічне обслуговування знижує ефективність насосної системи, у результаті чого насоси швидко зношуються та вимагають додаткових витрат. Якісне технічне обслуговування дозволить уникнути цих проблем та заощадити енергію. Належне технічне обслуговування включає в себе (Hydraulic Institute, 1994; US DOE, 1999):

- заміну зношених робочих коліс;
- огляд і ремонт підшипників;
- заміну мастила підшипників, раз на рік або на півроку;
- перевірку та заміну сальників;
- перевірку і заміну механічних ущільнень;
- заміну ущільнюючих кілець;
- перевірку з'єднання насоса/двигуна.

Найбільша можливість енергозбереження, як правило, полягає в тому, аби уникати втрат при дроселюванні.

Енергоефективні насоси

Ефективність насоса може знизитися на 10%–25% за весь час експлуатації. Промислові експерти, однак, вказують, що цей спад не обов'язково пов'язаний з віком насоса, а може також пояснюватися змінами у процесі, у результаті чого виникла невідповідність між потужністю насоса та його реальним використанням. Утім, іноді може бути більш ефективним придбати новий насос, ще й тому, що нові моделі значно ефективніші.

На ринку доступний цілий ряд насосів для задоволення вимог до тиску та подачі. Правильний вибір насоса часто дозволяє заощаджувати як у плані експлуатаційних, так і капітальних витрат. Для певного навантаження насос, що працює на найвищій швидкості, прийнятній для обслуговуваного процесу, зазвичай буде найбільш ефективним варіантом із найменшою початковою вартістю (Hydraulic Institute і Europump, 2001). До виключень належать насоси для обробки шламів, насоси з високою питомою швидкістю, а також випадки, коли насос повинен мати низьку мінімальну чисту позитивну висоту всмоктування на вході.

Заміна насоса новим, ефективним, зменшує споживання енергії на 2–10% (Nadel et al. 2002). Показано, що двигуни високої ефективності збільшують ефективність насосної системи на 2–5% (Tutterow, 1999).

Контрольний список енергозбереження в насосних системах

Використання декількох насосів часто є найбільш рентабельним та найбільш енергоефективним рішенням для різних навантажень, особливо у системах, де переважає статичний напір. Крім того, для динамічних систем може розглядатися застосування ЧРП.

- Забезпечення належного ефективного позитивного напору на всмоктуванні в точці установки.
- Забезпечення наявності основних інструментів на насосах, таких як манометри, витратоміри.
- Використання насосів біля оптимальної точки ефективності.
- Модифікація насосної системи та витрат насосів для мінімізації дроселювання.
- Пристосування до широкого діапазону навантажень за допомогою ЧРП або послідовного управління кількома одиницями.
- Припинення експлуатації кількох насосів – слід передбачити автоматичний запуск резервного насоса чи додати бустер у проблемній зоні.
- Використання підвищувального насоса для незначних споживачів, що вимагають більшого тиску.
- Збільшення різниці температури рідин з метою зниження швидкості накачування у теплообмінниках.
- Ремонт труб та обслуговування ізоляції з метою зменшення витрат.
- Балансування системи для мінімізації витрат і зниження вимог до потужності насоса.
- Використання ефекту сифону.
- Проведення водного балансу для мінімізації споживання води.
- Відмова від повторної циркуляції охолоджувальної води в генераторах, повітряних компресорах, холодильних системах, водяних насосах градирень, конденсаторних насосах та технологічних насосах.
- У разі роботи кількох насосів слід раціонально поєднувати їх і уникати дроселювання.
- Заміна старих насосів на енергоефективні.

- Якщо насос надто потужний, слід установити ЧРП або зменшити / замінити робоче колесо чи установити насос правильного розміру для ефективної роботи.
- Оптимізація кількості ступенів для багатоступеневих насосів
- Оптимізація системного опору шляхом оцінки падіння тиску та оптимізації розмірів труб.

8.5. Вентиляційні системи

Мінімізація тиску

Як правило, регулювання тиску дозволяє досягти значної економії енергоресурсів. Система, що має хороші характеристики потоку повітря (оптимальні швидкість руху та розміри), з відповідним контролером, моніторами тиску та частотно-регульованими приводами може надавати можливості ефективного регулювання. Більшість пиловловлювальних камер та інших пристроїв очищення можуть різко збільшувати внутрішній опір тиск протягом терміну служби. Рукавні фільтри, як правило, більш ефективні при спадах тиску, але споживають більше енергії. Хороша система контролю тиску, яка контролює об'ємну витрату в системі, може щорічно заощаджувати тисячі євро навіть у середніх масштабах. Оскільки ЧРП зараз стають доступнішими, їх можна знайти у багатьох системах. Майте на увазі неефективність з'єднань та елементів системи вентиляції (коліна, розгалуження тощо). Вони збільшують опір і експлуатаційні витрати протягом терміну служби системи (Lanham, 2007).

Контроль щільності

Температура, вологість, молекулярна вага, висота і абсолютний тиск у трубі впливають на щільність газу. Зміна щільності може вплинути на вимоги до обладнання. Наприклад, випарне охолодження зменшує об'єм, але для забезпечення вищої щільності повітря необхідно більше енергії. Це може компенсуватися зниженими витратами на канали, регулюючі прилади та вентилятори (а також зменшенням об'ємної витрати) (Lanham, 2007).

Ефективність вентилятора

Правильний вибір вентилятора - основа належного функціонування системи. Конструкція вентилятора та тип лопастей можуть значно вплинути на ефективність та споживання енергії. Номінальна потужність вентилятора, визначена в лабораторії, може не бути найбільш стабільним режимом експлуатації. Якщо максимальна ефективність збігається з піком кривої тиску, то можуть виникнути проблеми в роботі, оскільки об'ємні витрати змінюються при невеликих змінах системного тиску. Розробнику слід розглянути обидві криві при виборі найкращого вентилятора та режиму експлуатації, аби оптимізувати показники надійності та споживання енергії. Також важливим є питання типу вентилятора. Вентилятори з профільованими лопатками, хоч вони й більш ефективні, можуть бути не найкращим вибором при роботі з запиленним повітрям (Lanham, 2007).

Належний підбір розміру вентилятора

Більшість вентиляторів надто великі для тих процесів, які вони обслуговують, що може призвести до втрат ефективності в 1-5% (Xenergy, 1998). Протеа більш рентабельною може бути установка обладнання для контролю швидкості обертання вентилятора, ніж його повна заміна.

Інші заходи

Широко застосовуються такі заходи:

- Мінімізація надлишкової кількості повітря в системах згорання для зменшення навантаження на притокові вентилятори та димососи.
- Мінімізація витоків у каналах гарячого димового газу з метою зниження

навантаження на димосос, особливо для сушарок, котельних установок, печей тощо. Проникнення холодного повітря різко збільшує навантаження на димосос унаслідок зростання щільності димових газів – по суті, димосос різко втрачає продуктивність, що може обмежувати роботу самого котла/печі.

- витоки/затікання в системах кондиціонування повітря також серйозно позначаються на енергоефективності та споживанні енергії вентилятором, і їх слід мінімізувати.

Результати досліджень з оцінки ефективності одразу вкажуть на можливості вдосконалення, що можуть включати наступні заходи:

- заміна робочого колеса на високоефективне;
- заміна вентиляторної установки в цілому, на більш ефективну.
- зниження потужності робочого колеса (заміна на колесо меншого діаметра);
- заміна металевого/поліпропіленового робочого колеса на більш енергоефективне порожнисте склопластикове у вентиляторах з осьовим потоком – є дані про заощадження приблизно 20-40% від цього заходу;
- зниження швидкості роботи вентилятора за рахунок змін діаметра шківів та обмеження потужності;
- варіант двигуна з двома режимами або змінного приводу для змінних потреб;
- варіант енергоефективних плоских або зубчастих ребристих V-подібних ременів замість звичайних V-подібних ременів для зменшення втрат при передачі;
- установка вхідних направляючих лопаток замість демпфера;
- зниження опору системи та втрат тиску за рахунок удосконалення системи повітропроводів.

