

ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК З ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

— Консультування підприємств
щодо енергоефективності



В цьому Посібнику викладені загальні методичні підходи щодо проведення енергетичних аудитів промислових підприємств у відповідності з загальною міжнародною методологією, визначеною міжнародним стандартом ISO 50002. Цей стандарт встановлює загальний алгоритм проведення енергоаудиту, який забезпечує найбільш ефективну роботу енергоаудитора. Етапи проведення енергетичного аудиту, описані в стандарті ISO 50002, є загальними для всіх промислових підприємств. Даний Посібник було розроблено в рамках проекту «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», який виконується на замовлення Уряду Німеччини Німецьким товариством міжнародного співробітництва Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку (BMZ) в рамках Міжнародної Ініціативи з питань зміни Клімату.

Видавець:

Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності»

За дорученням:

Проект виконується Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ).

Юридична адреса:

01004, м. Київ, вул. Антоновича (Горького), 16Б
+38 044 594 07 60
+38 044 594 07 64
www.giz.de/ukraine-ua

Авторський колектив:

Анатолій Чернявський, к. т. н., доц.;
Артем Сафьянц, к. т. н., доц.;
Наталія Усенко;
Олександр Соловей, к. т. н., доц.;
Олена Бориченко, к. т. н., доц.;
Павло Пертко;
Юлія Шишко, к. т. н., доц.;
Андрій Гоєнко.

За загальною редакцією

Наталії Усенко та Анатолія Чернявського

Дизайн: Третяк Анна

Київ, 2020

ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК З ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Консультавання підприємств
щодо енергоефективності

Зміст

ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ.....	8	6.6 Оцінка енергоефективності суттєвих споживачів енергії шляхом проведення вимірювань.....	62
ПЕРЕЛІК РИСУНКІВ.....	10	6.6.1 Оцінка ефективності використання палива котлами, печами та теплогенераторами, а також стану їх теплоізоляції.....	62
ВСТУПНЕ СЛОВО.....	12	6.6.2 Оцінка стану системи розподілу теплової енергії, виявлення витіків та втрат пари та гарячої води.....	78
ПЕРЕДМОВА.....	16	6.6.3 Оцінка стану системи стисненого повітря, виявлення витіків та втрат в елементах системи.....	89
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	18	6.6.4 Оцінка стану елементів системи електропостачання та визначення втрат електричної енергії в них.....	99
2. ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ.....	24	6.6.5 Отримання графіків електричних навантажень суттєвих споживачів електроенергії.....	108
2.1 Мета проведення енергоаудиту.....	24	6.6.6 Оцінка стану системи опалення та теплоізоляції будівель.....	110
2.2 Визначення меж, характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту.....	25	6.6.7 Вимірювання рівня освітленості в приміщеннях.....	112
2.3 Показники якості енергетичного аудиту та кваліфікаційні вимоги до виконавців робіт.....	27	7. ПРОВЕДЕННЯ ОГЛЯДУ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГОАУДИТУ.....	116
2.4 Використання оціночного листа для оцінювання відповідності звіту енергоаудиту загальним вимогам стандарту ISO 50002.....	30	8. ОБРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ДАНИХ.....	120
2.5 Підготовка технічного завдання на виконання робіт з енергетичного аудиту.....	34	8.1 Загальні положення.....	120
2.6 Вибір виконавця робіт з енергетичного аудиту.....	34	8.2 Складання та аналізування паливно-енергетичних балансів та визначення окремих їх складових.....	122
2.7 Визначення вартості робіт з енергоаудиту.....	35	8.2.1 Загальні положення.....	122
2.8 Укладання договору.....	37	8.2.2 Методика складання паливно-енергетичних балансів.....	128
3. ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ.....	38	8.2.3 Типовий склад витрат ПЕР.....	130
3.1 Загальні положення.....	38	8.2.4 Аналіз паливно-енергетичного балансу.....	132
3.2 Вимоги ISO 50002 щодо планування енергетичного аудиту.....	39	8.2.5 Складання паливно-енергетичного балансу енергоємного обладнання.....	134
3.3 Розроблення плану-графіка проведення енергоаудиту.....	41	8.3 Визначення суттєвих споживачів ПЕР.....	144
4. ПОПЕРЕДНЯ НАРАДА.....	42	8.4 Визначення переліку основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання.....	144
5. ЗБИРАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ОСНОВНИХ ДАНИХ.....	44	8.5 Базовий рівень енергоспоживання, показники енергоефективності та енергорезультативність.....	145
5.1 Збирання та узагальнення основних даних про об'єкт енергетичного аудиту.....	44	8.5.1 Поняття, визначення та загальні вимоги.....	145
5.2 Оброблення та попередній аналіз основних даних про об'єкт енергетичного аудиту.....	48		
6. ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ.....	50		
6.1 Загальні положення.....	50		
6.2 Планування вимірювань.....	51		
6.3 Методи та методики вимірювань.....	54		
6.4 Засоби виміральної техніки, що використовуються під час проведення енергетичного аудиту.....	57		
6.5 Похибки вимірювань.....	59		



8.5.2 Встановлення базового рівня енергоефективності.....	148	9. ФІНАНСОВА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В ЗАХОДИ ТА ПРОЄКТИ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ПРИКЛАДИ, ШАБЛони ТА ІНСТРУМЕНТИ.....	206
8.5.3 Визначення та аналіз показників енергоефективності.....	155	9.1 Загальні положення.....	206
8.6 Оцінка ефективності використання енергії електричними генераторами в системі електропостачання.....	163	9.2 Визначення часових меж проєкту з енергоефективності.....	211
8.7 Оцінка ефективності використання енергії у котельні та системі розподілу тепла.....	166	9.3 Розрахунок необхідних витрат та заощаджень коштів за проєктом з енергоефективності.....	211
8.8 Оцінка ефективності використання енергії у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря.....	169	9.4 Методи фінансової оцінки проєкту.....	218
8.9 Оцінка ефективності використання енергії електричними двигунами.....	171	10. ПІДГОТОВКА ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗВІТУ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ.....	226
8.10 Оцінка ефективності використання енергії системою опалення, вентиляції та кондиціювання.....	172	10.1 Загальні положення.....	226
8.11 Оцінка ефективності використання енергії системою освітлення.....	174	10.2 Чого слід уникати під час написання звіту з енергоаудиту.....	228
8.12 Оцінка ефективності використання енергії системою водопостачання і каналізації.....	175	11. ЗАКЛЮЧНА НАРАДА.....	230
8.13 Оцінка ефективності використання енергії системою технологічного охолодження.....	178	ДОДАТКИ.....	234
8.14 Оцінка ефективності використання енергії в технологічних процесах.....	179	Додаток А. Скорочення та позначення.....	234
8.15 Оцінка рівня енергоефективності будівель та споруд.....	181	Додаток Б. Ключові терміни щодо енергоаудиту.....	235
8.16 Оцінка стану енергетичного менеджменту на об'єкті енергетичного аудиту.....	182	Додаток В. Технічне завдання на проведення енергоаудиту промислового підприємства (типова форма).....	237
8.17 Визначення можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності та оцінка потенціалу енергозбереження промислового підприємства.....	184	Додаток Г. Спрощений опитувальний лист для визначення вартості енергоаудиту (типова форма).....	240
8.17.1 Загальні положення.....	184	Додаток Д. Форма плану-графіка проведення енергетичного аудиту.....	245
8.17.2 Виявлення можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності та розроблення заходів з енергоефективності.....	187	Додаток Е. Протокол попередньої наради (приклад).....	246
8.17.3 Виявлення можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності та розроблення заходів з енергоефективності.....	188	Додаток Ж. Форми деталізованих опитувальних листів енергоаудитора (робочі форми).....	248
8.17.4 Коригування базового рівня енергоспоживання та унормування визначальних змінних під час визначення потенціалу енергозбереження окремих структурних одиниць промислового підприємства.....	190	Додаток З. Приклад шаблону звіту з енергоаудиту промислового підприємства.....	258
8.17.5 Оцінка технологічно доступного потенціалу енергозбереження промислового підприємства.....	195		



Перелік таблиць

Таблиця 1.1 – Порівняння типів енергоаудиту за точністю результатів, вартістю робіт та їх тривалістю.....	19	Таблиця 6.10 – Норми щільності теплового потоку через ізольовані поверхні трубопроводів при двотрубному підземному безканальному прокладанні водяних теплових мереж при кількості годин роботи за рік 5 000 та менше, Вт/м.....	86	Таблиця 8.8 – Вимоги ISO 50002:2016 для оцінки базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності для промислових підприємств.....	148	Таблиця 9.2 – Прогнозування руху грошових коштів проекту з енергоефективності.....	212
Таблиця 1.2 – Узагальнена інформація щодо тривалості кожного з етапів енергоаудиту (у відсотках) в залежності від типу аудиту.....	22	Таблиця 6.11 – Приклад форми для проведення розрахунку втрат тепла у мережі з охолодженням теплоносія.....	87	Таблиця 8.9 – Приклад загального вигляду таблиці заповнення вихідних даних.....	149	Таблиця 9.3 – Приклад розрахунку капітальних витрат за проектом будівництва газотурбінної електростанції.....	213
Таблиця 2.1 – Загальна інформація.....	30	Таблиця 6.12 – Зміни витрат повітря пневмоприймачами у залежності від пори року.....	95	Таблиця 8.10 – Зведена таблиця результатів регресійної статистики (перша ітерація).....	150	Таблиця 9.4 – Приклад розрахунку щорічних експлуатаційних витрат для газотурбінної станції.....	214
Таблиця 2.2 – Критерії оцінювання якості звіту з енергетичного аудиту.....	30	Таблиця 6.13 – Приклад розрахунку еквівалентних довжин елементів розподільчої мережі стисненого повітря.....	98	Таблиця 8.11 – Зведена таблиця результатів дисперсійного аналізу (перша ітерація).....	150	Таблиця 9.5 – Приклад розрахунку періоду окупності інвестицій.....	218
Таблиця 2.3 – Варіанти цінових стратегій в залежності від співвідношення «ціна – якість».....	36	Таблиця 6.14 – Значення коефіцієнта потужності незкомпенсованого устаткування.....	105	Таблиця 8.12 – Зведена таблиця коефіцієнтів рівняння регресійної моделі споживання електричної енергії (перша ітерація).....	151	Таблиця 9.6 – Приклад розрахунку чистої приведеної вартості проекту.....	220
Таблиця 5.1 – Перелік документальної інформації про підприємство (що є в наявності на підприємстві).....	46	Таблиця 6.15 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових (сільськогосподарських) будівель R_{qmin}	111	Таблиця 8.13 – Зведені таблиці результатів регресійного аналізу (друга ітерація).....	151	Таблиця 9.7 – Приклад розрахунку IRR проекту.....	222
Таблиця 5.2 – Основні переваги та недоліки вторинної інформації.....	47	Таблиця 6.16 – Мінімальні значення світловіддачі джерел світла для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередавання.....	112	Таблиця 8.14 – Зведені таблиці результатів регресійного аналізу (третья ітерація).....	152	Таблиця 9.8 – Зведена таблиця показників фінансової оцінки ефективності проектів з енергоефективності.....	223
Таблиця 6.1 – Класифікація основних методів вимірювань.....	54	Таблиця 8.1 – Класифікація видів втрат енергії.....	123	Таблиця 8.15 – Зведені таблиці результатів регресійного аналізу (четверта ітерація).....	153	Таблиця 3.1.1 – Заходи з ЕЕ та їх очікувані фінансові показники.....	261
Таблиця 6.2 – Основні характеристики мінімального комплекта вимірювальних приладів.....	57	Таблиця 8.2 – Класифікація видів ПЕБ.....	124	Таблиця 8.16 – Типи та приклади застосування ПЕЕ.....	156	Таблиця 3.2.1 – Контактні дані компанії-виконавця енергоаудиту.....	262
Таблиця 6.3 – Необхідна кількість вимірювань при нормальному законі розподілу випадкової величини (при $P = 0,95$).....	61	Таблиця 8.3 – Табличне представлення витратної частини ПЕБ механічного цеху за цільовим напрямком.....	126	Таблиця 8.17 – Головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР на одиницю продукції (робіт, послуг).....	160	Таблиця 3.2.2 – Загальні дані про склад енергоаудиторської групи.....	262
Таблиця 6.4 – Значення рівня значущості $\beta_T = f(n)$	61	Таблиця 8.4 – Приклад основних складових технологічних витрат ПЕР для дугової сталеливарної печі.....	131	Таблиця 8.18 – Морфологічна матриця класифікації потенціалів енергозбереження.....	185	Таблиця 3.2.3 – Загальна інформація про підприємство.....	263
Таблиця 6.5 – Приклад таблиці результатів інструментального обстеження режимів паливоспоживання газового котла №1 Е-1,0-0,9Г з пальником Г-1,0К.....	68	Таблиця 8.5 – Порівняльний нормалізований і фактичний електробаланс зварювання, кВт·год/ точку (%).....	132	Таблиця 8.19 – Стислий виклад методів унормування.....	192	Таблиця 3.3.1 – Дані щодо споживання ПЕР за 2017–2019 рр.....	265
Таблиця 6.6 – Питомі об'єми води для наповнення трубопроводів теплових мереж.....	81	Таблиця 8.6 – Засоби аналізу інформації в залежності від напрямів аналізу ПЕБ.....	133	Таблиця 8.20 – Формули для визначення обсягів енергозбереження одного виду ПЕР.....	195	Таблиця 3.3.2 – Щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами за 2017–2019 рр.....	266
Таблиця 6.7 – Приклад форми для проведення розрахунку втрат тепла у мережі з витоком теплоносія.....	82	Таблиця 8.7 – Шляхи підвищення ступеня використання теплоти димових газів.....	142	Таблиця 8.21 – Формули для визначення обсягів енергозбереження для декількох видів енергії: Спосіб 1.....	196	Таблиця 3.3.3 – Дані щодо тарифів на електричну енергію за останні 2018–2020 рр., грн./кВт·год.....	268
Таблиця 6.8 – Норми щільності теплового потоку при розміщенні на відкритому повітрі.....	83			Таблиця 8.22 – Формули для визначення обсягів енергозбереження для декількох видів енергії: Спосіб 2.....	196	Таблиця 3.3.4 – Оцінка втрат через витіки у системі стисненого повітря при тиску в системі 8 бар.....	271
Таблиця 6.9 – Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж при прокладанні в непрохідних каналах при кількості годин роботи за рік 5 000 та менше, Вт/м.....	84			Таблиця 8.23 – Формули для визначення обсягів енергозбереження від декількох заходів з енергоефективності.....	197	Таблиця 3.3.5 – Перелік суттєвих споживачів електроенергії.....	272
				Таблиця 8.24 – Приклад визначення електричного потенціалу енергозбереження для типових споживачів електроенергії.....	200	Таблиця 3.3.6 – Річний баланс електроспоживання цеху.....	273
				Таблиця 9.1 – Особливості проведення фінансової оцінки заходів з енергоефективності в залежності від типу енергоаудиту.....	206	Таблиця 3.3.7 – Перелік чинників, що впливають на енергоспоживання.....	273