8.6. Освітлення

Заміни

Капітальний ремонт / будівництво

Організаційні заходи

Залежно від особливостей підприємства та віку системи освітлення, у цій сфері може бути значний потенціал для енергозбереження. Відсоток споживання електроенергії системою освітлення може помітно різнитися, для промислових підприємств він може бути менше 5%, а в супермаркеті – більше 50%.

Можливості енергозбереження в системах освітлення можна загалом об'єднати у три групи:

- заходи, які окуповуються за рахунок своєчасної заміни освітлювальних приладів;
- заходи, які своєчасно окуповуються при установці нової системи освітлення у новому приміщенні чи у відремонтованому старому;
- організаційні заходи, такі як оптимізація часу освітлення і підвищення обізнаності співробітників.

Заміна:

- заміна старих ламп на більш сучасні з меншим енергоспоживанням;
- поступова заміна незалежної пускорегулюючої апаратури (ПРА) на електронну;
- накладні відбивачі в поєднанні з люмінесцентними лампами меншої потужності;
- зниження напруги лампи, наприклад з 230В до 200В.

Ремонт або побудова нового приміщення:

- повна заміна освітлювальних елементів на більш сучасні з меншим енергоспоживанням;
- накладні відбивачі (якщо неможливо використовувати лампи з меншою потужністю);
- повна заміна стандартної ПРА на інтегровану електронну, однак на відміну від заміни незалежної ПРА, така заміна вимагає більше часу та коштів.

Організаційні заходи:

- зменшення чи оптимізація часу роботи;
- використання датчиків освітленості в паркувальних зонах;
- використання датчиків присутності для суміжних приміщень;
- використання освітлення різної інтенсивності;
- інформування та навчання персоналу.

8.7. Парові установки

Можливості підвищення енергоефективності котельних установок можуть бути пов'язані зі згоранням, теплопередачею, уникненнями втратами, високим споживанням енергії на власні потреби, якістю води та продувкою.

Вимірювання вказаних далі параметрів допоможе визначити, наскільки ефективно експлуатується котел.

8.7.1. Можливості з енергоефективності в парогенераторних установках

Температура газу в димовій трубі

Температура газу в димовій трубі повинна бути максимально низькою. Водночас вона не має бути настільки низькою, щоб водяна пара осідала на стінках. Це особливо важливо при використанні палива з високим вмістом сірки, адже за таких умов можливе утворення кислоти, яка прищведе до корозії труби. Якщо температура у димовій трубі вища за 200°C, з'являється можливість для рекуперації тепла.

Попереднє нагрівання живильної води за допомогою економайзера

Як правило, димохідні гази на виході за стандартного жаротрубного котла мають температуру від 200 до 300°C. Отже, існує можливість рекуперації тепла цих газів. Температура димових газів котла, як правило, підтримується щонайменше на рівні 200°C, аби оксиди сірки в димових газах не конденсувалися і не викликали корозії поверхонь теплопередачі. При використанні чистого палива, такого як природний газ, зріджений нафтовий газ або газойль, слід уважно вивчити можливість заощаджень, оскільки температура відпрацьованих газів може бути значно нижче 200°C.

Можливості економії залежать від типу котла та використовуваного палива. Для типових старих моделей жаротрубних котлів із температурою димових газів 260°C можна використати економайзер, знизити температуру до 200°C, при цьому нагрівши живильну воду на 15°C. Загальна ефективність підвищиться приблизно на 3%. Для сучасного триходового жаротрубного котла, що працює на природному газі, з температурою димового газу 140°C, конденсаційний економайзер зменшить температуру викидів до 65°C і збільшить теплову ефективність на 5%.

Попереднє нагрівання повітря для спалювання

Попереднє нагрівання повітря для згорання є альтернативою нагріванню живильної води. Для підвищення теплової ефективності на 1% температура повітря згорання повинна бути підвищена на 20°C. Більшість газо-

вих та масляних пальників, що використовуються в парових установках, не пристосовані до роботи з теплим вхідним повітрям.

Сучасні пальники можуть працювати зі значно вищою температурою повітря, тому можна розглядати такі агрегати як теплообмінники як альтернативу економайзерам, коли такий захід видається доцільним.

Неповне згоряння (недопал)

Неповне згоряння може виникнути внаслідок нестачі повітря, надлишку палива чи його неефективного розподілу. Як правило, його можна виявити за кольором диму. Ця проблема вимагає негайного усунення.

Для систем на основі рідкого палива і газу CO чи дим з нормальним або високим надлишком повітря вказує на проблеми підготовки та/або подачі палива. Частіше причиною неповного згоряння є погане змішування палива та повітря в пальнику. Також причиною може бути неправильна в'язкість, зношення наконечників, карбонізація наконечників, псування

Таблиця 33: Теоретичні дані про спалювання для основних типів палива

Пальне	Необхідна маса повітря / маса пального, кг/кг	Маса відхідних газів / маса пального, кг/кг	Витрата відхідних газів/маса пального, м3/кг	Теоретичний вміст CO ₂ у сухих відхідних газах, %	Реальний вміст CO ₂ у сухих відхідних газах, %
Тверде паливо					
Макуха	3.2	3.43	2.61	20.65	10-12
Вугілля (кам'яне)	10.8	11.7	9.40	18.70	10-13
Буре вугілля	8.4	9.10	2.61	19.40	9 -13
Рисові висівки	4.6	5.63	4.58	19.8	14-15
Деревина	5.8	6.4	4.79	20.3	11.13
Рідке паливо					
Мазут	13.90	14.30	11.50	15.0	9-14
LSHS (низь-косірне)	14.04	14.63	10.79	15.5	9-14

дифузора або спіральних пластин.

У випадку вугільних систем незгорілий вуглець може становити серйозні втрати. Він відкладається або у вигляді пилу, або як неспалені частки у золі; на нього може припадати до 2% тепла, що споживається котлом. Неоднорідність палива може бути однією з причин неповного згоряння. Великі шматки можуть згорати неповною мірою в шарових топках, у той час як дрібні шматки блокуватимуть прохід повітря, впливаючи на його розподіл. У топках із закидувачем стан решітки, газорозподільники, повітряні регулятори та протипожежні системи перепалювання можуть впливати на втрати. Збільшення кількості пиловугільної суміші також збільшує втрати.

Контроль надлишкового повітря

У таблиці 33 вказано теоретичні обсяги повітря, необхідні для спалення різних видів палива.

Надлишок повітря потрібний майже в усіх випадках для забезпечення

Таблиця 34: Потреби в надлишковому повітрі, за типом палива

Паливо	Тип пальника/камери згоряння	Надлишкове повітря (% маси)
Вугільний пил	Піч із повним водяним охолодженням, видаленням шлаку і сухої золи	15–20
	Піч із частковим водяним охолодженням і видаленням сухої золи	15–40
Вугілля	Топка із закидувачем	30–60
	Шарова топка з вібруючою решіткою на водяному охолодженні	30–60
	Топки з ланцюговою або колосниковою решіткою	15–50
	Топка з нижньою подачею	20–50
Мазут	Регістровий пальник	5–10
	Комбінований чи плаский пальник	10–30
Деревина	Муфельна піч (10–23% через решітку)	20–25
Макуха	Усі види печей	25–35
Чорний луг	Содогенераційні агрегати й установки для Натронної варки	5–7

повного згоряння, а іноді ще й для підтримання задовільних умов у димовій трубі. Оптимальний рівень надлишку повітря та максимальна ефективність роботи котла спостерігаються тоді, коли сума втрат від неповного згоряння та втрат через тепло димових газів є мінімальною. Цей показник залежить від конструкції печі, типу пальника, палива та параметрів виробничого процесу. Його можна визначити шляхом проведення випробувань з різними співвідношеннями повітря й палива.

Контроль надлишку повітря завжди сприяє зменшенню втрат із димовими газами; при зниженні надлишку повітря на 1% ефективність підвищується на 0,6%.

Для контролю надлишку повітря доступні різні методи:

Портативні аналізатори кисню та манометри можуть використовуватися для періодичних вимірювань, дозволяючи операторам вручну регулювати потік повітря для забезпечення оптимальної роботи. Можливе зниження об'єму надлишкового повітря до 20%.

Найпоширенішим методом є використання аналізатора кисню з локальним вимірювальним датчиком, за допомогою якого оператор може регулювати повітряний потік. У порівнянні з попередньою системою, цей варіант дозволяє знизити обсяг повітря ще на 10-15%.

Такий аналізатор може мати дистанційно керований пневматичний датчик, що передає показання на контрольну панель. Це дозволяє оператору дистанційно керувати кількома системами одночасно.

Найсучаснішою системою є автоматичний контроль демпфера димової труби - її встановлення справді вигідне лише для крупних систем.

Радіаційна і конвекційна втрата тепла

Зовнішні поверхні жаротрубного котла гарячіші за навколишнє середовище. Відповідно, поверхня втрачає тепло залежно від її площі та різниці температури між поверхнею та навколишнім середовищем.

Теплова втрата корпусу котла зазвичай є постійною величиною, що не залежить від режиму роботи. Для сучасних моделей котлів цей показник може становити лише 1,5% від загальної теплоти згоряння при максимальному навантаженні; за 25% навантаження він зростає до 6%.

Ремонт або вдосконалення ізоляції може зменшити втрати тепла через стінки і труби.

Автоматичне управління продуванням

Неконтрольоване постійне продування призводить до серйозних втрат. Може застосовуватися система автоматичного управління продуванням, що реагує на показники прохідності та рН. Продування на рівні 10% в котлі потужністю 15 кг/см² призводить до зниження ефективності на 3%.

Зменшення втрат від сажі та накипу

У котлах, що працюють на рідкому паливі чи вугіллі, сажа, що накопичується на стінках труб, діє як ізолятор, що перешкоджає теплопередачі. Слід регулярно видаляти будь-які відкладення такого типу. Підвищена температура у димовій трубі може свідчити про накопичення сажі. Те саме відбувається в разі утворення накипу на стінках труб із водою.

Висока температура димного газу при нормальному надлишку повітря

свідчить про проблеми з теплопередачею. Це може бути викликано поступовим накопиченням залишків на стінках газових чи водних труб. Коли спостерігається утворення водного накипу, слід провести процедури очищення води та труб. Ефективність знижується приблизно на 1% при підвищенні температури в димовій трубі на 4,4°C.

Для моніторингу утворення сажі слід регулярно перевіряти температуру в димовій трубі. Якщо температура відпрацьованих газів підвищується приблизно на 20°C порівняно з тим показником, що фіксувався, коли обладнання було новим, саме час проводити очищення від сажі. Тому рекомендується встановити термометр зі шкалою в основі труби, щоб контролювати температуру вихлопних газів.

Кожен міліметр товщини шару сажі збільшує температуру в димовій трубі приблизно на 55°C. Також, за оцінками, шар сажі 3 мм збільшує витрату палива на 2,5%. Для видалення особливо проблемних відкладень може знадобитися періодичне очищення випромінювальних поверхонь печі, випарувальних труб, економайзерів та повітронагрівачів.

Зниження тиску пари в котлі.

Це ефективний засіб зменшення споживання палива на цілих 1-2%. Нижчий тиск пари забезпечує нижчу температуру насиченої пари, і якщо не здійснюється рекуперація тепла димових газів, то, відповідно, знижується їхня температура.

Пар, як правило, генерується при тиску, що необхідний для одного з виробничих процесів. У деяких випадках цей процес не є безперервним, тож в окремі періоди тиск у котлі можна зменшити. Однак перш ніж рекомендувати цей захід, слід ретельно зважити всі фактори. Негативні наслідки, такі як збільшення переносу води з котла внаслідок зниження тиску, можуть нівелювати будь-які заощадження. Тиск слід зменшувати поетапно, і не варто знижувати його більше ніж на 20%.

ЧРП для вентиляторів, повітродувок та насосів.

Регулювання швидкості є важливим засобом підвищення енергоефективності. Як правило, керування повітрям при горінні реалізується за допомогою дросельних засувок, установлених на вентилятори та димососи. Хоча такі засувки є відносно простим рішенням для контролю, їм не вистачає точності, і вони не можуть якісно контролювати роботу у верхній і нижній частинах робочого діапазону. Загалом, якщо режим роботи котла досить часто змінюється, слід розглянути можливість заміни дросельних засувок на ЧРП.

Вплив навантаження на ефективність котла

Максимальна ефективність котла спостерігається не при повному навантаженні, а на рівні двох третіх повного навантаження. Нижче цього показника ефективність також зменшується. При нульовому використанні тепла ККД котла дорівнює нулю, а згоряння палива має нульову продуктивність. Серед чинників, що впливають на ефективність котла, слід назвати такі:

- Коли навантаження зменшується, те саме відбувається з масовою витратою димових газів у трубах. Таке зменшення витрати при незмінній зоні теплопередачі призводить до деякого зменшення температури димових газів, що знижує втрати тепла.

- Нижче середнього рівня навантаження більшість котлів потребують більшої кількості надлишкового повітря, аби повністю спалити паливо. Це веде до підвищення втрати тепла.

У результаті дії цих чинників графік залежності ефективності від навантаження має вигляд кривої. Загалом установлено, що ефективність помітно знижується, на рівні чверті максимального навантаження, тож, наскільки це можливо, слід уникати роботи котлів нижче цього рівня.

Належне управління роботою котлів

Оскільки оптимальна ефективність котлів спостерігається при 65–85 % від повного навантаження, як правило, доцільніше використовувати меншу кількість котлів при їх вищому навантаженні.

Заміна котла

Можливості економії у разі заміни котла залежать від того, яка зміна загальної ефективності очікується внаслідок такого заходу. Заміна котла може бути фінансово привабливою, якщо наявний котел:

- старий і неефективний;
- не може працювати з новим, дешевшим паливом;
- занадто чи недостатньо потужний за поточних умов;
- розрахований на ідеальні умови навантаження.

Техніко-економічне обґрунтування повинно врахувати всі перспективи довгострокової доступності палива та плани росту компанії. Слід розглянути всі фінансові й технічні параметри. Оскільки котли, як правило, можуть експлуатуватися протягом 25 і більше років, можливість заміни слід ретельно зважити.

Моніторинг паровідвідників

Для перевірки паровідвідника далі в системі має бути встановлений ізоляційний клапан, а на виході відвідника має бути встановлено спеціальний клапан для випробувань. Коли цей випробувальний клапан відкрито, слід промоніторити такі параметри:

Виділення конденсату

Відвідники типу «перевернутий ковш» і термодинамічні конденсатовідвідники повинні виділяти конденсат переривчасто. Поплавкові та термостатичні відвідники мають виділяти конденсат безперервно. Термостатичні відвідники можуть виділяти конденсат як постійно, так і переривчасто, залежно від навантаження. Якщо відвідник типу «перевернутий стакан» використовується для дуже малого навантаження, він також виділятиме конденсат безперервно.

Пару закипання не слід плутати з витоком пари через відвідник. Пару закипання та втрати можна приблизно визначити наступним чином:

- Якщо пара виділяється постійно і має блакитний колір, то це витік.
- Якщо пара виділяється постійно і має вигляд білої хмарки, то це пара закипання.