Перелік рисунків

Рисунок 1.1 – Блок-схема процесу енергетичного аудиту (у відповідності до положень ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT)).....	21	Рисунок 6.14 – Візуалізація принципу дії економайзера.....	74	Рисунок 8.8 – Узагальнена схема вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.....	146
Рисунок 2.1 – Приклад визначення фізичних меж енергоаудиту.....	25	Рисунок 6.15 – Приклад модернізованої парової котельні з відсутнім економайзером.....	75	Рисунок 8.9 – Взаємозв'язок між енергорезультативністю, енергетичними завданнями, БРЕ та ПЕЕ.....	147
Рисунок 2.2 – Приклад визначення системних меж енергоаудиту (за процесами або видами споживаних ПЕР).....	26	Рисунок 6.16 – Приклад представлення теплового балансу.....	76	Рисунок 8.10 – Графік фактичного та прогнозного (відповідно до регресійної моделі) споживання електроенергії, його відхилення та кумулятивної суми (КУСУМ).....	155
Рисунок 2.3 – Показники якості енергетичного аудиту промислових підприємств.....	28	Рисунок 6.17 – Фото зовнішнього вигляду паливо завантажувальної системи котла на деревній трісці.....	77	Рисунок 8.11 – Блок-схема визначення обсягів енергозбереження.....	189
Рисунок 2.4 – Чинники, що впливають на якість результатів енергетичного аудиту промислових підприємств.....	29	Рисунок 6.18 – Фотофіксація проведення аналізу палива (деревини) на вміст в ній вологи.....	77	Рисунок 8.12 – Ієрархічна схема оцінки потенціалу енергозбереження на різних рівнях функціонування системи енергопостачання промислового підприємства.....	198
Рисунок 5.1 – Приклад генплану підприємства (з експлікацією будівель).....	47	Рисунок 6.19 – Приклад схеми трубопроводів підприємства.....	79	Рисунок 8.13 – Узагальнена ієрархічна схема оцінки електричного потенціалу енергозбереження на різних рівнях системи електропостачання промислового підприємства.....	199
Рисунок 6.1 – Основні кроки щодо планування вимірювання.....	50	Рисунок 6.20 – Приклад фотофіксації та термограми відсутності теплоізоляції на запірній арматурі.....	80	Рисунок 9.1 – Основні ознаки проекту з енергоефективності.....	208
Рисунок 6.2 – Послідовність визначення доцільного місця проведення вимірювання.....	51	Рисунок 6.21 – Приклад застосування термочохлів THERMOSAVE для теплоізоляції запірної арматури.....	80	Рисунок 9.2 – Узагальнений алгоритм проведення фінансової оцінки ефективності проектів з енергоефективності.....	209
Рисунок 6.3 – Класифікація похибок вимірювань.....	59	Рисунок 6.22 – Приклад прокладання неізольованих паропроводів та конденсатопроводів поряд з неізольованими холодопроводами.....	87	Рисунок 9.3 – Поняття теперішньої та майбутньої вартості грошей.....	216
Рисунок 6.4 – Приклад 3D представлення компоновки сучасної парової котельні.....	62	Рисунок 6.23 – Приклад фотофіксації та термограми відсутності теплоізоляції на конденсатовідвідниках.....	89	Рисунок 9.4 – Залежність значення IRR від ставки дисконтування.....	221
Рисунок 6.5 – Приклад схематичного зображення парової системи котельні.....	63	Рисунок 6.24 – Приклад узагальненої структурної схеми системи стисненого повітря для різних виробничих потреб.....	89	Рисунок 9.5 – Порівняння та вибір проектів з енергоефективності за різними критеріями оцінювання.....	225
Рисунок 6.6 – Залежність ККД типового котла ДКВР від навантаження.....	65	Рисунок 6.25 – Основні компоненти системи стисненого повітря.....	90	Рисунок 11.1 – Приклад опитувальної форми для визначення потреби персоналу підприємства в проведенні тренінгів з енергоефективності.....	233
Рисунок 6.7 – Приклад заповненої режимної карти котла.....	67	Рисунок 6.26 – Типова діаграма енергетичних потоків для системи стисненого повітря.....	90	Рисунок 3.3.1 – Динаміка помісячного споживання електричної енергії за 2016–2018 роки.....	267
Рисунок 6.8 – Приклад візуалізації результатів роботи газоаналізатора.....	68	Рисунок 6.27 – Приклад тижневого графіка роботи компресора.....	93	Рисунок 3.3.2 – Графік добового електричного навантаження.....	269
Рисунок 6.9 – Форма графіка для визначення зони оптимального навантаження котла.....	69	Рисунок 6.28 – Приклад застосування вимірювального обладнання під час проведення аудиту систем стисненого повітря.....	94	Рисунок 3.3.3 – Відомість погодинного електричного навантаження.....	269
Рисунок 6.10 – Графік залежності ККД котла від його теплопродуктивності.....	70	Рисунок 6.29 – Приклад визначення втрат тиску у мережі стисненого повітря за допомогою номограми.....	97	Рисунок 3.3.4 – Баланс річного споживання природного газу.....	273
Рисунок 6.11 – Приклади представлення результатів тепловізійного обстеження теплоізоляції елементів парових котлів та пекарських печей.....	71	Рисунок 6.30 – Приклад зображення спрощеної однолінійної схеми електропостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників комерційного обліку електроенергії.....	99		
Рисунок 6.12 – Номограма визначення втрат тепла через теплоізоляцію обладнання.....	72				
Рисунок 6.13 – Приклад представлення графічної залежності ККД котла від температури продуктів згоряння.....	73				
				Рисунок 6.31 – Приклад типового зображення однолінійної схеми електропостачання.....	100
				Рисунок 6.32 – Приклад зображення генерального плану підприємства з нанесенням координат розташування цехів та центру електричних навантажень.....	102
				Рисунок 6.33 – Типова форма добового графіка активного и реактивного навантаження режимних днів.....	103
				Рисунок 6.34 – Класифікація втрат електричної енергії в мережах.....	107
				Рисунок 6.35 – Приклад результатів тепловізійного обстеження комутаційної апаратури.....	108
				Рисунок 6.36 – Приклад індивідуального добового графіка активної потужності.....	108
				Рисунок 6.37 – Приклад добового графіка активної потужності цеху.....	109
				Рисунок 6.38 – Розташування контрольних точок при вимірюванні мінімальної освітленості приміщення від світильників, що приймаються за точкові випромінювачі.....	114
				Рисунок 6.39 – Розташування контрольних точок при вимірюванні мінімальної освітленості приміщення від світильників, що приймаються за лінійні випромінювачі.....	114
				Рисунок 8.1 – Приклад схематичного зображення паливно-енергетичного балансу підприємства у вигляді діаграми Сенкей (http://www.sankei-diagrams.com/).....	122
				Рисунок 8.2 – Графічне представлення результатів складання часткового ПЕБ для електричної енергії за рік (діаграма Сенкей).....	125
				Рисунок 8.3 – Графічне зображення балансу теплової енергії у робочій формі (балансова діаграма).....	127
				Рисунок 8.4 – Графічне зображення балансу витрат електроенергії в аналітичній формі (площинна односмугова діаграма).....	128
				Рисунок 8.5 – Послідовність складання паливно-енергетичних балансів промислових підприємств.....	129
				Рисунок 8.6 – Графічне зображення балансу у вигляді кругової секторної діаграми.....	134
				Рисунок 8.7 – Наочне відображення застосування базового рівня енергоспоживання.....	145

Вступне слово



Свиріденко 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 витрати 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 підтримали ініціативу випуску цього посібника, який розкриває деталі впровадження міжнародного стандарту ISO 50002 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 50002, 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 проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», який з 2017 року виконується компанією Deutsche Gesellschaft the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Уряду Німеччини.

Проект надає технічну підтримку українським підприємствам, зокрема допомогу у проведенні енергоаудитів та розробці пілотних проектів 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 Проекту – аудиту інвестиційного типу згідно вимог стандарту ISO 50002, тип 3, який було завершено у березні 2020 року.

У рамках виконання проекту 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, чітко 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.



Передмова

За даними 2018 р., наведеними у Зеленій книзі¹, енергоємність ВВП України становить 0,238 кг нафтового еквіваленту на долар виробленої продукції (у цінах 2015 р.). Така цифра свідчить про те, що українська економіка є однією з найменш енергоефективних у світі. Енергоємність вітчизняного ВВП більш ніж вдвічі перевищує середньосвітовий показник, ніж у країн-сусідів (Польща, Чехія, Румунія). З огляду на залежність від імпорту ПЕР, скорочення споживання енергоресурсів у промисловому секторі та **підвищення** їх ефективного використання має бути одним з визначальних завдань поточної **енергетичної політики України**.

Тому, у співпраці з Урядом Німеччини, Німецьке товариство з міжнародного співробітництва (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) (GIZ) започаткувало проєкт «Енергоефективність у компаніях»² в Україні. Метою цієї роботи є підвищення ефективності підприємств та скорочення їхніх витрат на енергію, що допоможе зробити їх більш конкурентоспроможними на національному та міжнародному ринках. Очікується, що ці заходи дозволять зменшити викиди CO₂. Майже 100 промислових підприємств отримують від Проєкту експертну підтримку у визначенні, плануванні та впровадженні заходів з підвищення енергоефективності.

У вирішенні цих питань значну роль відіграє енергоаудит компаній. Розуміння сутності визначення енергетичного аудиту, як і розуміння особливостей його проведення, може бути різним для різних підприємств та енергоаудиторів. Енергоаудит охоплює детальний аналіз енергетичної ефективності підприємства, обладнання, систем(и) або процесу(ів). Він ґрунтується на відповідному вимірюванні та спостереженні за використанням енергії, енергоефективністю та енергоспоживанням. Енергетичні аудити плануються і проводяться в певних межах шляхом визначення пріоритетних можливостей щодо підвищення рівня енергоефективності, скорочення втрат енергії і отримання пов'язаних з цим екологічних вигод. В залежності від специфіки підприємства обсяг робіт з енергетичного аудиту, складність проведення енергетичних розрахунків, рівень деталізації та економічної оцінки

запропонованих заходів з енергоефективності можуть бути різними. Результати енергоаудиту оформлюються у вигляді звіту, який містить інформацію про поточний стан енерговикористання і енергоефективності, а також упорядковані рекомендації щодо підвищення рівня енергоефективності та їх фінансові вигоди.

Саме для висвітлення цих та багатьох інших питань, як організаційного, так і технічного характеру, що виникають під час проведення енергоаудитів, було підготовлено цей Посібник.

Цей Посібник є результатом узагальнення практичного досвіду національних експертів-енергоаудиторів, що провели близько 60 енергоаудитів промислових підприємств чотирьох галузей промисловості (хлібопекарської, молочної, машинобудівної та галузі неметалевих будівельних матеріалів), що виконувалися в межах реалізації в Україні Проєкту GIZ «Енергоефективність у компаніях». За результатами цих енергоаудитів запропоновано заходи з енергоефективності, завдяки реалізації яких можна загалом заощадити за рік близько 100 ГВт*год енергії та зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу у обсязі близько 17 600 т CO_{2 екв}.

У даному Посібнику розглянуто типи енергоаудиту та показано їх відмінність між собою, а також описано стандартизований підхід до організації та проведення енергетичного аудиту промислових підприємств.

Посібник надає загальне розуміння порядку організації робіт та послідовності проведення енергетичного аудиту промислових підприємств. В ньому використано терміни, визначені відповідно до чинного законодавства України, а також у стандартах серії ISO 50000.

Процес енергоаудиту в цьому Посібнику представлений у вигляді простої хронологічної послідовності дій, але він не виключає можливості використання повторних ітерацій певних кроків. Цей Посібник дозволяє застосовувати різні підходи в залежності від характеру та обсягу робіт, меж та цілей аудиту. Він орієнтований на те, щоб гармонізувати загальні аспекти проведення енергетичного аудиту з метою підвищення його об'єктивності й прозорості.

Цей посібник:

а) описує:

- мету та основні завдання енергетичного аудиту;
- основні етапи та загальний порядок проведення енергетичного аудиту;
- узагальнений порядок збирання та оброблення інформації про об'єкт енергетичного аудиту;
- узагальнені принципи виконання необхідних вимірювань енергетичних параметрів обладнання під час проведення енергетичного аудиту;
- методичні підходи щодо складання та аналізування паливно-енергетичних балансів промислових підприємств;
- процедуру розроблення заходів з енергоефективності, їх техніко-економічного обґрунтування та оцінення їх впливу на довкілля;

б) роз'яснює:

- як встановити межі, а також характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту;
- як проводити планування робіт з енергетичного аудиту;
- що треба обговорювати аудиторам з топ-менеджментом промислового підприємства під час першої та заключної нарад;
- що має робити енергоаудитор під час відвідування виробничого майданчику промислового підприємства;
- вимоги до складання звіту за результатами енергетичного аудиту промислових підприємств.

Крім того, Посібник доповнено прикладами виконання типових енергетичних розрахунків, а також найбільш вживаними формами інструментів енергоаудитора, що застосовуються під час збирання та аналізування інформації про об'єкт енергетичного аудиту. Ці інструменти були апробовані під час практичної діяльності авторів Посібника під час виконання значної кількості енергоаудитів підприємств різних галузей промисловості.

Цей Посібник буде корисним як досвідченим енергоаудиторам, так і початківцям у їх діяльності під час проведення енергетичних аудитів промислових підприємств.

¹ Зелена книга «Стимулювання промислових підприємств до енергоефективності та захисту клімату».

² <https://www.giz.de/en/worldwide/66605.html>

1. Загальні положення



Згідно з ISO 50002:

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.

Тобто, енергетичний аудит – це оцінка енергетичних характеристик об'єкта аудиту. При цьому аналізуються енергетичні потоки в будівлі, процесі чи системі, щоб зменшити кількість енергії, що надходить у систему, зберігаючи або покращуючи технологічні умови, комфорт, здоров'я та безпеку людини.

Об'єктами енергетичного аудиту є:

- окремі підрозділи промислового підприємства;
- технологічні процеси основних і допоміжних виробництв;
- суттєві (енергоємні) споживачі ПЕР промислового підприємства;
- системи енергозабезпечення промислового підприємства;
- будівлі та споруди;
- система обліку та контролю використання ПЕР;
- система енергетичного менеджменту тощо.

Суб'єктами енергетичного аудиту є:

замовник та виконавець енергетичного аудиту. В провідних країнах світу діяльність у сфері енергетичного аудиту промислових підприємств регламентується міжнародним стандартом ISO 50002:2014, який вже гармонізовано в Україні у вигляді національного стандарту ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення».

Цей стандарт базується на передовій практиці енергетичного аудиту. Він охоплює мінімальний набір вимог до етапів розроблення технічного завдання, виконання робіт, затвердження результатів та завершення робіт з енергоаудиту. Стандарт дозволяє застосовувати різні підходи в залежності від характеру та обсягу робіт, меж та цілей аудиту.

Рівень деталізації, тривалість енергоаудиту та його вартість визначається **типом аудиту**.

За обсягом робіт та рівнем деталізації енергетичні аудити поділяють на 3 типи³ :

- **Тип 1** або експрес-енергоаудит передбачає мінімальний обсяг робіт, який дає загальне уявлення про напрямки та потенціал енергозбереження на об'єкті енергетичного аудиту. Як правило, експрес аудит обмежується аналізом енергетичних та технологічних даних та візуальним оглядом стану об'єкта енергетичного аудиту. Підходить для мікро- та малих підприємств.
- **Тип 2** або детальний енергоаудит передбачає деталізоване обстеження об'єкта енергетичного аудиту із проведенням (за потреби) вимірів експлуатаційних та енергетичних показників окремих систем чи технологічних процесів. Забезпечує детальне розуміння про ефективність кожного суттєвого споживача енергії та містить техніко-економічний аналіз запропонованих енергоаудитором організаційних та технологічних рішень з коротко-, середньо- та довгостроковим періодом окупності. Як правило, такий енергоаудит підходить для середніх підприємств.
- **Тип 3** або комплексний енергоаудит з поглибленою техніко-економічною оцінкою (аудит інвестиційного рівня) передбачає комплексне обстеження об'єкта аудиту зі значним використанням вимірювальних приладів. Забезпечує глибоке та детальне розуміння наявних проблем ефективності кожного суттєвого споживача енергії, його середніх і граничних витрат на одиницю продукції. Передбачає підготовку об'ємного аналітичного звіту із визначенням широкого спектру заходів з енергоефективності та доцільністю їх впровадження з техніко-економічної точки зору. Актуальний для великих підприємств, оскільки потребує залучення значної участі персоналу підприємства до процесу проведення енергоаудиту.

Таблиця 1.1 – Порівняння типів енергоаудиту за точністю результатів, вартістю робіт та їх тривалістю

Тип аудиту	Масштаб підприємства	Результати	Вартість аудиту	Тривалість аудиту
Тип 1	Мікро- або мале	Організаційні та типові заходи з енергоефективності з укрупненою оцінкою їх ефекту. Низька точність оцінки, що базується виключно на спостереженнях та статистичних даних	Низька	Низька 1–5 днів
Тип 2	Середнє	Організаційні, типові та специфічні заходи з енергоефективності зі стандартною техніко-економічною оцінкою їх ефекту. Середня точність оцінки, що базується як на спостереженнях та статистичних даних, так і на проведенні окремих видів вимірювань	Середня або висока	Середня або висока 3–6 місяців (для підприємств без сезонної залежності) 6–12 місяців (для підприємств із сезонною залежністю)
Тип 3	Велике	Розроблення проєктів з енергозбереження з технічною та фінансовою оцінкою їх ефекту. Найвища точність оцінки, що базується на проведенні значної кількості вимірювань, моделювань тощо	Середня або висока	Середня або висока До 6 місяців (для проєктів з енергозбереження без сезонної залежності) До 12 місяців (для проєктів з енергозбереження з сезонною залежністю)

³ ISO 50002 <https://www.iso.org/standard/60088.html>



Згідно з ISO 50002:

Відповідний рівень деталізації, необхідної для проведення аудиту, залежить від об'єкта аудиту, видів використання енергії та споживання енергії, а також від ресурсів, доступних для аудиту. На етапі попередньої підготовки до проведення аудиту замовнику та виконавцю слід встановити наявність даних для енергоаудиту та визначити, чи достатньо цих даних для проведення аудиту більш детального типу. Якщо потрібно провести додаткове вимірювання, замовнику та виконавцю слід, як правило, узгодити ступінь необхідних вимірювань, перш ніж приступати до аудиту. При проведенні аудитів 2-го типу або вище замовнику та виконавцю доцільно узгодити поточний або базовий тариф, який буде використано для фінансового аналізу.

В залежності від потреб промислового підприємства, можна обрати один або більше з наступних типів аудиту. В додатку А (таблиця А.1) ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення» наведено порівняльну таблицю з описом основних відмінностей вказаних типів аудиту.

Типи аудиту, наведені в Таблиці А.1 (ДСТУ ISO 50002:2016), не є абсолютними вимогами. Підприємство може регулювати рівень деталізації енергоаудиту між типом 1 і типом 3 відповідно до потреб самого підприємства. Тип 1 представляє мінімальний рівень деталізації, яка може бути відповідним чином названа енергоаудитом.

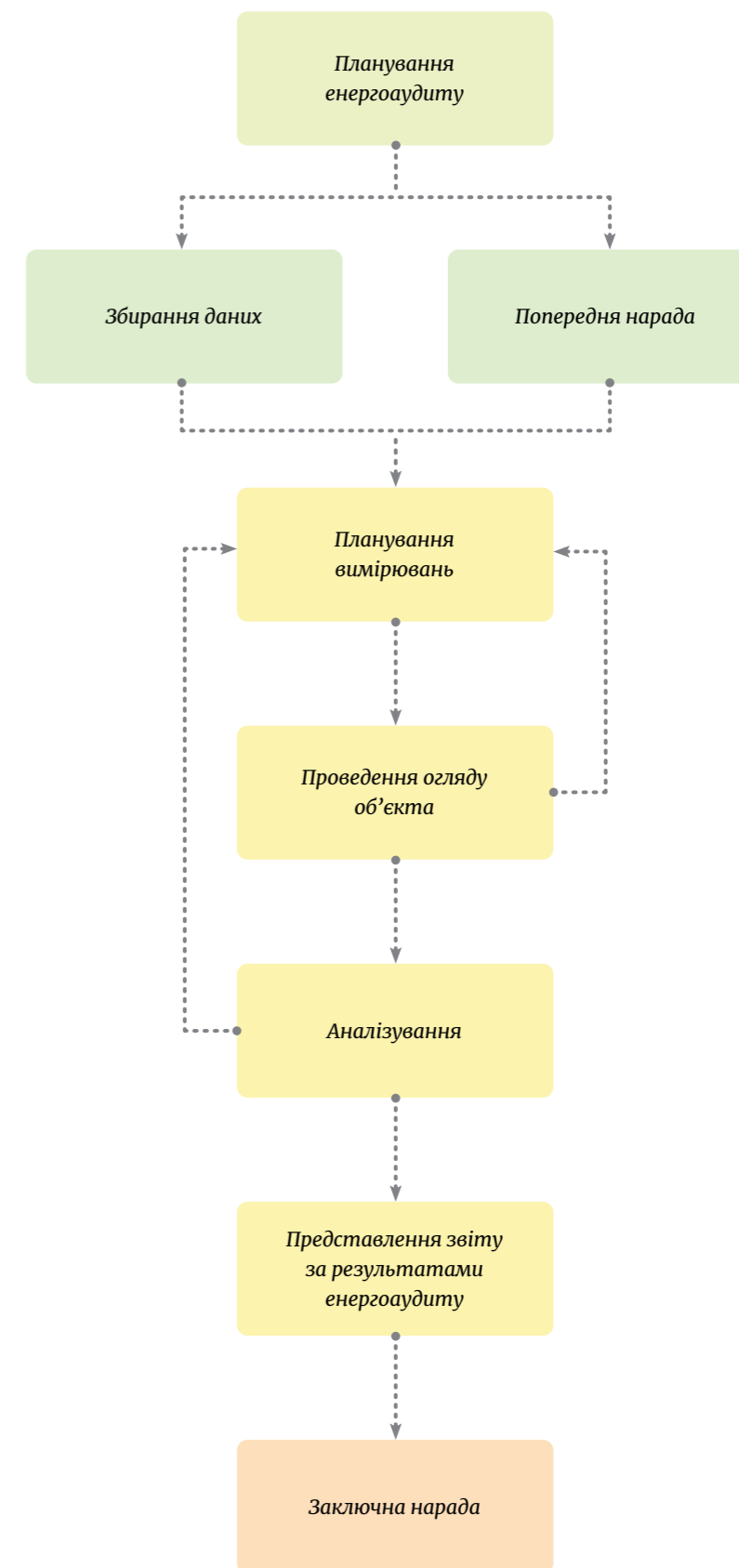
Доцільно зазначити такі ключові моменти під час вибору певного типу енергоаудиту:

- Аудит першого типу проводиться завжди!
- Енергоаудит 1-го типу потребує найменших витрат на його проведення, і зазвичай його результати використовуються для планування більш детального аудиту всього підприємства або його окремих структурних підрозділів, установок тощо (як це визначено за результатами експрес-аудиту).
- Більш детальні аудити не доцільно проводити до тих пір, поки керівництво підприємства не буде впевнене в своїх намірах реалізовувати запропоновані заходи з енергоефективності (або певну їх частину), що відповідають узгодженим критеріям інвестиційної привабливості.