Коли конденсатовідвідник працює неправильно і причини цього не є очевидними, слід провести аналіз виділень із конденсатора. Необхідно покроково проаналізувати їх щодо недостатньої продуктивності, втрат пари, безперервного потоку, повільного нагрівання і з'ясувати, це системна проблема чи механічна несправність у водовідвіднику.

8.7.2. Можливості з енергоефективності системах розподілу пари

Уникнення витоків пари

Виробництво сухої пари для технологічних процесів

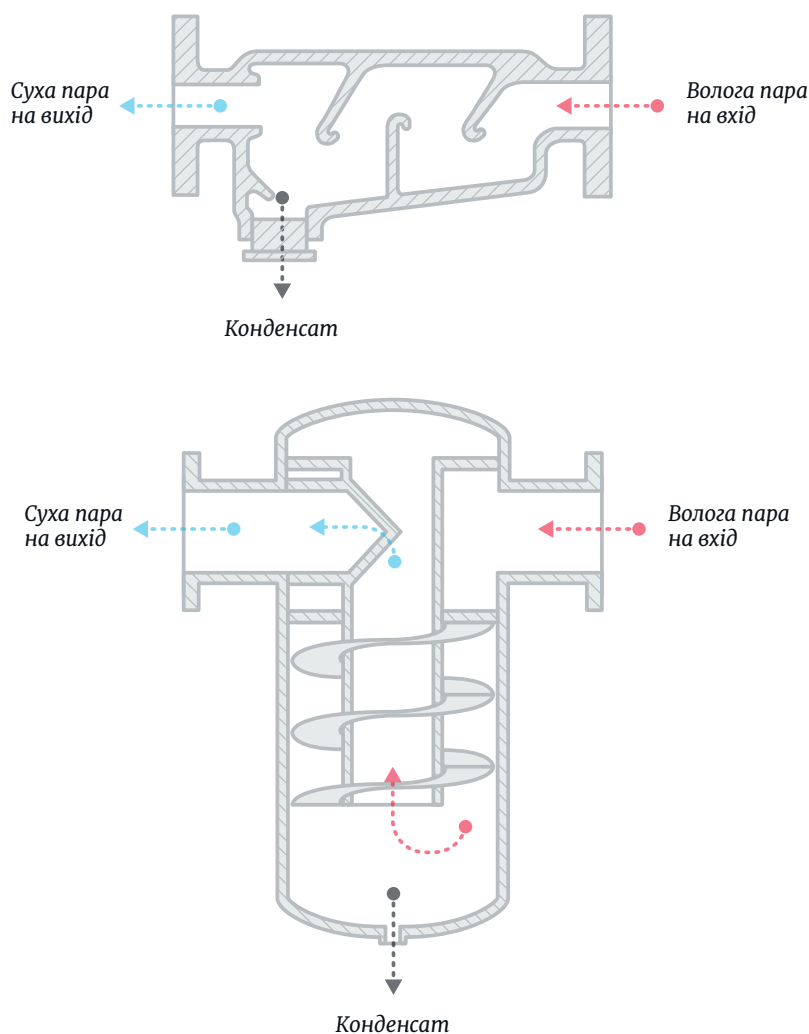
Витікання пари є очевидним показником неефективності, і його слід уникати. Було підраховано, що при отворі діаметром 3 мм у трубі з тиском 7 кг/см², втрати пари призводитимуть до споживання зайвих 33 м² газу на рік. Витоки пари у трубах із високим тиском надзвичайно дорогі.

Будь-який витік пари слід негайно усунути. Підприємству необхідно розглянути можливість впровадження регулярної програми спостереження для виявлення витоків на трубопроводах, клапанах, фланцях і стиках. Як показує досвід, усунення всіх витоків може забезпечити несподівано високий ступінь економії палива, до 5 % споживання пари на малих і середніх підприємствах, і навіть вище для великих підприємств.

Щоб уникнути витоків, варто розглянути можливість заміни фланцевих з'єднань, які рідко відкриваються на старих підприємствах, звареними з'єднаннями.

Найкращою для технологічного обігріву є суха насичена пара. Вологість зменшує загальну кількість тепла в парі. Також вода утворює мокру плівку на поверхнях теплопередавачів і перевантажує обладнання для конденсації. Перегріта пара не годиться для технологічного обігріву, оскільки вона передає тепло повільніше, ніж насичена.

Рисунок 24: Сепаратор пари



Необхідно пам'ятати, що котел без перегрівача не може забезпечити ідеально суху насичену пару. У кращому разі, він може виробляти 95-відсоткову суху пару. Ступінь сухості пари залежить від ряду чинників. Навіть така проста річ, як неправильна обробка води для котла, може стати причиною утворення вологої пари.

Оскільки пара проходить по трубопроводах, вона поступово конденсується через втрати тепла, і ступінь такої конденсації залежить від якості ізоляції труб. Наприклад, за низькоякісної ізоляції пара може стати надмірно вологою.

Оскільки для належного протікання виробничих процесів необхідна суха насичена пара, слід приділити особливу увагу роботі котла та ізоляції трубопроводів. На парогенератор та бічні гілки мережі можна встановити сепаратор, аби знизити вологість пари та поліпшити її якість. Змінюючи напрям руху пари, парові сепаратори відокремлюють частки води, сприяють їхній доставці у точку, де вони можуть конденсуватися.

Використання пари з найнижчим прийнятним рівнем тиску

Потенційна теплота пари зменшується при підвищенні тиску. Саме потенційна теплота бере участь у процесі нагрівання, коли пару використовують у непрямій системі. Отже, важливо, аби цей показник був якомога вищим. Єдиною умовою є зниження тиску пари. Пара завжди повинна генеруватися та розподілятися при максимально високому тиску, але використовуватися при якомога нижчому тиску, оскільки тоді вона має вищу потенційну теплоту.

Однак, що нижчий тиск пари, то нижча її температура. Оскільки температура є рушійною силою передачі тепла при низькому тиску пари, швидкість теплопередачі буде нижчою, а час роботи більшим. Час роботи деяких типів обладнання з високими фіксованими втратами (наприклад, великих сушильних циліндрів) може зрости, і, відповідно споживання пари у них збільшиться. Проте в деяких галузях існують зразки обладнання, що може ефективно працювати при низькому тиску.

Ось чому слід пам'ятати, що зниження тиску можливе лише до певної межі. З урахуванням особливостей обладнання, слід обрати найнижчий припустимий рівень тиску, за якого не збільшуватиметься час роботи і не зростатиме споживання пари.

Належне використання прямої подачі пари

Нагрівання рідини безпосереднім введенням пари часто є більш привабливим варіантом. Необхідне для цього обладнання є порівняно простим, дешевим та легким в обслуговуванні. Зникає потреба в установленні системи відведення конденсату. Нагрівання відбувається швидко, використовується і фізична, і потенційна теплота, що робить процес термічно ефективним. У тих процесах, де розрідження не є проблемою, нагрівання може здійснюватися шляхом прямої подачі пари. Якщо розбавлення вмісту резервуару та збудження є неприйнятним, то використання прямої подачі пари неможливе.

За ідеальних умов пара, що вводиться, має повністю конденсуватися, поки бульбашки проходять через рідину. Це можливо лише за умови, що тиск вхідної пари буде дуже низьким - близько $0,5 \text{ кг/см}^2$ - і, звичайно, не більше 1 кг/см^2 . Якщо тиск буде високим, бульбашки рухатимуться надто швидко і не встигатимуть конденсуватися, перш ніж вони досягнуть поверхні. На рисунку 25 зображено рекомендовану установку для прямої подачі пари.

На трубі слід вирізати велику кількість дрібних отворів (діаметром 2-5 мм), розташованих у її нижній частині. Це допоможе зменшити швидкість руху бульбашок у рідині. Термостатичний контроль подачі пари не буде зайвим.

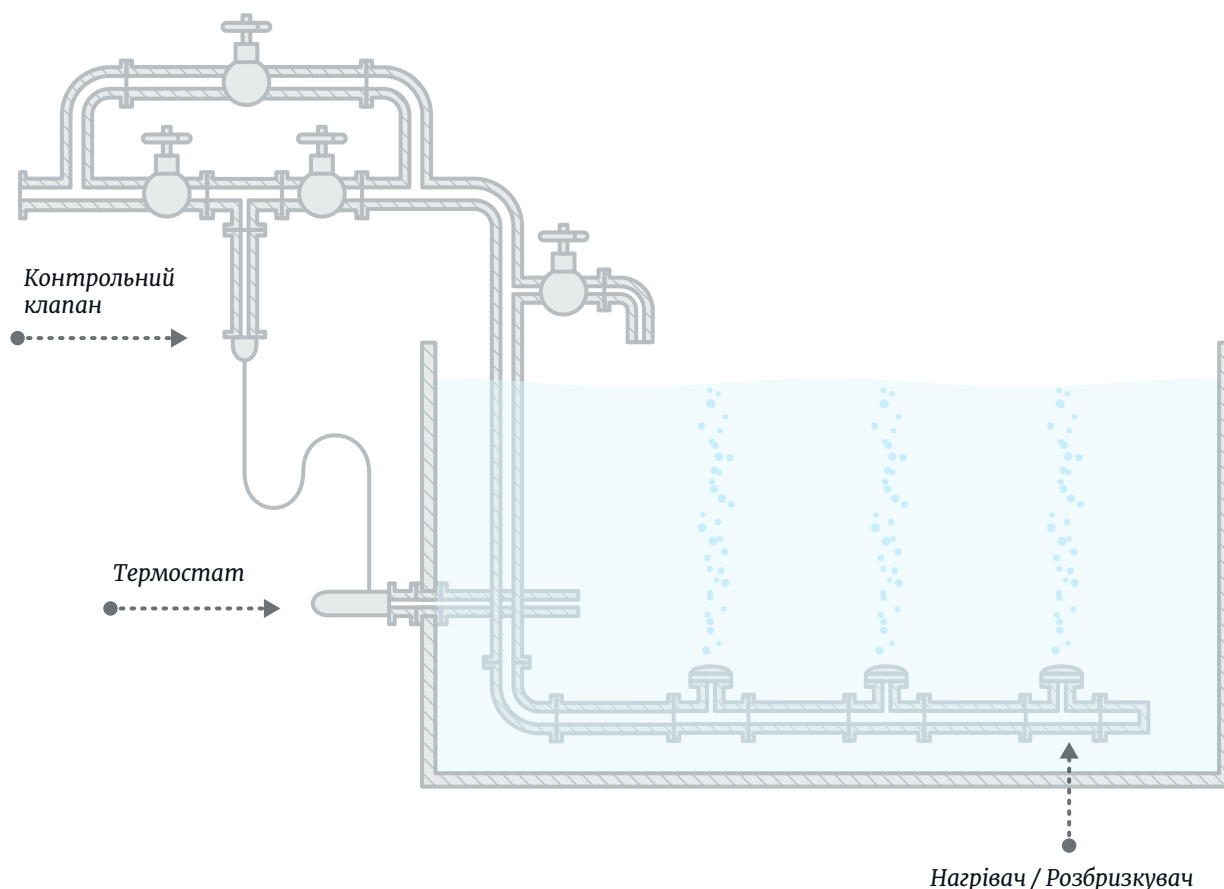
Усунення перешкод для передачі тепла

Передача тепла від пари до тіла, яке необхідно нагріти, відбувається в один із способів:

- шляхом прямої передачі, коли пара безпосередньо контактує з об'єктом нагрівання;
- шляхом непрямой передачі, коли між парою і об'єктом нагрівання розміщується нагрівальна поверхня, що виконує роль такої собі перешкоди.

Прямий спосіб уже описано вище. За використання другого методу необхідно забезпечити вищу температуру пари, яка дозволить компенсувати втрати, пов'язані з нагріванням «перешкоди». Однак важливим чинником є не лише теплопровідність цього бар'єра.

Рисунок 25: Рекомендована установка для прямої подачі пари



Окрім самого бар'єра як такого, слід врахувати формування повітряної плівки та накипу на стороні, куди спрямовується пара, а також відкладень речовини, що нагрівається, на іншій стороні.

На рисунку 26 наглядно зображено всі ці перешкоди теплопередачі. За оцінками, повітря в 1500 разів гірше передає тепло, ніж сталь, і в 13 тисяч разів гірше за мідь. Повітря, мабуть, найкращий теплоізолятор у світі! З великою вірогідністю, саме повітря можна виявити у багатьох системах, що працюють на парі, оскільки під час її конденсації, повітря займає її місце внаслідок утворення часткового вакууму. Повітря також потрапляє в систему під час запуску. Тому, важливо, щоб обладнання було сконструйоване таким чином, аби повітря автоматично відкачувалося на початку роботи.

Шар повітря товщиною 0,25 мм створює такі самі перешкоди теплопередачі, як і мідна стінка товщиною 330 мм. Наявність повітря усередині технологічного обладнання зменшує частковий тиск пари в паро-повітряній суміші, тим самим знижуючи загальну температуру повітряної суміші, яка є засобом нагрівання. Разом із тим уникнути потрапляння повітря в парову систему, яка працює з перервами, практично неможливо. Якщо пара конденсується в періоди неактивності системи, повітря потрапляє в обладнання з парогенератора під час запуску.

Необхідно належним чином розмістити точки виведення повітря з труб, що дозволить виводити повітря з системи і підвищуватиме теплопровід-

Рисунок 26: Перешкоди для ефективної передачі тепла



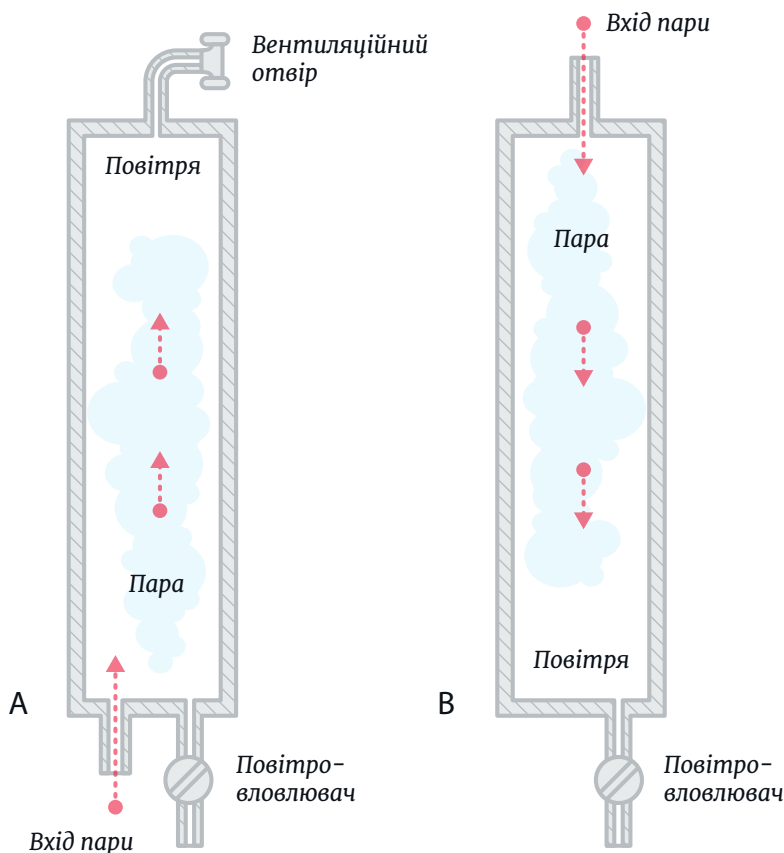
Пара конденсується, віддавши тепло в обігрівуючій котушці чи тепловій сорочці технологічного обладнання. Значна частина (близько 25%) загальної кількості тепла в парі зберігається у конденсованій воді. Якщо ця вода повертатиметься до котла, можна суттєво зменшити споживання палива котлом. При зростанні температури живильної води на 60 °С котел споживає приблизно на 1% менше палива. Крім цього, у більшості випадків живильна вода проходить хімічну обробку з метою запобігання утворенню накипу, тоді як конденсат - це майже повністю чиста вода, що вже не потребує обробки. Якщо до котла повертатиметься значна частина конденсату, це дозволить помітно зменшити витрати на попередню хімічну обробку води.