Процес енергетичного аудиту, відповідно до ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT), складається з наступних етапів (див. рисунок 1.1):

- 1) планування енергоаудиту;
- 2) попередня нарада і збирання даних;
- 3) планування вимірювань;
- 4) проведення огляду об'єкта;
- 5) аналізування;
- 6) представлення звіту за результатами енергоаудиту;
- 7) заключна нарада.

Рисунок 1.1 –
Блок-схема процесу енергетичного аудиту (у відповідності до положень ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT))



Детальний опис всіх етапів енергетичного аудиту наведено в подальших розділах цього Посібника.

Нижче в таблиці 1.2 наведено узагальнену інформацію щодо тривалості кожного з етапів енергоаудиту в залежності від типу аудиту.

Таблиця 1.2 –
Узагальнена інформація
щодо тривалості кожного
з етапів енергоаудиту
(у відсотках) в залежності
від типу аудиту

Етап робіт	Тривалість етапу робіт (у відсотках) в залежності від типу енергоаудиту		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Планування енергоаудиту	10	10	5
Попередня нарада і збирання даних	30	25	15
Планування вимірювань	0	10	25
Проведення огляду об'єкта	25	15	5
Аналізування	20	30	30
Представлення звіту	5	5	10
Заключна нарада	10	5	10

Крім стандарту ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT), в якому описано загальні принципи енергоаудиту, слід користуватися відповідними методиками, які детально описують послідовність виконання певного етапу робіт чи набору завдань під час проведення енергоаудиту. Це можуть бути як типові методики (наприклад, Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту»⁴), що можуть застосовуватися для будь-якого підприємства, так і галузеві, що, на відміну від типових, враховують специфіку конкретної галузі промисловості. Прикладами галузевих методик проведення енергоаудиту є:

- Методика проведення енергетичного аудиту локомотивного депо об'єктів Укрзалізниці;
- Порядок організації проведення енергетичного аудиту об'єктів Укрзалізниці;
- ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель;
- Методика проведення енергетичного аудиту об'єктів ЖКГ;
- Методика проведення енергетичних обстежень (енергоаудиту) підприємств і організацій вугільної галузі тощо.

Для досвідчених енергоаудиторських компаній притаманна наявність власних корпоративних методик проведення енергоаудиту, які базуються на вимогах чинного законодавства, міжнародного стандарту ISO 50002:2014, а також тих вимогах, що діють в самій компанії. Сюди відносяться, наприклад:

1) Методики проведення вимірювань:

- показників якості газоподібного (твердого) палива паровими (водогрійними) котлами;
- показників якості електроенергії;
- кількості спожитої електроенергії;
- витрат палива теплогенерувальною установкою;

- витрати води в напірних і безнапірних потоках;
- показників якості повітря в приміщеннях;
- повітрообміну в приміщеннях;
- освітленості в приміщеннях;
- температури тепловипромінюючих поверхонь та їх тепловізійного обстеження;
- електричних параметрів електроустановок тощо.

2) Методики візуального обстеження:

- стану огорожувальних конструкцій будівель та споруд;
- насосних станцій та гідротехнічних споруд;
- інженерних систем будівлі;
- теплогенерувальних установок;
- теплотрас тощо.

3) Методики розрахунку, оцінки та/або аналізу:

- складових балансу споживання палива, електро- та теплоенергії на підприємстві;
- показників енергоефективності окремих енергоспоживаючих установок, технологічних ліній, процесів та підприємства в цілому;
- потенціалу енергозбереження окремих енергоспоживаючих установок, технологічних ліній, процесів та підприємства в цілому тощо.

Після підготовки фінальної редакції звіту проводиться **представлення звіту за результатами енергоаудиту** представникам та топ-менеджменту промислового підприємства, що презентується на **заключній нараді**.

Термін проведення енергетичного аудиту залежить від типу та об'єкта енергетичного аудиту, розмірів підприємства, величини споживання ПЕР підприємством. Термін проведення енергетичного аудиту може бути скоригований до узгоджених із замовником термінів за рахунок збільшення кількості енергоаудиторів або зменшення обсягу робіт.

Енергоаудит може сприяти проведенню енергетичного аналізу і може полегшити моніторинг, вимірювання та аналіз, як це описано в ISO 50001, або може використовуватись незалежно.

⁴ <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0056656-10>

2. Підготовка до проведення енергетичного аудиту

2.1 Мета проведення енергоаудиту

Роботи з підготовки до проведення енергетичного аудиту здійснюються замовником до укладання договору з виконавцем. Вони охоплюють:

- 1) Визначення мети проведення енергоаудиту;
- 2) Визначення меж, характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту;
- 3) Розроблення технічного завдання;
- 4) Визначення кваліфікаційних вимог до виконавця;
- 5) Підготовку тендерної документації.

Для того, щоб енергоаудит був результативним, а також щоб мати можливість оцінити результативність цього аудиту необхідно сформулювати мету (цілі) енергетичного аудиту промислового підприємства.



Згідно з ISO 50002:

Мета енергетичного аудиту – мета, узгоджена між організацією⁵ та енергетичним аудитором.

Зазвичай метою проведення енергетичного аудиту є сприяння керівництву промислового підприємства у визначенні стану споживання ПЕР, потенціалу енергозбереження, джерел втрат та обсягу нераціонального використання ПЕР виробничими і допоміжними підрозділами, технологічними процесами та окремими споживачами, у розробленні енергоощадних заходів, їх техніко-економічному оцінюванню та оцінюванню їх впливу на довкілля.

Цілі енергетичного аудиту можуть бути пов'язаними з енергетичними цілями промислового підприємства. Енергетичні цілі можна використовувати для підвищення будь-якого

⁵ В стандарті ISO 50002 замість термінів «компанія», «підприємство» тощо застосовано узагальнений термін «організація».

2.2 Визначення меж, характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту



аспекту рівня досягнутої/досяжної енергоефективності промислового підприємства, відповідно до зобов'язань, прийнятих в його енергетичній політиці.

Відповідно до SMART-концепції формування цілей, цілі повинні бути конкретними, вимірюваними, досяжними, актуальними та бути обмеженими в часі. Цілі часто виражають у таких показниках:

- 1) процентного підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності використання енергії;
- 2) поліпшення у споживанні енергії;
- 3) іншого показника енергоефективності.

Цілі часто можуть бути пов'язані з конкретним обладнанням, системами чи процесами.

Приклад. Мета енергетичного аудиту – сформулювати комплекс заходів з енергоефективності, що дозволить зменшити на 5 % в 2020 році обсяг річного споживання електроенергії компресорною станцією в порівнянні з її базовим рівнем енергоспоживання.

Чітке визначення меж, характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту дозволяє енергоаудиторам зосередити свої зусилля і ресурси на підвищенні рівня досягнутої/досяжної енергоефективності саме тих систем та процесів, що є найбільш критичними з точки зору підвищення рівня енергоефективності.

Згідно з ISO 50002:

Межі енергоаудиту (boundary) – фізичні межі або межі за місцем розташування виробничого майданчику, та/або організаційні межі згідно з тим, як їх визначила організація.

Примітка. Енергоаудит може охоплювати одну або декілька меж.

Приклад визначення фізичних меж енергоаудиту показано на рисунку 2.1.



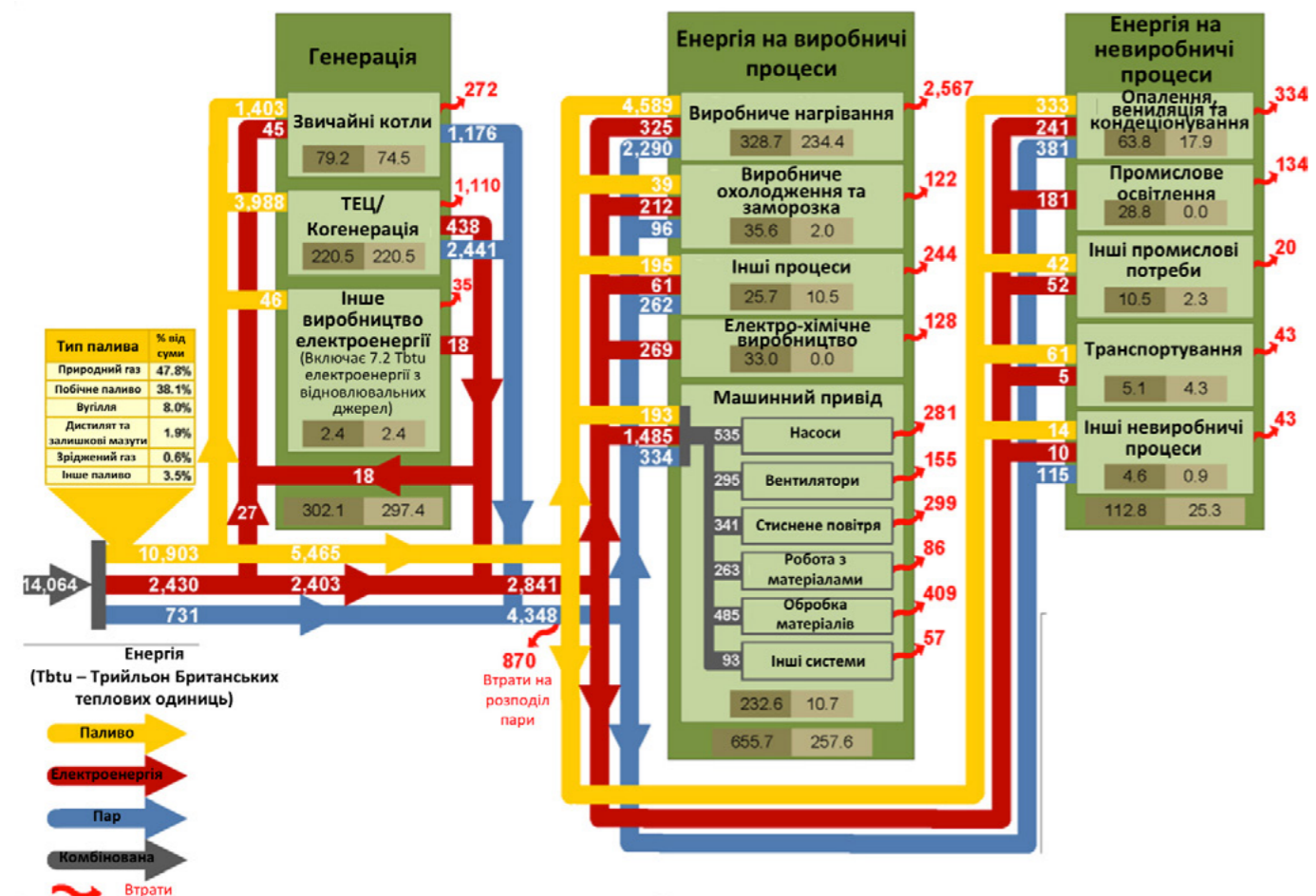
Рисунок 2.1 –
Приклад визначення фізичних
меж енергоаудиту

Зазвичай в межах енергоаудиту розглядаються всі або більшість суттєвих споживачів енергії. Згідно з ISO 50001, «суттєвим» обсягом енергоспоживання є 80 % від загального його обсягу. Тому, зазвичай розглядаються всі енергоємні групи споживачів, які разом споживають 80 % певного виду енергії (газ, теплова енергія, електроенергія тощо). При цьому, дрібні окремі споживачі, що разом не досягають рівня споживання 20 %, не розглядаються.

Рисунок 2.2 –
Приклад визначення системних меж енергоаудиту (за процесами або видами споживаних ПЕР)

Приклад. Енергоспоживання виробничим майданчиком в цілому, а також всіма системами, що використовують енергію, котельня, автопарк.

Приклад визначення системних меж енергоаудиту наведено на рисунку 2.2.



Для визначення характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту формулюють перелік завдань, що мають бути виконані під час аудиту, а також об'єктів, на яких це має бути зроблено.

Одним із головних завдань енергоаудиту є визначення базового рівня енергоспоживання для порівняння зі споживанням майбутніх звітних періодів, що дозволить за встановленими показниками енергоефективності порівнювати ефективність споживання ПЕР та формувати стратегію покращення показників енергоефективності підприємства.

Також завданнями проведення енергетичного аудиту можуть бути:

- визначення загального стану підприємства, його основних підрозділів та технологічних процесів як споживачів ПЕР;
- огляд умов договорів щодо енергопостачання підприємства із визначенням умов надійності постачання та основних ризиків енергопостачання;
- оцінка доцільності впровадження локальних, відновлюваних (наприклад, когенерація, теплові насоси, сонячні колектори та фотовольтаїчні системи тощо) та вторинних (наприклад, рекуперація тепла димових газів, рекуперація теплоти компресорів тощо) джерел енергії;

- оцінка стану систем енергомоніторингу та обліку енергоспоживання з визначенням необхідного рівня їх деталізації та точності;
- аналізування балансів споживання ПЕР окремо по кожному їх виду;
- аналізування балансів споживання ПЕР в енергоємних технологічних установках, виробничих процесах та підрозділах;
- аналізування втрат ПЕР на об'єктах енергетичного аудиту;
- аналізування частки витрат коштів на ПЕР у собівартості продукції;
- оцінка потенціалу енергозбереження об'єктів енергетичного аудиту;
- оцінка рівня ефективності використання ПЕР;
- оцінка ефективності функціонування системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) (за наявності в енергоаудиторській групі сертифікованого аудитора СЕНМ, рівень компетентності якого відповідає вимогам п. 6 ДСТУ ISO 50003:2016⁶);
- розроблення рекомендацій щодо впровадження заходів з енергоефективності з оцінюванням обсягів енергозбереження від реалізації запропонованих заходів;
- проведення аналізу впливу запропонованих до реалізації заходів з енергоефективності на структуру прогнозних витрат промислового підприємства на ПЕР та умови договорів про їх закупівлю;
- проведення оцінки фінансових заощаджень від реалізації запропонованих заходів з енергоефективності із зазначенням основних припущень щодо цін на енергоносії та інших відповідних даних (таких як темпи інфляції, курси валют тощо), що мають вплив на обсяг фінансових заощаджень;
- проведення аналізу грошових потоків протягом принаймні терміну життя запропонованих заходів з енергоефективності із зазначенням дохідності та чистої поточної вартості для кожного окремого заходу;
- встановлення фінансових та енергетичних показників, які слід контролювати протягом терміну життя проекту з енергоефективності;
- план реалізації проектів з енергоефективності, включаючи терміни та орієнтовну вартість кожного компонента та кошториси витрат.

В залежності від того, наскільки деталізовано цей перелік конкретних завдань, а також об'єктів, на яких вони мають бути виконані, залежить точність оцінки енергоаудиторами вартості робіт з енергоаудиту. Крім того, чим детальніше сформульовані завдання та перелік об'єктів енергоаудиту, тим простіше буде виконавцю здійснювати цю роботу, а замовнику потім – оцінювати відповідність отриманих результатів його очікуванням.

Примітка: У випадках, коли замовник енергоаудиту до початку енергоаудиту не в змозі сформулювати конкретну мету аудиту, яка б відповідала SMART-концепції, виконавцю, доцільно обговорити це з топ-менеджментом підприємства та дійти згоди за такими питаннями:

- 1) визначення причини проведення енергоаудиту;
- 2) визначення тих завдань з енергоаудиту, які буде виконувати енергетичний аудитор, і тих, за які нестиме відповідальність підприємство.

2.3 Показники якості енергетичного аудиту та кваліфікаційні вимоги до виконавців робіт

Зважаючи на те, що такий вид діяльності, як енергоаудит для промислових підприємств, не ліцензується, а також відсутні затверджені кваліфікаційні вимоги до енергоаудиторів промислових підприємств, ключову роль для замовника під час вибору виконавця відіграє лише вартість робіт. Тому, в цій діяльності поряд з досвідченими фахівцями, що мають суттєвий досвід в проведенні енергоаудитів промислових підприємств, здійснюють діяльність також і початківці або навіть представники компаній-постачальників певного енергоспоживаючого обладнання, що, в більшості випадків мають на меті не визначити всі проблемні (слабкі) місця промислового підприємства з точки зору енергоефективності, а просто продати свою продукцію. В таких випадках дуже часто компанії пропонують провести аудит навіть безкоштовно. Звичайно, що і якість такого енергоаудиту дуже часто має відповідний рівень, а визначені планові показники інвестиційної привабливості запропонованих

⁶ ДСТУ ISO 50003:2016 (ISO 50003:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Вимоги до органів, які проводять аудит і сертифікацію систем енергетичного менеджменту

проектів з енергоефективності наведені значно ліпші, а ніж вони будуть в подальшому за фактом реалізації проекту.

Для оцінки якості робіт з енергетичного аудиту доцільно застосовувати певні показники, як, наприклад, ті, що представлені на рисунку 2.3. За необхідності ці показники можуть бути додані до договору на проведення енергоаудиту як критерії оцінки якості виконуваних робіт. Це дозволить підвищити якість проведення аудиту, а також забезпечити більш чітке порозуміння між замовником та виконавцем енергоаудиту в частині очікувань замовника щодо отриманих результатів по завершенню енергоаудиту.

Рисунок 2.3 – Показники якості енергетичного аудиту промислових підприємств



Одним з основних принципів, на якому базується енергоаудиторська діяльність, є компетентність та об'єктивність виконавців енергетичного аудиту під час виконання ними енергоаудиторської діяльності. Тобто, для дотримання цього принципу, енергоаудитори повинні мати відповідний рівень кваліфікації, як в частині фахової освіти, так і в частині необхідного досвіду роботи.

Згідно з ISO 50002:

Енергетичний аудитор повинен мати знання та навички, необхідні для здійснення визначених характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту. Про компетентність енергоаудитора можуть свідчити:

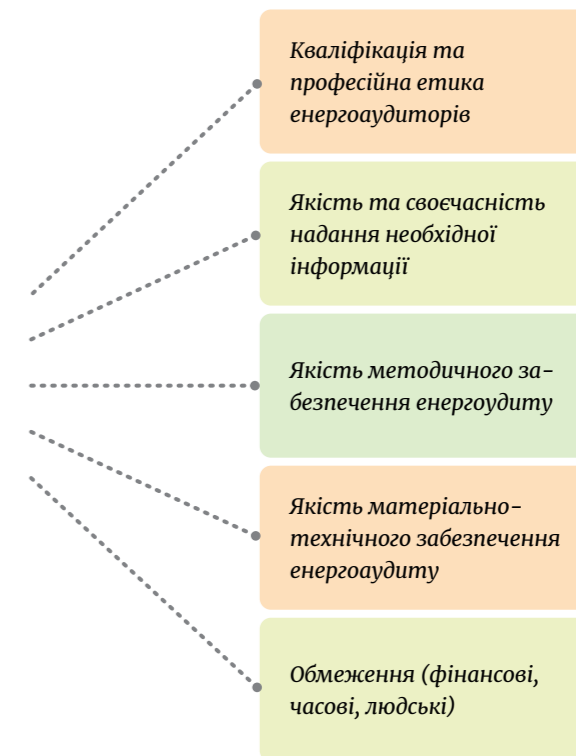


- 1) відповідний рівень освіти, навичок, досвіду та/або підготовки з урахуванням місцевих або національних керівних принципів і рекомендацій;
- 2) відповідні технічні навички, специфічні для використання енергії, характеру робіт, меж і мети енергоаудиту;
- 3) знання відповідних законодавчих та інших вимог;
- 4) знання про види енергії, яку використовують та яка підлягає обстеженню;
- 5) знання вимог стандарту ISO 50002, національних та місцевих стандартів енергоаудиту;
- 6) наявність (для члена команди, якого призначено провідним енергоаудитором) навичок з управління та керування командою з енергоаудиту: щоб управляти командою, провідному аудитору слід мати управлінські, професійні та лідерські навички.

На якісні результати енергоаудиту, окрім кваліфікації аудиторів, можуть вплинути також і інші чинники (як це показано на рисунку 2.4).

Рисунок 2.4 – Чинники, що впливають на якість результатів енергетичного аудиту промислових підприємств

ЯКІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ



Якість результатів енергетичного аудиту залежить не лише від виконавця, але й від замовника.

2.4 Використання оціночного листа для оцінювання відповідності звіту енергоаудиту загальним вимогам стандарту ISO 50002

Таблиця 2.1 – Загальна інформація

Для оцінки відповідності звіту з енергетичного аудиту вимогам стандарту ДСТУ ISO 50002:2016, питанням, узгодженим з організацією-замовником, для проведення самооцінки результатів енергоаудиту виконавцем робіт, а також при плануванні обстеження промислового підприємства дуже корисним є використання оціночного листа, який складається з двох складових. Перша складова оціночного листа містить загальну інформацію щодо об'єкта енергоаудиту та виконавця аудиту, а також містить загальний висновок експерта, що оцінює звіт з енергетичного аудиту на відповідність вимогам стандарту ISO 50002 та технічному завданню на проведення енергоаудиту. Приклад цієї складової оціночного листа наведено в таблиці 2.1.

Назва та місцезнаходження підприємства	_____
Галузь промисловості	_____
Назва компанії-енергоаудитора	_____
Контактна інформація компанії-енергоаудитора	_____
Прізвище та ім'я експерта, що здійснює оцінку відповідності звіту	_____
Контактна інформація експерта	_____
Дата початку енергоаудиту	_____
Дата подання звіту на оцінювання	_____
Висновок щодо відповідності звіту	Відповідає / Не відповідає

Крім загальної інформації оціночний лист також містить перелік питань, які повинні бути відображені у звіті, а також оцінку якості наповнення відповідних розділів звіту, що стосуються цих питань. Ця інформація є частковими критеріями оцінювання. Кожен критерій оцінювання ототожнено з відповідним структурним підрозділом звіту і він може мати тільки один з вказаних статусів:

- **Не наведено (НН).** У випадку не заповнення інформації в одному з структурних підрозділів звіту компанія-енергоаудитор повинна пояснити причину.
- **Необхідне доопрацювання (НД).** Прапорець з позначкою вказує на те, що елемент надано у звіті, але потрібні додаткові зусилля для його вдосконалення.
- **Достатньо і прийнятно (ДП).** Прапорець з позначкою вказує на те, що відповідний структурний підрозділ звіту виконано на достатньому якісному рівні і його прийнято.

Приклад критеріїв оцінювання якості звіту з енергетичного аудиту наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Критерії оцінювання якості звіту з енергетичного аудиту

Назва критерію оцінювання	НН	НД	ДП
Зміст	●	●	○
Перелік таблиць	●	●	○
Перелік рисунків	●	●	○

Продовження таблиці 2..2

Назва критерію оцінювання	НН	НД	ДП
Скорочення	●	●	○
Розділ 1. Резюме			
1.1 Короткий опис процесу енергоаудиту та основних висновків, а також опис пріоритетності впровадження ЗЕЕ з урахуванням встановлених аудитором критеріїв	●	●	○
1.2 Зведена таблиця потенційних заходів з підвищення енергоефективності	●	●	○
Розділ 2. Вступ			
2.1. Короткий опис енергоаудиторської групи	●	●	○
2.2. Короткий опис обстежуваного підприємства, включаючи коротку характеристику виробництва, схему підприємства	●	●	○
2.3. Опис енергоаудиту			
2.3.1. Визначення мети енергетичного аудиту	●	●	○
2.3.2. Визначення обсягу та меж енергетичного аудиту	●	●	○
2.3.3. Опис методики енергетичного аудиту	●	●	○
2.3.4. Короткий опис вимірювань та обстежень, що було проведено на об'єкті	●	●	○
Розділ 3. Докладна інформація про енергоаудит			
3.1. Аналіз історичних даних			
Щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами (за останні 3 роки)	●	●	○
Щомісячний попит на енергоносії (обсяг їх використання та вартість за останні 3 роки)	●	●	○
Тарифи на енергоносії за останні 3 роки	●	○	●
Актуальний добовий графік електричного навантаження	●	●	○
3.2. Результати вимірювань			
Аналіз ефективності спалювання палива (котлами, печами, теплогенераторами)	●	○	●
Аналіз стану теплоізоляції котлів та печей	○	●	●
Аналіз стану теплоізоляції систем розподілу пари та гарячої води	●	●	○
Аналіз стану радіаторів опалення та теплоізоляції будівель (якщо виконання цього завдання є доцільним і планується подальша модернізація радіаторів опалення та/або теплоізоляції будівель)	●	●	○
Оцінка витрат та втрат електроенергії в системі електропостачання	●	●	○
Виявлення витіків повітря та пари	●	●	○
Графіки електричних навантажень електричних печей, повітряних компресорів, холодильних машин, вентиляторів, насосів та ін.	○	●	●
Результати вимірювання освітлення (рівень освітленості) (якщо виконання цього завдання є доцільним і планується подальша системи освітлення)	●	○	●
3.3. Аналіз ефективності використання енергії			
Енергетичний баланс підприємства, узгоджений з даними вимірювань та річними звітними даними, включаючи сезонні або виробничі коливання (за необхідності)	●	○	●

Продовження таблиці 2..2

Назва критерію оцінювання	НН	НД	ДП
Визначення базової лінії споживання енергії	●	●	○
Визначення основних показників енергетичної ефективності на рівні підприємства/ системи/процесу або установки, де застосовно	○	●	●
Перелік суттєвих споживачів газу	●	○	●
Перелік суттєвих споживачів електричної енергії	●	○	●
Перелік суттєвих споживачів теплової енергії	○	●	●
Перелік суттєвих споживачів інших енергоресурсів	○	●	●
Перелік основних факторів та персоналу, що впливають на енергоспоживання	○	●	●
Коротка характеристика та оцінка дієвості обладнання для вимірювання та моніторингу енергоспоживання	●	●	○
Коротка характеристика та оцінка дієвості існуючих процедур управління та аналізу енергетичних даних	●	●	○
3.3.1. Аналіз ефективності використання енергії електричними генераторами та в системі електропостачання	○	●	●
3.3.2. Аналіз ефективності використання енергії у котельні та системі розподілу тепла	●	○	●
3.3.3. Аналіз ефективності використання енергії у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря	○	●	●
3.3.4. Аналіз ефективності використання енергії електричними двигунами	●	○	●
3.3.5. Аналіз ефективності використання енергії системою опалення, вентиляції та кондиціювання	●	○	●
3.3.6. Аналіз ефективності використання енергії системою освітлення	●	●	○
3.3.7. Аналіз ефективності використання енергії системою технологічного охолодження	●	●	○
3.3.8. Аналіз ефективності використання енергії процесом 1	●	●	○
3.3.9. Аналіз ефективності використання енергії процесом 2	●	●	○
3.3.10. Аналіз ефективності використання енергії процесом 3	○	●	●
3.4. Короткий опис попередньої діяльності підприємства у сфері підвищення енергоефективності. Оцінка стану енергетичного менеджменту на об'єкті енергетичного аудиту	●	●	○
Розділ 4. Заходи з енергоефективності (ЗЕЕ)			
4.1. ЗЕЕ в системі власної генерації електроенергії та системі електропостачання			
Оцінка варіантів проєктування та конфігурації для вирішення системних потреб	○	●	●
Оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності, пов'язаної із змінами обладнання, системи чи технології	○	●	●
Розрахунок економії та ефектів (включаючи неенергетичні ефекти)	○	●	●
Розрахунок простого терміну окупності	○	●	●
Розрахунок NPV	○	●	●
Розрахунок IRR	○	●	●
4.2. ЗЕЕ в котельні та системі розподілу тепла			
Оцінка варіантів проєктування та конфігурації для вирішення системних потреб	○	●	●

Продовження таблиці 2..2

Назва критерію оцінювання	НН	НД	ДП
Оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності, пов'язаної із змінами обладнання, системи чи технології	●	○	●
Розрахунок економії та ефектів (включаючи неенергетичні ефекти)	●	○	●
Розрахунок простого терміну окупності	●	●	○
Розрахунок NPV	●	●	○
Розрахунок IRR	●	●	○
4.3. ЗЕЕ у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря	○	●	●
4.4. ЗЕЕ в електричних двигунах	●	●	○
4.5. ЗЕЕ в системах опалення, вентиляції та кондиціювання	●	●	○
4.6. ЗЕЕ в системі освітлення	●	●	○
4.7. ЗЕЕ в системі технологічного охолодження	●	○	●
4.8. ЗЕЕ в виробничому процесі 1	○	●	●
4.9. ЗЕЕ в виробничому процесі 2	○	●	●
4.10. ЗЕЕ в виробничому процесі 3	○	●	●
4.11. ЗЕЕ з впровадження або удосконалення системи енергетичного менеджменту	○	●	●
Інше	●	●	●
Розділ 5. Резюме заходів з енергоефективності			
5.1. Короткострокові заходи	●	●	○
5.2. Середньострокові заходи	●	●	○
5.3. Довгострокові заходи	●	●	○
Розділ 6. Висновки і рекомендації			
Короткий сумарний опис проведеної роботи, сумарний потенціал підвищення енергоефективності, а також план дій щодо підвищення енергоефективності	●	●	○
Додатки			
Додаток 1. Протокол першої зустрічі із погодженням меж та обсягу енергоаудиту	○	●	●
Додаток 2. Опитувальник для підготовки до енергоаудиту	●	●	○
Додаток 3. Протоколи вимірювань, додаткові фото, інше	●	●	○
***	●	●	○

Методологія оцінки та перелік критеріїв оцінювання, наведених у таблиці 2.2, відповідають вимогам національного стандарту України ДСТУ ISO 50002:2016 щодо проведення енергетичних аудитів типу 2.

Цей оціночний лист було створено для оцінки якості складання звітів з енергетичного аудиту підприємств одного з чотирьох секторів промисловості (хлібопекарської, молочної, машинобудівної та неметалевих будівельних матеріалів) в рамках проєкту «Консультації підприємств щодо енергоефективності», який виконується на замовлення Уряду Німеччини Німецьким товариством міжнародного співробітництва Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку (BMZ) в рамках Міжнародної Ініціативи з питань зміни Клімату.

2.5 Підготовка технічного завдання на виконання робіт з енергетичного аудиту

Детальний перелік завдань зазвичай формує замовник енергетичного аудиту у вигляді технічного завдання (ТЗ) на ці роботи. Технічне завдання має розкривати такі питання:

- мета енергоаудиту;
- перелік об'єктів енергоаудиту (межі);
- перелік завдань (характер та обсяг робіт);
- етапи виконання робіт та їх очікуваний термін виконання;
- перелік очікуваних результатів роботи та процедура їх оцінювання замовником;
- форма звітування;
- нормативно-методичне забезпечення виконання робіт.

Приклад типового ТЗ на виконання робіт з енергоаудиту промислового підприємства наведено у Додатку В.

Додатково в ТЗ можуть бути визначені кваліфікаційні вимоги до виконавця робіт. Однак, зазвичай ці вимоги містяться окремим розділом в тендерній документації на виконання робіт з енергоаудиту.

2.6 Вибір виконавця робіт з енергетичного аудиту

Зазвичай вибір потенційного виконавця здійснюється на основі тендерних процедур, які визначаються замовником. За бажанням замовника виконавець енергоаудиту може визначитися шляхом відкритого тендеру, що проводиться на загальнодоступних тендерних майданчиках, таких як, наприклад, <https://prozorro.gov.ua/>, так і закритого тендеру, що проводиться на електронних майданчиках компаній або корпорацій (наприклад, <https://tender.kernel.ua>, <https://tenders.dtek.com/>, <http://astarta.aps-tender.com/>).

Більшість електронних тендерних майданчиків мають систему автоматичної розсилки (сповіщення) потенційних виконавців про появу відповідного тендеру. Однак, для цього виконавець має бути зареєстрованим на подібному майданчику. Така реєстрація на деяких майданчиках є певним фільтром для попереднього відсіювання учасників (компаній), які не відповідають загальним вимогам тендерного майданчику.

У разі проведення тендера на закупівлю енергетичного аудиту потенційному виконавцеві надсилається лист-запрошення на участь у тендері. У листі-запрошенні, як правило, містяться:

- юридична адреса підприємства та номери контактних телефонів;
- термін проведення енергетичного аудиту;
- час та місце зустрічі представників потенційних виконавців (у разі проведення такої зустрічі);
- термін подання заявок з боку потенційних виконавців;
- вимоги до потенційних виконавців (перелік виконаних енергетичних аудитів, наявний парк вимірювальних приладів тощо);
- вимоги до складу заявок потенційних виконавців;
- посилання на веб-сторінку в Інтернеті з більш детальними описом суті закупівлі, яка, крім того, може містити:
- технічне завдання на проведення енергетичного аудиту;
- іншу інформацію, що є суттєвою для визначення загальної вартості робіт та термінів її проведення.

У випадку відсутності будь-якої інформації у листі-запрошенні до тендера, учасники тендера до моменту подачі тендерної пропозиції мають змогу зробити офіційний запит до замовника з метою отримання або уточнення цієї інформації.

Спосіб здійснення відповідних уточнень визначається тендерною документацією. За умовчанням використовується офіційне листування (якщо дозволяє термін кінцевої подачі заявки) або телефонне спілкування з відповідальною особою.

Так, для визначення вартості робіт з енергоаудиту потенційному виконавцю може бути корисною така інформація (за запитом останнього):

- галузь промисловості, до якої належить об'єкт енергоаудиту;
- коротка історична довідка про об'єкт енергоаудиту;

- номенклатура та обсяги виробництва продукції;
- щорічне споживання ПЕР за останні 2-5 років;
- кількість працівників;
- загальна площа об'єкта енергоаудиту;
- режим роботи об'єкта енергоаудиту;
- наявність субспоживачів ПЕР;
- наявність обмежень на споживання ПЕР;
- система тарифів на ПЕР, що використовує об'єкт енергоаудиту;
- характеристика систем обліку та контролю споживання ПЕР;
- наявність системи енергетичного менеджменту на об'єкті, що споживає ПЕР;
- інформація про енергетичні аудити, що були проведені раніше.

Примітка: У разі неможливості з яких-небудь причин надати усю перелічену інформацію замовник повинен вказати якою інформацію він володіє, а яка інформація відсутня або потребує збирання.

Для зручності підготовки та подання цієї інформації можна скористатися типовою формою спрощеного опитувального листа, яка наведена у Додатку Г.

У разі незгоди потенційного виконавця із вимогами, що містяться у листі-запрошенні, виконавець може направити замовнику альтернативну заяву, в якій викласти свої пропозиції щодо обсягів робіт, термінів проведення тощо. Заявка потенційного виконавця повинна містити:

- юридичну адресу виконавця та номери контактних телефонів;
- дані, які визначені у вимогах до складу заявок потенційних виконавців;
- повну вартість енергетичного аудиту та порядок розрахунків;
- терміни проведення енергетичного аудиту;
- іншу інформацію, яку потенційний виконавець вважає важливою.

Після оброблення отриманої інформації потенційні виконавці готують тендерну заявку, яка має містити як технічну пропозицію, так і комерційну (фінансову) пропозицію. В технічній пропозиції заявник зазначає свій попередній досвід робіт у подібній сфері, кваліфікацію та склад виконавців, а також описує загальний порядок (план) виконання робіт, а також графік їх виконання. Кваліфікація експертів зазначається зазвичай у їх персональних резюме. Приклад форми персонального резюме розміщено за посиланням⁷.