ність. На рисунку 27 показано розташування вентиляційного отвору в головній трубі.

Використання конденсату

Пара конденсується, віддавши тепло в обігрівуючій котушці чи тепловій сорочці технологічного обладнання. Значна частина (близько 25%) загальної кількості тепла в парі зберігається у конденсованій воді. Якщо ця вода повертатиметься до котла, можна суттєво зменшити споживання палива котлом.

Рисунок 27: Розташування повітряного клапана



Теплоізоляція парових труб і парового обладнання

Тепло може бути втрачене через випромінювання з поверхонь труб. Прикладом є поширена практика, за якої фланці труб залишають неізольованими. Один такий відкритий фланець призводить до таких самих втрат, як і 0,6 метра неізольованої труби. Якщо труба діаметром 0,15 м має п'ять незакритих фланців, втрата тепла буде еквівалентною витраті 5 тонн вугілля або 3000 літрів нафти на рік.

Як правило, фланці залишають неізольованими для полегшення процедури їхнього огляду, але це призводить до серйозних втрат тепла. Для вирішення можна запропонувати спеціальну ізоляцію, що легко знімається за потреби. Використовуються різні ізоляційні матеріали: пробка, скловата, кам'яна вата й азбест.

У таблиці 35 наведено дані про обсяги втрат тепла з неізольованої поверхні.

Розрахунки здійснено для температури навколишнього середовища 35°C, коефіцієнта випромінювання 0,9 та відсутності вітру. Ефективна ізоляція парової системи може знизити втрати тепла до менш ніж 75 (ккал/м²)/год.

Пара закипання утворюється тоді, коли конденсат під високим тиском переводиться в низький тиск. Вона може використовуватися для обігріву за низького тиску.

Що вищий тиск пари та нижчий тиск пари закипання, то більше вироблятиметься пари закипання. У багатьох випадках пара закипання від устаткування, що працює під високим тиском, використовується безпосередньо в агрегатах з низьким тиском за допомогою клапанів для зниження тиску.

За допомогою діаграми для водяної пари можна визначити кількість пари закипання:

$$\text{Доступна пара закипання \%} = \frac{S_1 - S_2}{L_2}$$

де S_1 - фізичне тепло конденсату під високим тиском,

S_2 - фізичне тепло пари за низького тиску,

L_2 - потенційна теплота пари закипання (за низького тиску).

Пара закипання може використовуватися в обладнанні, що працює за низького тиску, наприклад, в установках прямої подачі пари. Відповідно, загальне споживання пари зменшиться.

Попит на пару закипання має перевищувати її подачу, аби не відбувалося зростання тиску в резервуарах із парою закипання і вона не викидалася через запобіжний клапан. Як правило, найпростіший спосіб використання пари закипання - це пряма її передача від машини/обладнання, що працює з високим тиском, до машини/обладнання з низьким тиском.

Таблиця 35. Обсяг тепловтрат за різних температур

Різниця в температурі між повітрям і поверхнею, °C	Втрати тепла, (ккал/м ²)/год
50	500
100	1350
200	3790
400	13640

Використання пари закипання

Загалом, система використання пари закипання має працювати за найнижчого можливого тиску для виробництва максимальної кількості такої пари.

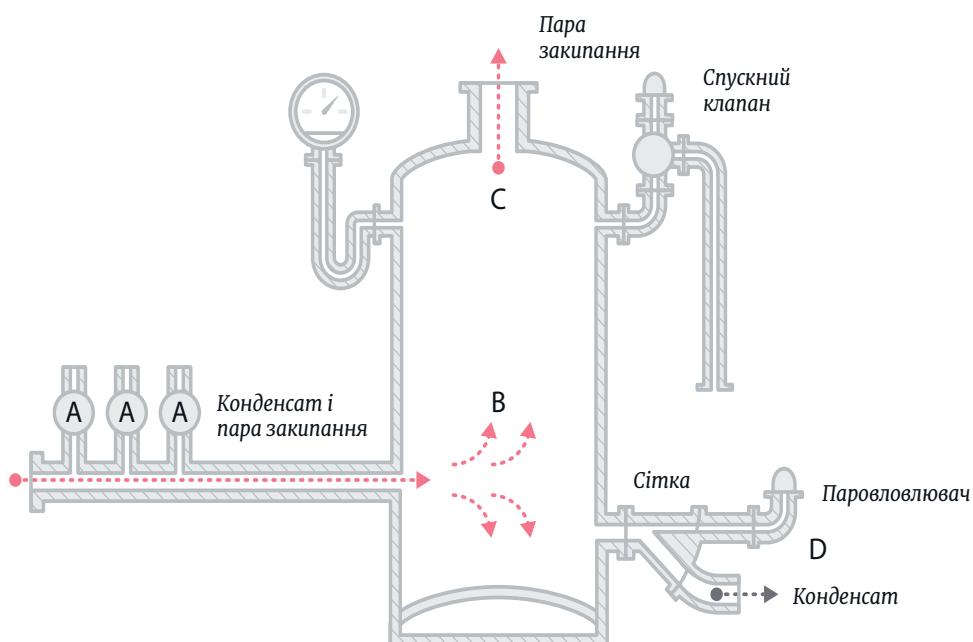
Пару закипання можна відділити від конденсату за допомогою установки, яку називають «випарювальна ємність». Це вертикальна посудина, яку зображено на рисунку. Її діаметр має бути таким, аби значне зниження швидкості дозволяло конденсату падати на дно, а пара могла підніматися вгору. Висота посудини повинна бути достатньою, аби вода не виходила з неї разом із парою закипання.

Конденсат від водовідвідників (A) разом із деякою кількістю пари закипання проходить через посудину (B). Пара закипання виходить через (C), а залишковий конденсат з (B) проходить через паровловлювач (D). Таку ємність, як правило, оснащують манометром, аби мати змогу визначити якість пари закипання, що виходить з неї. Також установлюється запобіжний клапан для випуску пари в разі зростання тиску в установці.

Слід забезпечити подачу максимально сухої пари обладнанню. Також варто підвищувати ефективність процесів на підприємстві. Наприклад, якщо який-небудь продукт необхідно висушити, скажімо, після прання, то є сенс пропустити його через прес, видалити воду і лише тоді прогрівати сушаркою, що використовує пару.

З урахуванням вищенаведеного, необхідно забезпечувати автоматичний дренаж із використанням паровловлювачів. Вони мають зливати конденсат для запобігання ефекту гідравлічного молотка, тепловим ударом та зменшенню площі теплопередачі. Також уловлювачі повинні виводити з системи повітря та інші неконденсовані гази, оскільки вони зменшують ефективність теплопередачі і призводять до корозії. Таким чином, паровловлювач є автоматичним клапаном,

Рисунок 28: Використання пари закипання



що пропускає конденсат, повітря та інші неконденсовані гази, при цьому запобігаючи втраті пари в розподільній системі чи обладнанні.