В комерційній пропозиції наводяться основні складові витрат на виконання робіт, а також плановий графік отримання коштів від замовника.

Після підготовки та подання тендерних заявок потенційними виконавцями здійснюється їх оцінка відповідальними виконавцями замовника (тендерним комітетом).

Визначення переможця тендера здійснюється на основі оцінки кожної з заявок за технічними та фінансовими критеріями у співвідношенні, зазвичай, 70 % до 30 %.

Для справедливого та прозорого здійснення вибору переможців тендера перелік технічних критеріїв та методика оцінювання технічної та фінансової пропозиції претендентів за цими критеріями зазвичай наводиться в тендерній документації.

2.7 Визначення вартості робіт з енергоаудиту

Вартість енергетичного аудиту сильно варіюється в залежності від галузі промисловості, розміру об'єкта енергетичного аудиту, кваліфікації енергетичного аудитора та/або аудиторської компанії, типу аудиту, характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту, точності і повноти проведення аналізу, обсягу інформації, наданої замовником тощо.

Деякі галузі промисловості (такі як, наприклад, виробництво продуктів харчування та напоїв) дуже чутливі до ціни, і це може вплинути на вартість послуг з енергоаудиту. Інші галузі промисловості (наприклад, хімічна промисловість) більше піклуються про якість і безпеку процесу і тому можуть цінувати більш докладний і, отже, більш дорогий набір послуг з енергоаудиту.

⁷ [https://www.ebrd.com/downloads/procurement/project/template_CV\(NSD\).pdf](https://www.ebrd.com/downloads/procurement/project/template_CV(NSD).pdf)

Великі компанії-постачальники послуг з енергетичного аудиту часто повинні відшкодувати відносно великі поточні витрати, що призводить до більш високих тарифів на їх послуги, тоді як невеликі компанії або незалежні енергоаудитори можуть пропонувати аналогічні послуги за нижчою ціною.

Тому, з метою прийняття правильного рішення щодо встановлення ціни на свої послуги, енергоаудиторська компанія має розробляти стратегію ціноутворення. Грамотно сформована цінова стратегія є однією зі складових комерційного успіху енергоаудиторської компанії, забезпечення її конкурентоспроможності.

Цінові стратегії можуть бути надзвичайно різноманітними. Доцільність застосування кожної з них визначається, насамперед, цілями цінової політики енергоаудиторської компанії, а також тим, які орієнтири ціноутворення вона обрала для себе: витрати по проєкту, цінову політику конкурентів тощо.

Можливі варіанти стратегій ціноутворення в залежності від рівня якості послуг з енергетичного аудиту наведені у таблиці 2.3.

Якість послуги з енергетичного аудиту	Ціна послуги з енергетичного аудиту		
	Висока	Середня	Низька
Висока	Стратегія преміальних націнок	Стратегія глибокого проникнення на ринок	Стратегія цінових переваг
Середня	Стратегія завищеної ціни	Стратегія ціни середнього рівня	Стратегія доброякісності
Низька	Стратегія пограбування	Стратегія фальшивої економії	Стратегія дешевих послуг

Таблиця 2.3 –
Варіанти цінових стратегій в залежності від співвідношення «ціна – якість»

До заборонених цінових стратегій належать:

- стратегія демпінгових цін, тобто свідомо занижених підприємством відносно поточного рівня цін на ринку (а іноді і нижче собівартості) з метою отримання значних переваг в порівнянні зі своїми конкурентами. Ця стратегія ціноутворення належить до монополістичної діяльності і вважається неприпустимою;
- стратегії ціноутворення, засновані на змові суб'єктів, що обмежують конкуренцію.

На практиці використовують різні методи ціноутворення. Всі методи ціноутворення на послуги з енергетичного аудиту, які застосовуються як закордонними, так і вітчизняними енергоаудиторськими компаніями, на практиці, можуть бути розділені на три основні групи в залежності від того, на що більше орієнтується енергоаудиторська компанія при виборі того чи іншого методу:

- на витрати по проєкту – витратні методи;
- на кон'юнктуру ринку – ринкові методи;
- на нормативи витрат приведені до одиниці послуги (наприклад, 1 м² площі об'єкта енергетичного аудиту, 1 тис. кВт*год спожитих ПЕР тощо) – параметричні (еконетричні) методи.

Досить часто ціну визначають водночас декількома методами, а потім здійснюють вибір остаточної ціни послуг з енергетичного аудиту. В практиці міжнародних консультантів доволі поширеним методом ціноутворення є метод, коли визначення вартості робіт з енергоаудиту ($V_{енд. ауд.}$) здійснюється за виразом:

$$V_{енд. ауд.} = t * K + V_B + ПДВ ,$$

де t – трудомісткість окремих робіт з енергоаудиту (людино-днів/людино-годин);

K – вартість розрахункової калькуляційної одиниці часу (у гривні за один людину-день/одну людину-годину);

V_B – витрати на відрядження, послуги сторонніх організацій з експертизи, оцінювання та випробувань та інші витрати, що можуть бути віднесені безпосередньо до вартості конкретних виконуваних робіт у гривні;

$ПДВ$ – податок на додану вартість у гривні.

До чинників, які можуть вплинути на вартість енергоаудиту, відносяться:

- рівень невизначеності/точності;
- характер та обсяг робіт /межі аудиту;
- наявність даних щодо рівня досягнутої/досяжної енергоефективності та даних стосовно обладнання;
- наявність звітів про результати попередніх енергоаудитів/досліджень;
- складність об'єкта і той факт, чи процеси та обладнання є нестандартними або спеціально створеними.

2.8 Укладання договору

Договір на проведення енергоаудиту є основним документом, який засвідчує факт досягнення домовленості між замовником та виконавцем про проведення енергоаудиту.

Договір документально підтверджує, що сторони дійшли згоди з усіх питань, обумовлених у договорі. Для того щоб уникнути неправильного розуміння сторонами взятих на себе зобов'язань, розуміння їх виконання та відповідальності, необхідно максимально ясно обумовити в договорі всі суттєві аспекти взаємовідносин, які виникають у зв'язку з укладанням договору.

Договір на виконання робіт з енергоаудиту відноситься до господарських договорів. Тому порядок його складання та укладання визначається статтею 181 Господарського кодексу України. Господарський договір за загальним правилом викладається у формі єдиного документа, підписаного сторонами. Допускається укладення господарських договорів у спрощений спосіб, тобто шляхом обміну листами, факсограмами, телеграмами, телефонограмами тощо, а також шляхом підтвердження прийняття до виконання замовлень, якщо законом не встановлено спеціальні вимоги до форми та порядку укладення даного виду договорів.

Зміст договору на проведення енергоаудиту може бути різним, залежно від конкретної ситуації. Проте в ньому обов'язково мають бути обумовлені такі характеристики енергетичного аудиту:

- вид енергоаудиту;
- сфера охоплення та межі енергоаудиту, включаючи посилання на чинне законодавство, стандарти, нормативи та інші аналогічні документи;
- можливість доступу до будь-яких записів, документації та інших джерел інформації, необхідної в рамках виконання договору на проведення енергетичного аудиту;
- порядок розрахунків за виконання робіт з проведення енергетичного аудиту;
- форма, в якій замовнику буде представлена інформація про результати проведеної енергоаудитором роботи (обсяг і склад переданої замовникові документації).

До договору можуть бути включені:

- вимоги, що стосуються планування енергетичного аудиту;
- вимоги, які стосуються залучення до аудиту інших енергоаудиторів та експертів з деяких аспектів енергетичного аудиту;
- посилання на будь-які додаткові угоди між енергоаудитором та замовником.

Під час укладання договору мають бути обговорені та прописані в ньому організаційно-технічні заходи, за виконання яких відповідає керівництво підприємства-замовника. До організаційно-технічних заходів належать: використання наявного на підприємстві вимірювального обладнання, забезпечення потреб енергоаудиторської групи у робочих приміщеннях, послугах зв'язку, копіювальній техніці, у засобах техніки безпеки, а також, за потреби, транспортного, побутового та житлового забезпечення роботи енергоаудиторів.

3. Планування енергетичного аудиту

3.1 Загальні положення

Робота енергоаудиторів в більшості випадків виконується в умовах певних ресурсних обмежень – часових, фінансових, людських, матеріальних тощо. Також є певні труднощі з отриманням всієї необхідної інформації та рівнем її невизначеності. Крім того, для виконання більшості енергоаудитів промислових підприємств необхідно залучати до енергоаудиту не одного фахівця, а декількох експертів з різних питань. Це може бути і електрик, і тепло-енергетик, і технолог, і метролог тощо. Тобто, енергоаудит промислового підприємства – це командна робота. І щоб ця команда могла досягти необхідного результату, її діяльність треба відповідним чином спланувати та організувати. Перш за все, під час формування команди необхідно визначитися з керівником енергоаудиторської групи. Саме на нього має бути покладена функція планування та організування роботи енергоаудиторської групи. Від його досвіду та результатів роботи багато в чому залежить результат енергоаудиту.

Компанії повинні усвідомлювати, що характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту та вимоги до глибини аналізу енергоефективності можуть мати помітний вплив на вартість енергоаудиту. Замовнику слід обговорити характер та обсяг робіт з енергоаудиту з енергетичним аудитором, щоб забезпечити баланс між складністю та рівнем деталізації енергетичного аудиту, а також витратами на його проведення.

Зважаючи на це, в цьому розділі викладено вимоги та рекомендації щодо планування енергоаудиту.

Планування – це розроблення стратегії і конкретних підходів до характеру, періоду, а також часу проведення енергетичного аудиту. Планування енергоаудиторських робіт допомагає звернути необхідну увагу енергоаудитора на найважливіші напрямки енергетичного аудиту, виявлення проблем, які слід перевірити максимально ретельно.

Планування допомагає належним чином організувати свою роботу, та здійснити нагляд за роботою спеціалістів, які приймають участь в енергетичному аудиті, а також координувати роботу, яка здійснюється іншими енергоаудиторами і фахівцями інших професій.

Характер планування в значній мірі залежить від організаційної форми, розміру і виду діяльності підприємства, виду енергетичного аудиту, правильного уявлення енергоаудитора про стан використання паливно-енергетичних ресурсів.

Під час планування енергетичного аудиту доцільно особливу увагу приділити питанням проведення енергетичного аналізу об'єктів енергоаудиту. Для цього необхідно під час планування визначитися з порядком виконання таких процедур:

- ідентифікація наявних джерел енергії;
- оцінка напрямків використання і споживання енергії в минулому і на сьогодні;
- аналіз напрямків використання і споживання енергії у відповідності до вимог стандарту ISO 50001: 2018;
- виявлення сфер суттєвого використання енергії (дозволяє виявити будівлі, споруди, обладнання, системи, процеси та персонал, що працює на або для підприємства або за його дорученням, які значно впливають на використання і споживання енергії);

3.2 Вимоги ISO 50002 щодо планування енергетичного аудиту



- визначення інших змінних чинників, що суттєво впливають на використання енергії;
- визначення базових рівнів енергоспоживання для сфер суттєвого використання енергії;
- визначення поточного рівня енергорезультативності окремих будівель, споруд, обладнання, систем і процесів, пов'язаних з виявленими сферами суттєвого використання енергії;
- оцінка майбутнього використання і споживання енергії;
- виявлення та визначення пріоритетів і ідентифікація можливостей для підвищення рівня енергоефективності.

Згідно з ISO 50002:

Для забезпечення об'єктивної оцінки вартості робіт з енергоаудиту, а також для проведення ефективного та результативного енергоаудиту слід враховувати наступне:

- Енергетичний аудитор та уповноважені представники компанії мають домовитися про таке:

1) характер та обсяг робіт, межі та ціль(і) енергетичного аудиту;

Примітка 1. Аудит може поширюватися на всю організацію або її окремі об'єкти, обладнання, системи і процеси.

2) потреби та очікування для досягнення цілей аудиту;

3) необхідний рівень деталізації результатів аудиту;

4) часові межі енергоаудиту;

5) критерії оцінювання та ранжування можливостей для підвищення рівня досягнутої / досяжної енергоефективності;

Примітка 2. Такими критеріями можуть бути, наприклад: простий термін окупності, чиста приведена вартість інвестицій, рентабельність інвестицій; потенціал енергозбереження; результати аналізу витрат життєвого циклу; додатковий аналіз витрат для заміни на більш енергоефективне обладнання.

6) щодо необхідності залучення персоналу та інших ресурсів компанії;

7) які дані мають бути надані енергоаудиторам до початку енергетичного аудиту;

Примітка 3. Такими даними зазвичай є: генеральний план об'єкта аудиту, креслення та схеми розташування установок; однолінійні схеми електропостачання, схеми газо-, водо- та теплопостачання компанії, дані про споживання енергії за попередні періоди; рахунки за комунальні послуги, які належним чином перевірені; інструкції з експлуатації устаткування та інша технічна документація, у тому числі, заплановане вимірювання та/або перевірки, які мають бути проведені під час енергетичного аудиту.

8) очікувані результати та форма звітування;

9) чи має бути проєкт остаточного звіту представлений топ-менеджменту компанії для обговорення;

10) представник компанії, відповідальний за проведення енергетичного аудиту;

11) процедуру узгодження будь-яких змін, що вносяться до характеру робіт з енергетичного аудиту.

- Енергетичний аудитор повинен запросити інформацію для визначення чинників, що можуть впливати на процес проведення енергетичного аудиту, в тому числі, виходячи з реальної ситуації:
 - 1) наявні нормативні вимоги або інші обмеження, що впливають на характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту або інші аспекти запропонованого енергетичного аудиту;
 - 2) наявні стратегічні плани, які можуть вплинути на рівень енергетичної ефективності підприємства;

Примітка 4. Сюди можна віднести плани модернізації, плани ремонтів та технічного обслуговування енергоємного обладнання та виробничих ліній, плани з управління активами; зміна асортименту продукції; плани розширення; заплановані проекти; аутсорсинг (передача функцій стороннім організаціям) з управління об'єктами або технічного обслуговування обладнання.

- 3) наявні системи управління, наприклад, довкілля, якості, енергетичного менеджменту або інше;
 - 4) будь-які міркування, навіть суб'єктивні, у тому числі існуючі думки, ідеї та обмеження, що стосуються потенційних заходів щодо підвищення рівня енергетичної ефективності.
- Енергетичний аудитор повинен проінформувати організацію про:
 - 1) засоби, обладнання та послуги, необхідні для проведення енергетичного аудиту та способи їх залучення;

Примітка 5. Ці питання необхідно обговорювати в тих випадках, якщо під час аудиту може виникнути потреба в додатковому залученні нетипового для енергоаудиту вимірювального обладнання або необхідності попереднього підготування технологічного або допоміжного енергоспоживаючого обладнання або систем для проведення на них необхідних вимірів.

- 2) комерційний чи інший інтерес, який може вплинути на його/її висновки та рекомендації;

Примітка 6. Ці питання необхідно обговорювати в тих випадках, якщо енергоаудиторська компанія є одночасно постачальником певного енергоспоживаючого обладнання або систем, які можуть бути запропонованими для модернізації в компанії за результатами енергоаудиту. В таких випадках енергоаудиторські компанії в першу чергу ставлять на меті не шукати «проблемні місця» компанії по всіх системах та процесах, а цілеспрямовано фокусують основну увагу лише на тому обладнанні та системах, що є «цікавими» їм.

- 3) будь-які інші питання щодо конфлікту інтересів.

Всі перелічені вище питання, що є суттєвими для виконання робіт з енергоаудиту для конкретного підприємства, мають бути узгоджені в технічному завданні на виконання енергоаудиту, а також у відповідному протоколі. Форми Технічного завдання та протоколу можуть бути довільними. Приклад форми Технічного завдання наведено у Додатку В цього Посібника.

3.3 Розроблення плану-графіка проведення енергоаудиту

Енергоаудитор повинен підготувати план енергетичного аудиту, у якому перераховуються дії, що потребують виконання під час проведення енергетичного аудиту. Коригування плану ведеться протягом всіх етапів енергоаудиту.

План проведення енергетичного аудиту повинен складатися після проведення знайомства енергоаудиторів з об'єктом енергетичного аудиту, тобто за результатами попередньої стадії енергетичного аудиту.

План енергетичного аудиту готує керівник групи енергоаудиторів разом з відповідальною особою від замовника (головним енергетиком, енергоменеджером).

Енергоаудитори під час розробки плану енергетичного аудиту та протягом його реалізації самостійно визначають методи енергетичного аудиту на підставі чинного законодавства, існуючих норм і стандартів, договору із замовником, професійних знань та досвіду.

У плані-графіці проведення енергетичного аудиту потрібно зазначити:

- склад енергоаудиторів та персоналу замовника, що залучені до виконання певних етапів робіт з енергоаудиту;
- заходи щодо підготовки персоналу замовника, залученого до енергетичного аудиту;
- інструктаж з питань охорони праці для енергоаудиторської групи;
- перелік запланованих енергоаудиторських робіт на об'єкті (конкретні об'єкти та суть робіт в рамках енергетичного аудиту), термін їх виконання та відповідальних виконавців робіт як з боку виконавця, так і з боку замовника;

Приклад форми плану-графіка проведення енергоаудиту наведено у Додатку Д.

План проведення енергетичного аудиту, як правило, складається з трьох розділів.

У першому розділі плану визначається персональний склад групи з розподілом функцій між її членами. Ефективність проведення енергетичного аудиту в значній мірі залежить від спеціалістів, що залучаються до його проведення. Формування групи енергетичного аудиту краще починати з визначення керівника енергоаудиторської групи – ключової фігури будь-якої енергоаудиторської діяльності. Керівник групи повинен мати досвід в сфері енергозбереження, проведення енергетичного аудиту та енергетичних вимірювань.

Персональний склад групи енергоаудиторів та їх спеціалізація, до якої також входять фахівці підприємства, повинні повністю охоплювати всі належні вимоги до енергоаудиторів для вирішення задач енергетичного аудиту.

Усі фахівці повинні мати високий рівень професійної підготовки та необхідний практичний досвід. Обов'язковим для них є розуміння методів і процедур енергетичного аудиту та умінь використати це на практиці, а також знання технологічного процесу, в якому буде проводитись енергетичний аудит.