На енергоефективності можуть позначитися такі заходи:

- зменшення часу роботи;
- зменшення кількості пари, необхідної в годину;
- використання більш ефективних технологій;
- зменшення втрат.

Коли пара досягає точки, де використовується її теплота, необхідно пере-свідчитися, що вона виконує виключно корисну роботу. Наприклад, батареї на-грівання, що забезпечують гаряче повітря для сушіння, споживають однакову кількість пари незалежно від того, якою є потреба в сушінні. Тож якщо установка при цьому працює на 50% своєї потужності, то половина пари просто витрача-ється задарма.

Завжди послуговуйтеся найбільш економічним способом для видалення основної маси води з вологого продукту. Пара може використовуватися для завершення процесу сушіння. З цієї причини у процесі сушіння для видалення маси води часто спочатку застосовуються віджимні преси, центрифуги, від-жимні валики, преси тощо. Надзвичайно важливо, аби видалення маси води відбувалося ефективно. Для прикладу, коли простирадла (суха вага 100 кг) виходять з-під віджимного пресу, вміст вологи в них становить 48%.

Таким чином, майже 48 кг води мають випаруватися в результаті нагрі-вання паром. Для цього знадобиться 62 кг пари. Якщо через неефективне осушення у віджимному пресі вологість простирадл становитиме 52%, то знадобиться вже 67 кг пари. Як наслідок, при незмінних обсягах виробни-цтва споживання пари зросте на 8%. Це показано на рисунку 29.

Рисунок 29: Втрати пари, пов'язані з неефективним механічним осушенням



8.8. Технологічний обігрів

Можливості виробництв а теплової енергії

- контроль співвідношення «повітря до палива» (від 5 до 25% економії);
- підігрів повітря для спалювання (від 15 до 30% економії);
- використання збагаченого киснем повітря (від 5 до 25% економії).

Можливості теплопередачі

- поліпшення теплопередачі за допомогою сучасних пальників та елементів керування (від 5 до 10% економії);
- поліпшення теплопередачі в печі (від 2 до 10% економії).

Можливості утримання тепла

- зменшення втрат тепла зі стінок (від 2 до 5 % економії);
- контроль тиску в печі (від 5 до 10 % економії);
- обслуговування ізоляції дверей та труб (до 5 % економії);
- зменшення охолодження внутрішніх деталей (до 5 % економії);
- зменшення втрати тепла від випромінення (до 5 % економії).

Можливості рекуперації тепла

- підігрів повітря для спалювання (від 10 до 30 % економії);
- попереднє нагрівання рідини чи твердого продукту (від 5 до 20 % економії);
- каскадний режим тепла (від 5 до 20 % економії);
- нагрівання рідини або виробництво пари (від 5 до 20 % економії);
- абсорбційне охолодження (від 5 до 20 % економії).

8.9. Заходи енергоефектив- ності для дизельних генераторів

- забезпечення холодного, чистого повітря на вході (можна розглянути використання повітроочисників для великих установок, якщо клімат сухий і теплий);
- поліпшена фільтрація повітря;
- забезпечення зберігання, обробки та підготовки палива відповідно до інструкцій виробників/даних від постачальників палива;
- слід розглянути можливість використання домішок, якщо вони поліпшують властивості палива й ефективність роботи установки;
- регулярне калібрування паливних насосів;
- забезпечення виконання вимог контрольного списку технічного обслуговування;
- забезпечення стабільних умов роботи, без коливань, дисбалансу фаз, гармонік;
- у разі роботи зі стабільним базовим навантаженням, слід розглянути варіант із системою рекуперації тепла для парогенератора або інтеграцією охолоджувача. Навіть ватержетне охолодження є адекватним варіантом;
- з точки зору економії палива можна розглянути часткове використання біомаси. Видалення смоли з газу має вирішальне значення для забезпечення роботи двигуна в довгостроковій перспективі;
- слід розглянути варіант паралельного функціонування дизельних установок для поліпшення показників відносного навантаження та економії палива.;
- проведення регулярних польових випробувань для моніторингу продуктивності, оцінки технічних характеристик та планування технічного обслуговування відповідно до вимог.



Джерела та посилання

1. Ali Hasanbeigi, Lynn Price. Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities. Berkeley National Laboratory. October 2010.
2. Austrian Energy Agency, 2007. "Step by step guidance for the implementation of energy management." Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs Project of Intelligent Energy – Europe.
3. Bureau of Energy Efficiency (BEE), India. Guide books for energy auditing.
4. Caffal, C., 1995. Energy Management in Industry. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), Sittard, the Netherlands. Capehart 2006
5. Cergel, Y. A., B. G. Shiva Prasad, R.H. Turner, R. H and Y. Cerci, 2000. "Reduce compressed air costs." Hydrocarbon Processing, December 2000.
6. DIN EN 16247. Energy Audits – Part 1: General requirements; German version EN 16247-1:2012.
7. Easton Consultants, 1995. Strategies to Promote Energy-Efficient Motor Systems in North America's OEM Markets. Easton Consultant Inc., Stamford, Connecticut, USA.
8. EnEff Baeckerei – Netzwerk für Energieeffizienz in Bäckereien, Energieeffizienz in Bäckereien.
9. European Cement Research Academy (ECRA), Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead, 2009.
10. Farla, J. C. M., Worrell, E., Hein, L., and Blok, K., "Actual Implementation of Energy Conservation Measures in the Manufacturing Industry 1980-1994, the Netherlands: Dept. of Science, Technology & Society, Utrecht University, 1998.
11. Frauke Schorcht, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, 2013.
12. Fuller, S. K. and Petersen, S. R., 1996. Life-cycle cost manual for the federal energy management program. U. S. National Institute of Standards and Technology.
13. Heijkers, C., E. Zeemering and W. Altena, 2000. "Consider Variable- Speed, Motor-Driven Compressors in Refrigeration Units." Hydrocarbon Processing, 8, 79, pp. 61-64 (August 2000).
14. Hydraulic Institute and Europump, 2001. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Parsippany, New Jersey, USA. Ingersoll Rand, 2001
15. Hydraulic Institute, 1994. Efficiency Prediction Method for Centrifugal Pumps. Parsippany, New Jersey, USA.
16. International Organization for Standardization ISO. ISO 50002:2014, Energy audits – requirements with guidance for use.
17. International Organization for Standardization ISO. ISO 50006:2014, Energy management systems – Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) – General principles and guidance
18. Ministry of Industry and Information Technology, China, Advanced and Applicable Technology Guide for Energy Saving and Emission Reduction in Building Materials Industry (first batch) 2012, p. 21-22.
19. National Development and Reform Commission, 2012.
20. NEDO (2008) Global Warming Countermeasures, Japanese Technologies.

21. for Energy Savings/GHG Emissions Reduction, revised edition. Published by: New Energy and Industrial Technology Development Organization. Available at: <http://www.nedo.go.jp/english/>.
22. Phylipsen, D., Blok, K., Worrell, E., de Beer, J., 2002. "Benchmarking the energy efficiency of Dutch industry: an assessment of the expected effect on energy consumption and CO2 emissions." *Energy Policy* 30 (2002) 663-679.
23. Radgen, P. and E. Blaustein, 2001. *Compressed Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions*. Fraunhofer Institute, Karlsruhe, Germany.
24. Tutterow, V., 1999. *Energy efficiency in Pumping Systems: Experience and Trends in the Pulp and Paper Industry*. American Council for an Energy-efficient Economy (ACEEE).
25. U. S. DOE, 1996. *Reducing Power Factor Cost*. U.S. Department of Energy, Motor Challenge Program. September 1996.
26. U. S. DOE-IAC, 2006. *Industrial Assessment Center (IAC) Database*. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: <http://iac.rutgers.edu/database/index.php>.
27. U. S. DOE-OIT, 2006. *Steam Tip Sheets*, January 2006. Industrial technologies Program, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices>
28. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 2007b, *Guidelines for Energy Management*. EnergyStar Program.
29. Worrell, E., Bode, J. W., and De Beer, J. G., 1997. *Energy-efficient Technologies in Industry (ATLAS project for the European Commission)*, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands.
30. Xenergy, 1998. *United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment*. Prepared by Xenergy Inc. for U. S. Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory.
31. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №311 від 14.03.2018 «Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії»
32. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №312 від 14.03.2018 «Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії»
33. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №2494 від 30.09.2015 «Про затвердження Кодексу газорозподільних систем»
34. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №2496 від 30.09.2015 «Про затвердження Правил постачання природного газу».