У другому розділі плану визначається графік проведення енергетичного аудиту. Графік визначає перелік запланованих енергоаудиторських робіт, терміни їх виконання та виконавців робіт і служить засобом контролю за проведенням аудиту. При складанні графіка повинні враховуватися вимоги замовника.

За необхідності складається мережевий графік проведення енергетичного аудиту на підприємстві.

Терміни початку та закінчення кожного з етапів енергетичного аудиту визначаються керівником групи енергоаудиторів разом з відповідальною особою від замовника з урахуванням очікуваних обсягів робіт, що мають бути виконані, та ресурсів, що мають бути для цього залучені.

Третій розділ плану вміщує організаційно-технічні заходи щодо забезпечення успішного проведення енергетичного аудиту. Форма цього розділу плану така сама, як і попереднього. У ньому зазначають усі заходи, за виконання яких відповідає адміністрація підприємства. Зокрема, це заходи щодо транспортного, побутового та житлового забезпечення роботи енергоаудиторів, а також забезпечення потреб енергоаудиторів у робочих приміщеннях, послугах зв'язку, копіювальній техніці, за потреби, у засобах техніки безпеки.

Підготовлений план-графік проведення енергетичного аудиту узгоджують із замовником, який може внести в нього необхідні коригування. Коригувати план можна на кожному етапі енергетичного аудиту. План енергетичного аудиту потрібно затверджувати одночасно з підписанням договору на енергетичний аудит.

Примірник плану-графіка проведення енергетичного аудиту, затверджений керівником енергоаудиторської групи і узгоджений із замовником, передають замовнику та доводять до відома кожного з енергоаудиторів, і його дотримання є обов'язковим.

4. Попередня нарада

Попередня нарада є так званою «точкою відліку» енергоаудиту підприємства. Керівник групи ознайомлює представників замовника із складом енергоаудиторської групи, а керівництво підприємства коротко окреслює суттєві напрямки енерговикористання (основні енергоємні процеси) підприємства, «вузькі місця», пов'язані з споживанням енергії, та вже заплановані програми щодо модернізації підприємства. Саме на цій нараді визначаються всі організаційні питання, які можуть вплинути на якість результатів енергоаудиту.

Для проведення подальших уточнень інформації та консультацій щодо оцінки рівня енергоефективності основних енергоємних систем залучають технічний персонал підприємства. Тому дуже важливо, щоб в цій нараді з боку замовника приймали участь керівник підприємства або його заступник, що відповідає за питання енергоефективності на підприємстві, а також керівники структурних підрозділів підприємства, які будуть задіяні під час аудиту. Сюди, наприклад, можуть бути віднесені:

- головний інженер;
- головний енергетик;
- керівник котельні;
- керівник газової служби;
- головний бухгалтер;
- керівник планово-економічного відділу;
- керівники виробничих та допоміжних цехів, тощо.

Конкретний перелік присутніх на попередній нараді визначається як організаційною структурою підприємства, так і межами, характером та обсягом робіт з енергоаудиту. Під час попередньої наради можна оцінити якість та технічні навички персоналу підприємства, їхню відкритість для оцінки нових можливостей з підвищення енергоефективності та їхнє ставлення до питання енергоефективності як пріоритету підприємства.

Виконавець повинен розглянути деталі планування енергоаудиту з замовником, у тому числі, графіки, процеси, можливу необхідність у додатковому вимірному обладнанні, провести опитування персоналу підприємства, наради, відвідування об'єкта тощо.

За формою проведення попередня нарада може бути як очною, так і заочною. Найбільш поширеною є очна нарада, яка зазвичай проходить на території замовника. Тому виконавцю необхідно врахувати витрати на цей візит під час формування кошторису на енергоаудит. Задля мінімізації витрат коштів та робочого часу можуть застосовуватися наради у вигляді телефонних перемовин, теле- та скайп-конференцій тощо. Існують також випадки поєднання декількох видів нарад. Наприклад, попередньо узгоджуються всі питання шляхом електронного листування та телефонних перемовин або скайп-конференцій, а зустріч та спілкування з відповідальними особами від підприємства поєднується з відвідуванням підприємства для збирання інформації про об'єкт аудиту.



Під час попередньої наради виконавець:

- інформує учасників наради про мету та завдання проведення енергетичного аудиту, план та методики проведення енергетичного аудиту;
- установлює офіційні способи спілкування між енергоаудиторами та персоналом замовника;
- узгоджує дату проведення заключної наради та проміжних нарад (у разі виникнення потреби в їх проведенні);
- узгоджує план проведення енергетичного аудиту підрозділів та виробництв замовника;
- з'ясовує усі незрозумілі питання плану проведення енергетичного аудиту, що виникли у замовника під час ознайомлення з планом проведення енергетичного аудиту.

Згідно з ISO 50002:

Енергетичний аудитор повинен погодити з організацією:

- 1) порядок доступу, відповідно до вимог певного характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту для енергетичного аудитора;
- 2) вимоги до охорони праці, до промислової та загальної безпеки, правил і процедур, що діють у разі надзвичайної ситуації;
- 3) наявність ресурсів, у тому числі енергетичних даних, та необхідності у додатковому обліку;
- 4) діючі угоди щодо нерозголошення конфіденційної інформації (наприклад, орендарі у будівлі);
- 5) вимоги до будь-яких спеціальних вимірювань, якщо в цьому є необхідність;
- 6) процедури, яких необхідно дотримуватися для встановлення вимірального обладнання, якщо це необхідно.

Відповідно до плану проведення енергетичного аудиту виконавець та замовник формують склад енергоаудиторської групи. Замовник визначає відповідальних осіб з боку підприємства за організацію проведення енергетичного аудиту. До числа відповідальних осіб можуть бути включені: головний енергетик, керівник служби енергетичного менеджменту (за наявності), заступник директора з питань виробництва, керівник планово-економічного відділу тощо.

За результатами попередньої наради представники замовника та потенційного виконавця складають та підписують протокол наради.

Приклад протоколу попередньої наради наведено у Додатку Е.

5. Збирання та оброблення основних даних

5.1 Збирання та узагальнення основних даних про об'єкт енергетичного аудиту

Збирання і узагальнення основних даних (інформації) про об'єкт енергетичного аудиту, а також відповідна їх оцінка є одним із важливих етапів проведення енергетичного аудиту.

Як правило, на підприємстві накопичені значні масиви документальної інформації про фактичне споживання ПЕР, технологію виробництва тощо. У більшості випадків використання цієї інформації не є зручним у зв'язку з тим, що:

- дана інформація знаходиться в різних службах підприємства;
- дана інформація громіздка та несистематизована;
- відсутня узагальненість цієї інформації тощо.

Залежно від **джерела отримання інформації** увесь масив інформації про об'єкт енергетичного аудиту можна умовно поділити на первинну та вторинну.

Під первинною *інформацією* мають на увазі таку інформацію, яка збирається вперше для досягнення мети та вирішення завдань енергетичного аудиту.

Для отримання необхідної первинної інформації про об'єкт енергетичного аудиту необхідно використовувати такі засоби збирання інформації:

- 1) опитування (анкетування) працівників підприємства та зовнішніх експертів;
- 2) інтерв'ювання працівників підприємства та зовнішніх експертів;
- 3) використання фото- та відеозйомки;
- 4) проведення необхідних вимірювань.

Анкетування в процесі проведення енергетичного аудиту є одним з основних засобів отримання первинної інформації про підприємство. Суть методу полягає в проведенні заочного опитування працівників підприємства та зовнішніх експертів для отримання інформації стосовно ефективності використання ПЕР на підприємстві. Для проведення опитування енергоаудитори заздалегідь складають опитувальні листи (анкети), в яких наводиться перелік питань, на які повинні дати відповіді респонденти. Слід зазначити, що питання, наведені в опитувальних листах, повинні бути складені таким чином, щоб уникнути неоднозначного їх тлумачення. Беззаперечною перевагою опитування є його доволі висока ефективність і швидкість отримання інформації. Однак опитування має ряд недоліків. Головним із них є те, що розроблення та тестування опитувальних листів потребують значних затрат фінансів та часу.

Для отримання інформації про об'єкт енергетичного аудиту шляхом проведення анкетування використовується опитувальний лист, приклад форми якого наведений у Додатку Ж.

Інтерв'ювання використовується протягом усіх етапів проведення енергетичного аудиту і пов'язане з безпосередніми контактами енергоаудиторів і представників підприємства. Як і під час анкетування, в інтерв'юванні застосовують заздалегідь підготовлений набір питань, але відмінністю є те, що питання ставить безпосередньо енергоаудитор. Цей факт дає можливість уникнути неоднозначного тлумачення запитань (оскільки є можливість уточнити їх).

В процесі проведення енергетичного аудиту можуть використовуватися такі види інтерв'ювання:

- особисте:
 - 1) індивідуальна співбесіда з кожним членом персоналу, що відповідає за ефективність використання ПЕР на підприємстві (або зовнішнім експертом);
 - 2) колективна співбесіда з усім персоналом, що відповідає за ефективність використання ПЕР на підприємстві (або всіма зовнішніми експертами);
- телефонне;
- поштове.

Інтерв'ювання зовнішніх експертів дозволяє вивчити суть проблеми, знайти якомога більше варіантів її вирішення. Інтерв'ю з експертами потребує незначних витрат часу, фінансових та трудових ресурсів. Критеріями підбору експертів можуть бути рівень освіти, досвід роботи, посада тощо.

Під *вторинною інформацією* мають на увазі таку інформацію, яка існує в опублікованому вигляді і збиралась не для цілей даного енергетичного аудиту. Цей вид інформації, в свою чергу, можна поділити на зовнішню та внутрішню.

Зовнішня інформація – це дані про підприємство, які збираються за межами підприємства і можуть бути опубліковані в періодичних виданнях, довідниках, книгах, комп'ютерних базах даних, Інтернеті тощо. До неї належать:

- нормативно-довідкова інформація;
- науково-технічна література;
- інформація з Інтернету.

Внутрішня інформація – це дані, які збираються та аналізуються безпосередньо персоналом підприємства. До неї належать:

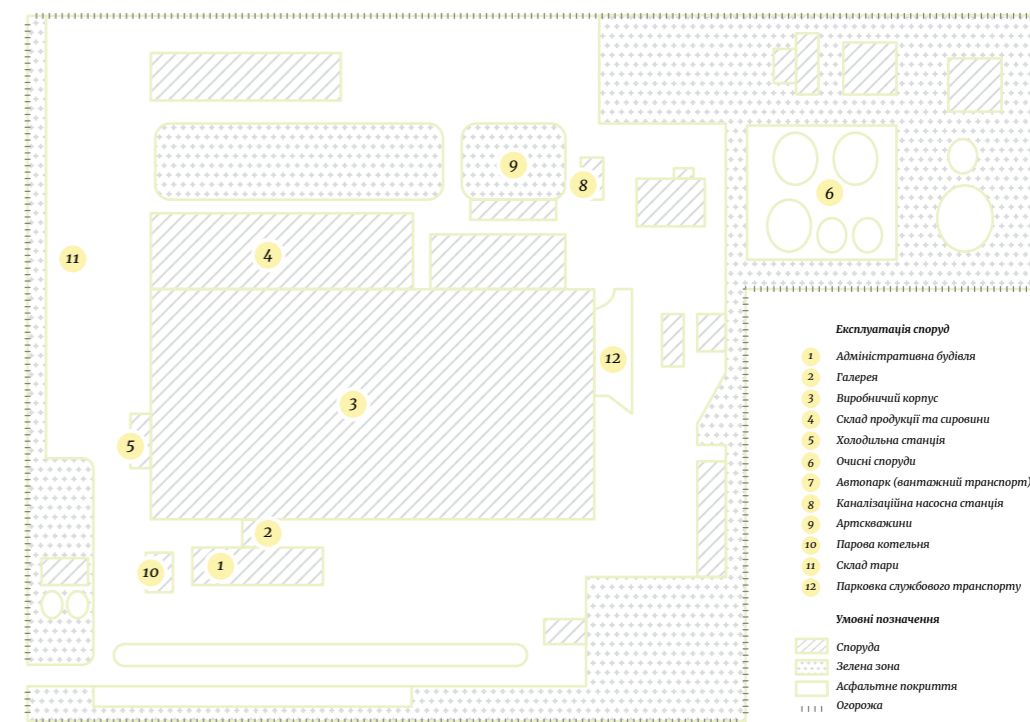
- інформація про системи споживання ПЕР;
- рахунки від постачальників ПЕР;
- щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами (за останні 3 роки);
- щомісячний попит на енергоносії (обсяг їх використання та вартість за останні 3 роки);
- графіки споживання ПЕР протягом доби, місяця, року;
- фінансово-економічні дані;
- енергетичний паспорт підприємства;
- проектна документація на системи паливно-енергетичного забезпечення підприємства;
- технічна документація на енергоспоживаюче устаткування (паспорти, формуляри, специфікації, технологічні регламенти, режимні карти);
- документація про ремонти, налагоджувальні і випробувальні роботи;
- документація про енергозберігаючі заходи;
- перспективні програми і проекти реструктуризації підприємства чи модернізації окремих його виробництв;
- звіти попередніх енергетичних аудитів.

Для узагальнення інформації щодо наявної на підприємстві документації можна застосовувати реєстри та переліки. Приклад переліку документів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Перелік документальної інформації про підприємство (що є в наявності на підприємстві)

Назва джерела інформації	Відмітка про наявність
Опис виробничої структури підприємства	
Генплан підприємства з експлікацією будівель/приміщень (див. рис. 5.1)	
Однолінійна схема електропостачання та короткий опис системи електропостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників електроенергії	
Схема тепlopостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників теплоенергії (за їх наявності)	
Енергетичний паспорт підприємства	
Паро-конденсатний баланс підприємства	
Дані щодо помісячного споживання паливно-енергетичних ресурсів за три останні роки. Якщо є декілька лічильників, то окремо по кожному лічильнику	
Дані щодо випуску продукції по товарним групам за три останні роки та плану на 2017 р.	
Плани з реконструкції та модернізації підприємства	
Дані щодо заходів з економії паливно-енергетичних ресурсів, запланованих до впровадження в поточному році (назва та короткий опис заходу, де планується впровадити, величина запланованої економії)	
Дані про основні технологічні, адміністративні та допоміжні будівлі та споруди підприємства: назва будівлі, призначення, будівельний об'єм, кількість поверхів, матеріал огорожувальних конструкцій, площа застелення, температурний режим, наявність систем опалення та вентиляції, кількість душових та рукомийників, що використовують гарячу воду	
Дані про теплогенеруюче обладнання: назва, марка, кількість, місце встановлення, режими роботи, а також технічна документація на обладнання (режимні карти, технічні паспорти)	
Дані про основне технологічне паливоспоживаюче обладнання: назва, марка, режимні карти, технічні паспорти, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яка продукція на ньому планується вироблятися	
Дані про основне технологічне теплоспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яка продукція на ньому планується вироблятися	
Дані про основне технологічне електроспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яка продукція на ньому планується вироблятися	
Дані про електроспоживаюче обладнання допоміжних цехів (насосних, котельні, компресорних, механічних та інструментальних цехів, автопарків тощо): назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік	
Дані про систему освітлення цехів та приміщень: назва, марка, кількість, потужність (електрична), місце встановлення, тривалість роботи за рік	
Дані про систему зовнішнього освітлення: назва, марка, кількість, потужність (електрична), тривалість роботи за рік	

Рисунок 5.1 – Приклад генплану підприємства (з експлікацією будівель)



Основні переваги та недоліки вторинної інформації наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні переваги та недоліки вторинної інформації

Переваги	Недоліки
При великій кількості інформація має відносно невисоку вартість	Може не повністю підходити до мети дослідження (неповнота, загальний характер)
Відносно швидко збирається	Може бути застарілою
Часто існує багато джерел інформації, що дозволяє виявити різні підходи та порівнювати дані, а також отримувати більший обсяг інформації	Методика, яка покладена в основу збирання даних, може бути невідомою (розмір вибірки, термін виконання)
Інформація, зібрана з незалежних джерел, має значну достовірність	Може бути неповною, суперечливою, не завжди відома її надійність



Згідно з ISO 50002:

За можливості, енергетичний аудитор повинен зібрати, узагальнити і записати відповідні енергетичні дані, які забезпечують цілі аудиту. Сюди входить наступна інформація:

- 1) перелік енергоємних систем, процесів та обладнання;
- 2) детальні характеристики використання енергії в межах певного характеру та обсягу робіт з енергоаудиту, у тому числі, відповідні змінні а також і те, яким чином вони, на думку організації, впливають на енергетичну ефективність;

- 3) дані щодо рівня досягнутої енергетичної ефективності за попередній та поточний періоди, у тому числі:

- споживання енергії;
- відповідні змінні;
- відповідні суміжні вимірювання;

Приклад 1. Вимірювання коефіцієнта потужності; результати термографічного або пневматичного моніторингу.

- попередні й останні експлуатаційні події, які могли вплинути на споживання енергії за період, охоплений зібраними даними;

- 4) моніторинг інформації стосовно обладнання, конфігурації та аналізу;

Приклад 2. Місцеві манометри, розподілені системи управління, типи приладів.

Примітка. Збиранням та упорядкуванням наявних результатів вимірювань може займатись зовнішня сторона, наприклад, комунальне підприємство.

- 5) плани на майбутнє, які можуть вплинути на рівень досягнутої енергетичної ефективності;

Приклад 3. Заплановані розширення, скорочення або зміни в обсязі виробництва.

Приклад 4. Заплановані зміни (або заміна) устаткування чи систем, які мають значні наслідки з точки зору енергетичної ефективності.

Приклад 5. Виключення або аутсорсинг (залучення сторонніх ресурсів) об'єктів, обладнання чи систем.

- 6) документи з проєктування, експлуатації та технічного обслуговування;

Приклад 6. Креслення фактичного стану, перелік технічних вимог до обладнання; (генеральний) план ділянки; дані системи управління.

- 7) результати попередніх енергоаудитів або досліджень, пов'язаних з енергетичною ефективністю;
- 8) поточні тарифні ставки (чи тарифи) на енергоресурси або базисна ставка (чи тариф), що будуть використані для фінансового аналізу;
- 9) інші відповідні економічні дані;
- 10) інформація про те, яким чином організація управляє власним використанням та споживанням енергії;
- 11) система розподілу енергії та управління нею.

5.2 Оброблення та попередній аналіз основних даних про об'єкт енергетичного аудиту

Оброблення та попередній аналіз основних даних передбачає виконання певного набору дій щодо первинного аналізу основних даних про об'єкт енергетичного аудиту з метою більш чіткого розуміння специфіки об'єкта енергоаудиту. Найбільш типовими діями під час первинного аналізу є:

- 1) **Ідентифікація основних видів ПЕР** здійснюється для визначення, які саме види ПЕР використовуються на підприємстві.
- 2) **Ідентифікація джерел енергії** та аналіз існуючих систем енергопостачання здійснюється для визначення, звідки отримуються ПЕР (власні джерела чи закупівля ПЕР), а також задля інвентаризації всіх джерел енергії (електроенергії, газу, пари, вторинних енергоресурсів, води, стоків) в фізичних величинах (кВт*год, МДж, м³ тощо) і в грошовому вираженні. Джерела ПЕР групуються в залежно-

сті від виду ПЕР. Під час цього етапу також аналізуються схеми постачання ПЕР по кожній енергетичній системі (система тепло-, електро-, паливо-, водопостачання та постачання стисненим повітрям). Робиться короткий опис по кожній енергетичній системі. Також робиться відмітка щодо наявності відповідної схеми енергопостачання, а також документально оформлених договірних відносин щодо закупівлі ПЕР. У випадку наявності субабонентів робиться також відмітка про умови приєднання, а також способи обліку та розрахунку за спожиті ПЕР.

Аналіз існуючих систем енергопостачання може включати:

- перелік приладів обліку ПЕР за типами, місцем їх установки, видом обліку енергоносіїв, методом передачі даних тощо;
- характер обліку енергоносіїв – комерційний, технічний, цеховий, агрегатний тощо;
- місця встановлення приладів обліку (манометрів, термометрів, витратомірів і т.д.), на основі яких можуть бути визначені необхідні технічні параметри установок, будівель тощо, використовуючи найпростіші форми залежності між досліджуваними величинами.

- 3) **Аналіз споживання ПЕР** здійснюється для оцінки змін в обсягах споживання ПЕР підприємством та окремими структурними підрозділами. Це допомагає енергоаудиторам зрозуміти основні напрямки споживання ПЕР та визначити можливість з найбільшою рентабельністю інвестицій в енергоефективність. Під час цього аналізу може бути також здійснено аналіз добових графіків споживання ПЕР (у випадку їх наявності). Особливу увагу під час виконання такого аналізу слід приділити графікам електричного навантаження, а також коефіцієнту потужності як підприємства в цілому, так і окремих трансформаторних підстанцій чи потужних споживачів. Графіки електричних навантажень дозволять визначити рівень (коефіцієнт) завантаження живильних ліній, трансформаторів по відношенню до максимального навантаження тощо. Активна енергія (потужність) перетворюється в корисну – механічну, теплову та ін. енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах. Тому на практиці величину такої енергії (потужності) необхідно відповідним чином зменшувати. Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.
- 4) **Аналіз схем технологічних процесів.** Схема технологічного процесу представляється діаграмою, яка показує основні етапи енерго- та ресурсозабезпечення елементів виробництва готової продукції. На схемі повинні бути показані місця підведення та використання енергоресурсів, утилізації відходів в технологічному процесі тощо.
- 5) **Формування переліку основних споживачів ПЕР.** Тут необхідно виявити основні споживачі ПЕР шляхом вивчення схем технологічних процесів. Для цього складаються переліки енергоспоживаючого обладнання з основними технічними характеристиками. Устаткування класифікується за видами споживаних ПЕР за місцем розташування (будівля, цех, ділянка), за місцем в технологічному процесі, за характером віднесення споживання ПЕР на власні або господарські потреби тощо.

6. Планування та проведення вимірювань

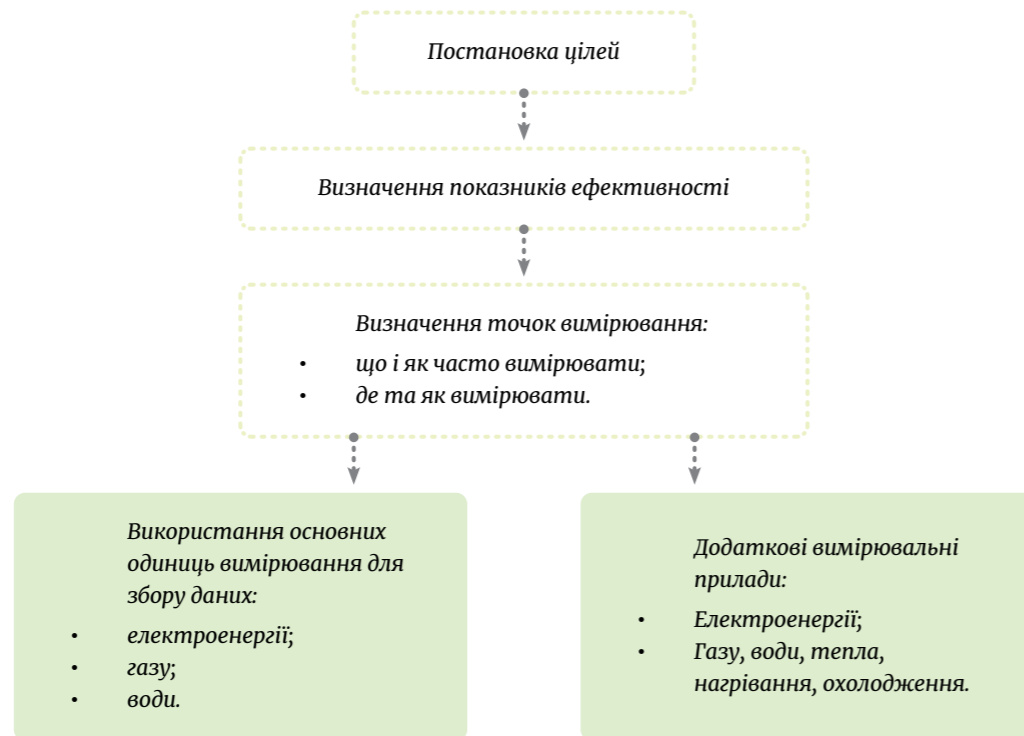
6.1 Загальні положення

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» під терміном «**вимірювання**» розуміється відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів.

Вимірювання є складовою частиною процесу збору інформації під час проведення енергоаудиту. Вони проводяться тоді, коли є потреба оцінити достовірність інформації, отриманої з документальних джерел, доповнити або перевірити статистичні показники по об'єкта енергетичного аудиту, а також під час визначення фактичних характеристик режимів роботи окремих споживачів енергії. Для здійснення вимірювань застосовуються наявні на об'єкті системи обліку та контролю ПЕР, стаціонарні та переносні засоби контрольно-вимірювальної техніки.

Основні кроки щодо планування вимірювання показано на рисунку 6.1.

Рисунок 6.1 – Основні кроки щодо планування вимірювання



Джерело: Designing a metering system for small and medium-sized buildings: Schneider Electric White Paper. Revision 1. Prepared by by Jean-Paul Genet and Cliff Schubert.

Обсяг інформації, отриманої шляхом проведення вимірювань, встановлюють енергоаудитори залежно від об'єкта енергетичного аудиту та поставлених мети і завдань. Немає потреби робити вимірювання, результати яких не будуть застосовані при формуванні висновків енергетичного аудиту. Саме тому, вимірювання мають плануватися.

6.2 Планування вимірювань

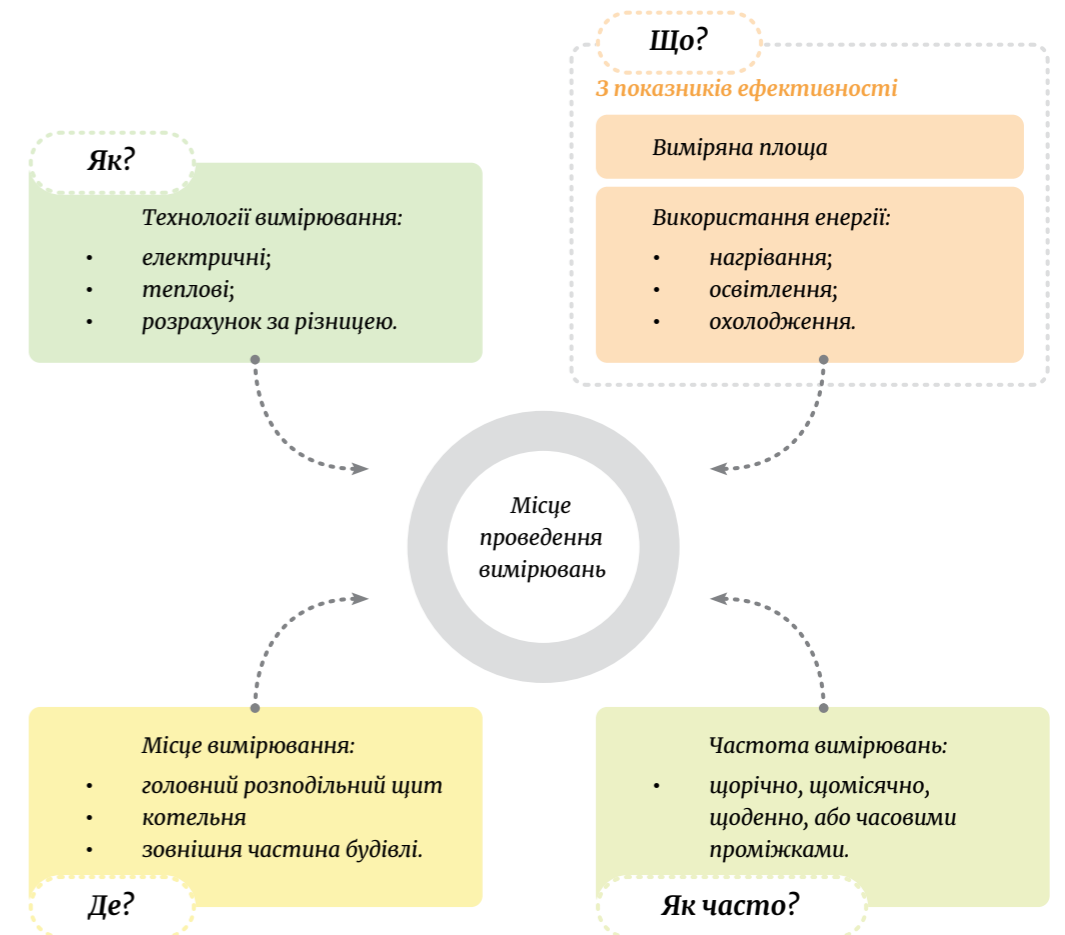
Під час планування вимірювань необхідно уникати наступного:

- отримання недостатньої кількості даних для точного аналізу енергоспоживання окремих установок, процесів, систем, будівель тощо, оскільки це унеможливіє виконання якісного аналізу;
- отримання занадто великого обсягу даних, які ніколи не будуть використані для аналізу енергоспоживання окремих установок, процесів, систем, будівель тощо, оскільки це призводить до збільшення вартості енергоаудиту і, в той же час, не підвищує якість результатів аналізу.

Щоб уникати цього, аудитор, під час планування вимірювань, необхідно визначитися з найбільш доцільним місцем проведення вимірювань. Для цього необхідно дати відповідь на такі запитання (див. рисунок 6.2):

- Що (який параметр, величину) необхідно вимірювати?
- Яку міру, точність та метод вимірювання, а також вимірювальний засіб слід обрати?
- Якими мають бути тривалість та періодичність вимірювань?
- Яке оптимальне місце проведення вимірювання?

Рисунок 6.2 – Послідовність визначення доцільного місця проведення вимірювання



Джерело: Designing a metering system for small and medium-sized buildings: Schneider Electric White Paper. Revision 1. Prepared by by Jean-Paul Genet and Cliff Schubert.



Згідно з ISO 50002:

Для будь-якого вимірювання та збирання даних на об'єкті енергоаудитор і організація мають узгодити план вимірювань. План вимірювань, за необхідності, переглядають на основі результатів, отриманих енергетичним аудитором під час енергоаудиту. Основні елементи, які повинні бути включені в план вимірювання, це:

- 1) перелік відповідних (контрольних) точок вимірювання, пов'язаних із ними процесів і вимірювального обладнання;
- 2) виявлення будь-яких додаткових точок вимірювання, відповідного вимірювального обладнання, пов'язаних із ними процесів та можливості встановлення обладнання;
- 3) необхідні точність і повторюваність вимірювань, і пов'язана з ними невизначеність вимірювань (нестабільність замірів);
- 4) тривалість та періодичність вимірювання, тобто окремі точки даних або безперервний моніторинг;
- 5) частота збору даних для кожного виміру;
- 6) відповідний період часу, коли діяльність є репрезентативною;
- 7) відповідні змінні, що надаються організацією, наприклад, робочі параметри і дані виробництва;
- 8) відповідальність за проведення вимірювань, у тому числі, список осіб, які працюють для організації або за її дорученням;

Примітка 1. Відповідальна особа може бути від організації, енергетичного аудитора або зовнішнього органу, такого як субпідрядник.

- 9) калібрування і простежуваність вимірювального обладнання (якщо це реально або практично можливо).

Примітка 2. Важливо, щоб деякі необхідні дані, такі як щомісячна продуктивність і рахунки за комунальні послуги за попередні періоди, надавала сама організація: організація уточнює достовірність своїх власних даних щодо енергії, виробництва та інше; аудитор підтверджує, що аналіз ґрунтується на правильно виміряних даних і зазначає, яким чином було отримано інформацію, тобто покази, зняті з лічильника, номінальні (прогнозні) чи розраховані іншим способом; аналіз також підтверджує, що набори даних є порівнюваними.

Методики вибіркового дослідження можуть знадобитися, коли з практичної чи економічної точки зору недоцільно вивчити всю доступну інформацію під час енергетичного аудиту. Вибіркове дослідження описано в ISO 19011:2011, пункт В.3. Процедури і методи слід обирати на основі їх придатності до характеру та обсягу робіт з енергоаудиту.

Примітка 3. У Додатку А представлено більш деталізовану настанову щодо плану вимірювання даних.

Вибір методів, методик та засобів вимірювання тих чи інших фізичних величин здійснюється згідно рекомендацій, наведених в п. 6.3–6.4 цього Посібника.



6.3 Методи та методики вимірювань

Метод вимірювання – це сукупність засобів використання вимірювальної техніки та принципів вимірювання. Метод вимірювання повинен мати мінімально допустиму похибку і сприяти вилученню систематичних похибок або переводу їх у розряд випадкових.

В залежності від обраного методу вимірювання, інформація, що буде отримана під час проведення вимірювань, матиме певний рівень достовірності. Тому під час планування проведення вимірювань необхідно визначитися з відповідними методами проведення вимірювань. Відповідно до специфіки вимірювань можуть застосовуватися різні методи вимірювання, які вказуються у розділі звіту з енергоаудиту, що стосується проведення вимірювань.

Методи вимірювання можна класифікувати за різними ознаками. Класифікація основних методів вимірювань представлена в таблиці 6.1.

Метод вимірювань вибирають за такими критеріями:

- придатність методу (передусім за точністю) для виконання конкретного завдання вимірювання фізичної величини;
- забезпеченість методу легітимними засобами вимірювальної техніки (ЗВТ);
- простота реалізації методу, висока продуктивність праці під час вимірювання. Перевагу надають прямим вимірюванням (наприклад, з безпосереднім оцінюванням), автоматизованим методам.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»: методика виконання вимірювань – сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з гарантованою точністю.

Застосування відповідних методик виконання вимірювань (МВВ) в енергоаудиторській діяльності пов'язане з необхідністю забезпечення єдності вимірювань, а саме: результати вимірювань повинні виражатись в одиницях фізичних величин Міжнародної системи одиниць і повинна бути відома похибка цих вимірювань. МВВ об'єднують основні компоненти системи забезпечення єдності вимірювань (величини, що вимірюються, одиниці величин, методи вимірювань, метрологічні характеристики засобів вимірювання, форма та вид представлення результатів вимірювань та ін.).

На сьогоднішній день загальні вимоги щодо розроблення МВВ визначається Державною системою забезпечення єдності вимірювань (ДСВ)⁸ та викладені в міждержавному стандарті ГОСТ 8.010-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики выполнения измерений. Основные положения».

Таблиця 6.1 –
Класифікація основних
методів вимірювань

Класифікаційна ознака		Вид вимірювань		
За формою отримання результату	Прямі (значення отримуються безпосередньо з експериментальних даних)	Непрямі (значення отримуються за результатами прямих вимірювань інших величин, пов'язаних із шуканою величиною відомою математичною залежністю)	Комбіновані (значення декількох величин, отриманих шляхом прямих і непрямих вимірювань інших величин при різних їх комбінаціях, визначаються на основі розв'язання системи рівнянь)	—
За терміном проведення	Разові (проводяться для отримання одного виміру одного параметра статичного режиму роботи окремого споживача енергії)	Періодичні (використовуються для статичного процесу з метою точного визначення середньої величини, а також для побудови графіка роботи динамічного процесу за встановлений інтервал часу, наприклад, потужності через певні проміжки часу для побудови добового графіка електричного навантаження)	Безперервні з обмеженням у часі (використовуються для обладнання з циклічним режимом роботи зі змінним динамічним режимом протягом циклу, при цьому вимірювання можуть мати багатофункціональний характер)	—

Продовження таблиці 6.1

Класифікаційна ознака		Вид вимірювань		
За формою отримання результату	Прямі (значення отримуються безпосередньо з експериментальних даних)	Непрямі (значення отримуються за результатами прямих вимірювань інших величин, пов'язаних із шуканою величиною відомою математичною залежністю)	Комбіновані (значення декількох величин, отриманих шляхом прямих і непрямих вимірювань інших величин при різних їх комбінаціях, визначаються на основі розв'язання системи рівнянь)	—
За кількістю одночасно вимірюваних показників одного характеру	Одноточкові (проводяться для отримання показників режиму роботи окремого споживача енергії)	Багатоточкові (дозволяють визначити розподіл загального енергоспоживання по окремих складових, що характерно для складання балансу енергоспоживання)	—	—
За кількістю одночасно вимірюваних показників різного характеру	Однофункційні (проводяться для отримання одного параметра режиму роботи окремого споживача енергії)	Багатофункційні (пов'язані з використанням спеціальних вимірювальних приладів, які дають змогу одночасно вимірювати напругу, струм, активну і реактивну потужність споживача)	—	—
За кількістю одночасно задіяних агрегатів, споживачів енергії	Одноагрегатні (проводяться для отримання показників параметрів режиму роботи окремого споживача енергії)	Багатоагрегатні (проводяться для отримання показників параметрів режиму роботи декількох споживачів енергії)	—	—
За характером вимірювального процесу	Статичні (вимірювана величина приймається незалежно від часу, тобто незмінною, в крайньому разі, протягом терміну вимірювань, наприклад, потік води в трубопроводі при сталому навантаженні насоса тощо)	Динамічні (визначення миттєвих значень фізичних величин або їх зміни в часі, наприклад, вимірювання за допомогою осцилографа, даталогра або самописного приладу)	—	—

МВВ у залежності від складності та галузі використання викладають:

- в окремих нормативних документах (в тому числі нормативному документі організації (енергоаудиторської компанії);
- у розділі або частині нормативного документа.