Про авторів



Петр Шубак

Петр Шубак – відомий фахівець у сфері енергоефективності. З 1997 р. активно працює у сферах енергоефективності, енергоменеджменту та енергозбереження. На посаді керуючого партнера П. Шубак відповідає за національний бізнес Envidatec GmbH, а також часто бере участь у міжнародних проєктах.

П. Шубак займається проведенням енергетичного аудиту з 2001 року, а з 2012 року проводить аудит за стандартом DIN EN 16247. Цілісне управління енергетикою було частиною спектру послуг, які надає П. Шубак, задовго до введення стандарту ISO 50001 у 2011 році. Він також є експертом з впровадження систем енергоконтролю – за допомогою програмного забезпечення JEVIS Envidatec GmbH є одним із піонерів ринку в цій галузі. П. Шубак – сертифікований енергоаудитор та провідний аудитор з питань управління довкіллям.

П. Шубак брав участь у кількох науково-дослідних проєктах в енергетичній галузі, зокрема у сферах енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.



Детлеф Борст

Детлеф Борст – експерт з питань енергоефективності. Має ступінь магістра з електротехніки та техніки зв'язку. Працює в сферах енергоефективності, енергоменеджменту та вимірювання та моніторингу енергії з 1996 року. З 2005 року працює із міжнародними проєктами.

Проєкти його діяльності в основному спрямовані підвищення рівня обізнаності та досвіду у технічних сферах. Д. Борст є визнаним тренером-спеціалістом у вищезазначених галузях: він проводив навчання, енергетичні аудити та інші заходи з підвищення енергоефективності у понад 30 країнах світу. З 2011 року очолює відділ міжнародного співробітництва компанії Envidatec GmbH в м. Гамбург, Німеччина.

Також був залучений до кількох дослідницьких проєктів на тему енергетики майбутнього та регульованого попиту, віртуальних електростанцій та швидкого управління попитом на базі Інтернету.



Артем Саф'янц

Артем Саф'янц має вищу освіту за напрямом “Теплоенергетика” та ступінь к.т.н. по спеціальності “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”.

З 2006 року виконав енергетичні аудити більше ніж 40 об'єктів, серед яких будівлі громадського призначення, котельні та теплові мережі, промислові підприємства хімічної, будівельної, металургійної та харчової галузей. Виконав впровадження систем енергетичного менеджменту згідно вимог ISO 50001 на промислових підприємствах.

Є старшим науковим співробітником НАН України, викладачем КПІ ім. І. Сікорського.

З 2012 року як технічний консультант GIZ з питань енергоефективності, енергетичного менеджменту та відновлюваних джерел енергії працював в 5 проектах міжнародної технічної допомоги.

Автор чисельних статей та посібників.

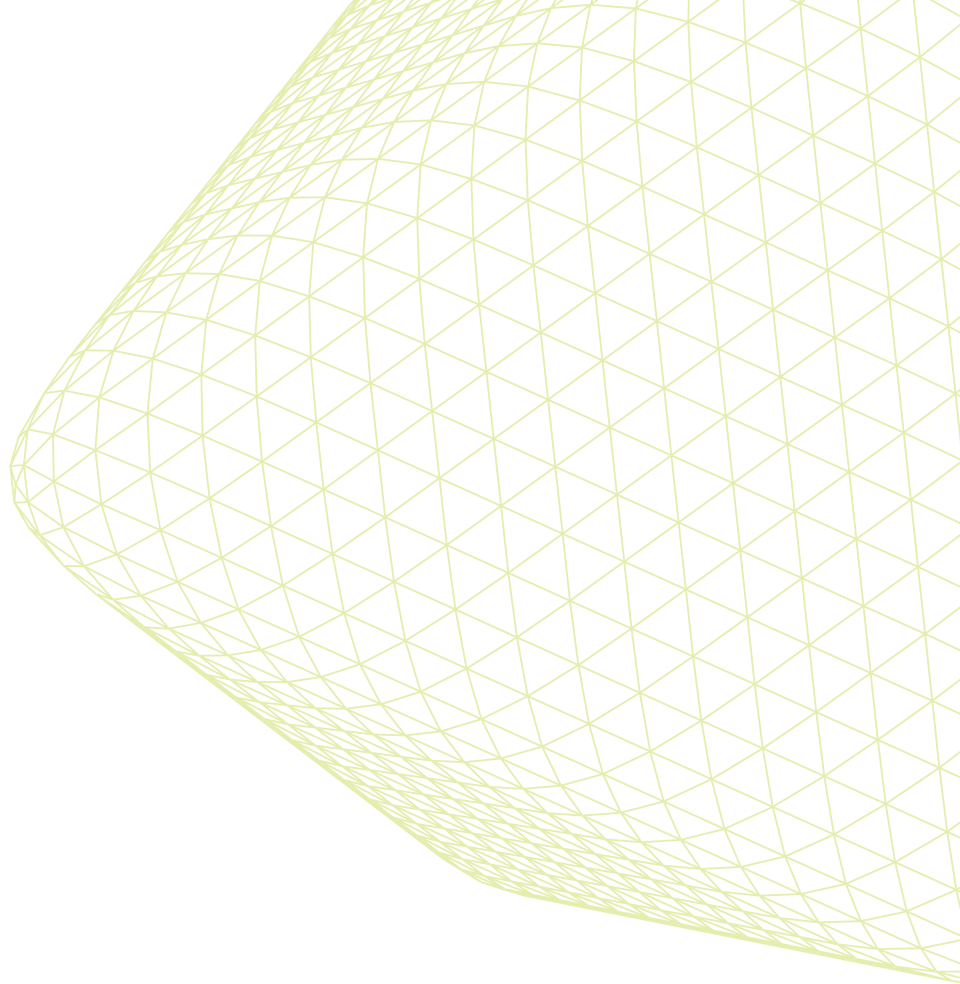


Анатолій Чернявський

Анатолій Чернявський є одним з провідних фахівців в Україні у сфері енергоаудиту та енергоменеджменту. Він має близько 20 років досвіду роботи в промисловому і муніципальному секторі України та Казахстану. Є національним та міжнародним експертом у сфері енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту, брав участь у більш ніж 10 проектах міжнародної технічної допомоги

У якості провідного енергетичного аудитора А. Чернявський виконав понад 200 енергоаудитів на промислових, енергетичних і муніципальних підприємствах в таких галузях, як машинобудування та металургія, електростанції, будівельна, фармацевтична та харчова промисловості, сільське та житлово-комунальне господарство. Приймав активну участь в розробленні більш ніж 15 національних та гармонізованих міжнародних стандартів у сфері енергоаудиту та енергоменеджменту. Він є членом національних технічних комітетів зі стандартизації ТК 48 «Енергозбереження» та ТК 13 «Стандартизація електричних побутових машин і приладів».

Уже близько 20 років А. Чернявський є викладачем Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського. Також він є провідним викладачем Тренінгового центру з підготовки енергоменеджерів та енергоаудиторів, а також головним тренером міжнародного тренінг-курсу EUREM Європейський Енергоменеджер в Україні.



Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності»

*Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*

*вул. Антоновича 16-б,
01004, Київ, Україна
+38 044 594 07 60*

© 2020