МВВ поділяють на робочі й типові. Робочі МВВ устанавлюють певну послідовність дій, що повинен виконати оператор при підготовці і проведенні вимірювань. Типові МВВ містять у собі набір початкових вимог, якими необхідно керуватися при розробці робочої МВВ. У типовій МВВ можуть бути вимоги до точності вимірювань, застосування певних типів ЗВТ і певних методів виконання вимірювань.

⁸ Комплекс загальнодержавних нормативно-технічних і нормативних документів, які регламентують загальні правила, норми та вимоги, спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань.

Якщо для виконання певного вимірювання під час проведення енергоаудиту виявиться, що типова методика вимірювання в реєстрі ДСВ відсутня, то в аудиторів виникає потреба в розробленні робочої МВВ.

Робочу МВВ необхідно розробляти у двох випадках:

- якщо вимірювання виконуються методом безпосередньої оцінки, а в технічній документації ЗВТ немає даних про показники точності вимірювань або вказівок про їх розрахунок;
- якщо вимірювання виконуються будь-яким іншим методом, для якого необхідно розробити алгоритм розрахунку результату і показників точності вимірювань.

У загальному випадку МВВ розробляють і документують, якщо вимірювальну задачу необхідно вирішувати в одній із наступних ситуацій:

- вимірювання виконують із застосуванням ЗВТ, але в інструкції з експлуатації цього ЗВТ не приведені ні показники точності вимірювань, ні алгоритми їх обчислення за метрологічними характеристиками ЗВТ;
- вимірювання виконують за методами, похибки результатів вимірювання яких визначаються не лише похибкою ЗВТ, але й іншими складовими похибок;
- вимірювання виконують за методами для яких потрібні нові правила отримання результатів вимірювань, алгоритму обчислення результатів вимірювання і показників точності вимірювання;
- вимірювання виконують відповідно до методів, коли визначаюче значення величини знаходять як відому залежність між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірюванням;
- вимірювання, що виконуються при кількісному хімічному аналізі.

Розробку МВВ здійснюють на основі початкових даних, до складу яких входять: призначення МВВ, вимоги до діапазону та похибки вимірювань, умов проведення вимірювань, інших вимог до МВВ, а також вимог до параметрів об'єкта контролю, значення яких контролюються за результатами вимірювань. Початкові дані викладають у технічному завданні або інших документах на розробку МВВ.

Розроблення та реалізацію МВВ необхідно виконувати поетапно:

- встановлення завдання щодо вимірювання;
- визначення вимог до МВВ;
- вибір та підтвердження можливості реалізації МВВ;
- визначення варіанта створення МВВ;
- розроблення проекту документа, що регламентує МВВ (стандарт, технічні умови, рекомендації тощо);
- метрологічна експертиза проекту документа, що регламентує МВВ;
- визначення необхідності атестації МВВ;
- атестація МВВ;
- затвердження та реєстрація МВВ;
- формування МВВ;
- вимірювання за МВВ;
- метрологічний контроль та нагляд за атестованими МВВ;
- коригувальні дії щодо атестованої МВВ;
- поліпшення атестованої МВВ.

Наведемо приклади декількох типових МВВ. Так, наприклад, для вимірювання параметрів мікроклімату в приміщеннях доцільно користуватися рекомендаціями СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы», а для вимірювання рівнів освітленості в приміщеннях корисними будуть рекомендації та вимоги, що викладені в ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96) Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості, СанПин 2.2.1/2.1.11278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», ДБН В.2.5-28:2018 «Инженерное оборудование зданий и споруд. Природное и штучное освещение».

6.4 Засоби вимірювальної техніки, що використовуються під час проведення енергетичного аудиту

Одним із головних завдань в організації діяльності енергоаудитора є правильний і ефективний вибір обладнання. Прилади для проведення енергоаудиту промислових підприємств – це комплекс засобів вимірювань, який повинен відповідати певним вимогам, а саме:

- відсутність впливу вимірювальних приладів на роботу досліджуваних електричних мереж під час вимірювання режиму їх роботи;
- портативність – вага приладу має бути не більше 15 кг, прилад має бути виконаним в захищеному корпусі або з наявним захисним кейсом;
- автономність – наявність вбудованого джерела живлення, що забезпечує декілька годин роботи;
- можливість реєстрації даних – наявність внутрішнього накопичувача або, в крайньому випадку, можливості підключення зовнішнього накопичувача;
- зв'язок з комп'ютером – наявність порту та програмного забезпечення для передачі даних на комп'ютер;
- наявність Свідоцтва про метрологічну атестацію засобів вимірювальної техніки в Україні (якщо це передбачено чинним законодавством).

Для проведення енергетичного аудиту промислових підприємств необхідно мати мінімальний комплект засобів вимірювального обладнання, основні характеристики якого наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Основні характеристики мінімального комплекта вимірювальних приладів

Тип приладу	Призначення	Додаткові функції
Ультразвукові витратоміри	Для неруйнівного вимірювання витрати рідини в повністю заповнених трубах і за умови відсутності бульбашок газу та суспензії в потоці	Наявність накопичувача даних і порту для підключення до комп'ютера
Газоаналізатори	Для визначення складу газів у пробі, що відбирається. Застосовуються для аналізу димових газів, налаштування теплогенеруючого обладнання, що споживає паливо, технічного та екологічного моніторингу	Вимірювання температури газів, визначенням концентрації CO ₂ , наявність запам'ятовувального та друкувального пристроїв
Тепловізор	Для отримання візуального відображення у вигляді термограми розподілу температур на поверхні об'єкта. Розподіл температури показується на дисплеї тепловізора як колірне поле, при цьому кожному кольору відповідає своя температура. Тепловізор в енергоаудиті дозволяє дистанційно виявити витіки тепла з віконних блоків і дверей будівель, на поверхнях теплогенерувального обладнання та теплотрасах	Тепловізори комплектуються програмним забезпеченням, необхідним для зберігання і аналізу інфрачервоних зображень та для підготовки інформативних і якісних звітів
Інфрачервоні термометри	Для безконтактного вимірювання температури	Наявність налаштування коефіцієнта випромінювання поверхні
Цифрові термометри	Для вимірювання температури контактним способом у широкому спектрі установок і діапазонів	Можливість використання з термопарами різного типу
Повітряні термометри	Для вимірювання навколишньої температури	Використовуються разом із цифровим термометром
Накладні термометри	Для вимірювання температури середовища через металеву стінку	Використовуються разом із цифровим термометром
Контактні термометри	Для контактного вимірювання температури середовища	Використовуються разом із цифровим термометром

Продовження таблиці 6.2

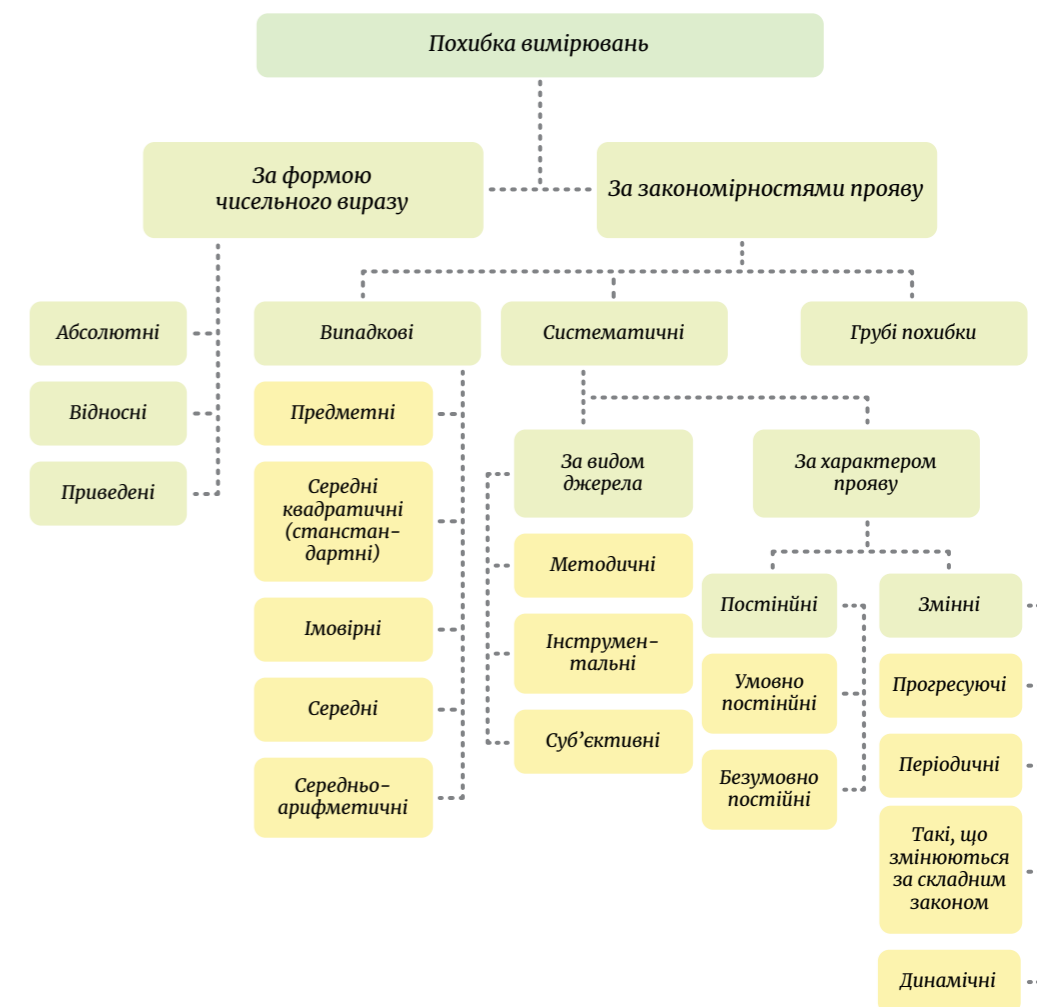
Тип приладу	Призначення	Додаткові функції
Аналізатори та/або реєстратори даних щодо електроспоживання	Для вимірювання та реєстрації протягом тривалого часу параметрів трифазних та однофазних електричних мереж, а також обладнання для отримання графіків електричних навантажень технологічного устаткування	Наявність оптичного датчика (для зчитування показів лічильників зі стрілочними або дисковими механізмами), а також накопичувача даних і порту для підключення до комп'ютера
Струмовимірні ключі	Для миттєвих вимірювань параметрів трифазних та однофазних електричних мереж (струму, напруги, потужності, коефіцієнта потужності)	Наявність накопичувача даних і порту для підключення до комп'ютера
Накопичувачі даних (data logger)	Для реєстрації через певні інтервали часу числових значень, що характеризують той або інший параметр. Прилад є універсальним, оскільки може здійснювати розпізнавання та обробку сигналів, що надходять в цифровому та аналоговому вигляді	Порт для підключення до комп'ютера
Аналізатор показників якості електроенергії	Для реєстрації широкого спектру параметрів електричних мереж, таких як сила струму, напруга, потужність, коефіцієнт потужності, несинусоїдальність тощо	—
Ультразвукові товщиноміри	Для визначення товщини стінок труб та інших предметів	Використовується, як правило, разом з витратоміром
Далекоміри (рулетка, лазерний далекомір)	Для вимірювання відстаней до об'єктів, а також лінійних розмірів об'єктів	<ul style="list-style-type: none"> діапазон відстаней — 0÷200 м; точність ± 2–3 мм; вимірює довжини у см, мм, м.
Анемометри	Для вимірювання швидкості потоку при наявності відкритого доступу	—
Тахометр	Для вимірювання кутової швидкості обертового тіла (частоту обертання деталей машин та механізмів)	Вимірювання може бути контактним або безконтактним залежно від типу датчика швидкості обертання
Манометри та диференціальні манометри	Для вимірювання швидкості потоку в закритих каналах	Наявність певного набору трубок Піто
Люксометр	Для вимірювання освітленості, створюваної освітлювальними лампами і природним світлом	—
Секундомір	Для визначення тривалості часу певної події	—

В залежності від типу об'єкта енергетичного аудиту комплект засобів виміральної техніки може бути доповнений такими приладами:

- приладами для вимірювання витіків стисненого повітря в трубопроводах;
- гігрометром;
- трубкою Піто;
- кореляційним визначником місць пошкодження трубопроводів;

6.5 Похибки вимірювань

Рисунок 6.3 – Класифікація похибок вимірювань



Похибка вимірювання $\Delta x_{\text{вим.}}$ – це відхилення результату вимірювання x від дійсного значення вимірюваної величини x_d :

$$\Delta x_{\text{вим.}} = x - x_d \quad (6.1)$$

Залежно від форми виразу розрізняють абсолютну, відносну і приведену похибки вимірювання.

Абсолютна похибка визначається як різниця $\Delta = x - x_i$ або $\Delta = x - x_d$, а відносна – як відношення:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} 100\% \quad \text{або} \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{x_d} 100\% .$$

Приведена похибка визначається як $\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} 100\%$, де x_N – нормоване значення величини. Наприклад, $x_N = x_{max}$, де x_{max} – максимальне значення вимірюваної величини.

Як істинне значення під час багаторазових вимірювань параметра виступає середнє арифметичне значення \bar{x}

$$x_u \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (6.2)$$

Величина x , отримана в одній серії вимірювань, є випадковим наближенням до x_u . Для оцінки розсіяння окремих результатів x_i , вимірювання щодо середнього \bar{x} визначають середнє квадратичне відхилення (СКВ):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n \geq 20$$

$$\text{або } \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n > 20. \quad (6.3)$$

Залежно від характеру проявлення, причин виникнення і можливостей усунення розрізняють систематичну і випадкову складові похибки вимірювань, а також грубі похибки.

Систематична складова похибки Δ_p залишається постійною або закономірно змінюється під час повторних вимірювань одного і того ж параметра.

Суб'єктивні систематичні складові похибки пов'язані з особистими якостями енергоаудитора. Як правило, ці складові виникають через помилки у визначенні показів (приблизно 0,1 поділки шкали) і недосвідченість енергоаудитора. В основному ж, систематичні складові похибки виникають через методичні й інструментальні чинники.

Методичний чинник зумовлений недосконалістю методу вимірювання, прийомами використання засобів вимірювальної техніки, некоректністю розрахункових формул і округлення результатів. **Інструментальний чинник** зумовлений власною похибкою засобів вимірювальної техніки, що визначається класом точності і обмеженою роздільною здатністю засобів вимірювальної техніки.

Випадкова складова похибки Δ^o змінюється випадково під час повторних вимірювань одного і того ж параметра.

Випадкові складові похибки не можна виключити повністю, але їх вплив може бути зменшено під час оброблення результатів вимірювань. Для цього повинні бути відомі ймовірнісні та статистичні характеристики: закон розподілу, математичне очікування, СКВ, довірча ймовірність і довірчий інтервал. Часто для попереднього оцінювання закону розподілу параметра режиму споживання ПЕР використовують відносну величину СКВ – коефіцієнт варіації, що визначається за виразом:

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad \text{або} \quad v_x = \left(\frac{\sigma_x}{\bar{x}}\right) 100\% . \quad (6.4)$$

При $v_x \leq 0,33, \dots, 0,35$ можна вважати, що розподіл випадкової величини відповідає нормальному закону.

Для зменшення випадкової складової похибки є два шляхи: підвищення точності вимірювань і збільшення кількості вимірювань.

Кількість вимірювань можна вибрати з даних таблиці 6.3 або за однією з формул:

$$n = (t_p \sigma_x / 0,5\Delta)^2; \quad (6.5)$$

$$n = \geq 2 (1+n_{от}) / (1-P), \quad (6.6)$$

де $n_{от}$ – кількість експериментальних результатів, що відкидаються;

P – ймовірність випадкової величини.

Коефіцієнт t_p називається коефіцієнтом Стьюдента. Він визначається через задану ймовірність певності P і число вимірювань n .

Таблиця 6.3 –
Необхідна кількість вимірювань при нормальному законі розподілу випадкової величини (при $P = 0,95$)

Відносна похибка, δ	Коефіцієнт варіації, v			
	0,20	0,25	0,30	0,35
0,05	61	96	140	190
0,10	18	26	34	47
0,15	11	13	18	23
0,20	6	8	11	14
0,25	5	6	8	10

Грубі похибки виникають через помилкові дії енергоаудитора, несправності засобів вимірювальної техніки або значні зміни умов вимірювань.

Грубі похибки вимірювань можуть дуже спотворити величини середнього значення, СКВ та довірчий інтервал, тому їх виключення з результатів вимірювань обов'язкове. Звичайно, вони відразу помітні у ряді отриманих результатів вимірювань, але у кожному конкретному випадку необхідно довести, що похибка мала місце.

Існує декілька критеріїв для оцінки грубих похибок.

Критерій 3σ . В цьому випадку вважається, що результат, який виникає з ймовірністю $P \leq 0,003$, малоймовірний і його можна кваліфікувати як грубу помилку, тобто сумнівний результат x_i відкидається, якщо $|\bar{x} - x_i| > 3\sigma$.

Величини \bar{x} і σ обчислюють без урахування x_i . Даний критерій надійний при кількості вимірювань $n \geq 20, \dots, 50$.

Якщо $n < 20$, доцільно застосовувати критерій Романовського. При цьому обчислюють відношення $\left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma} \right| = \beta$ і набуте значення β порівнюють з теоретичним β_T – при вибраному рівні значущості P за таблицею 6.4.

Таблиця 6.4 –
Значення рівня значущості $\beta_T = f(n)$

Ймовірність, P	Кількість вимірювань						
	n=4	n=6	n=8	n=10	n=12	n=15	n=20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Звичайно вибирають $P = 0,1 - 0,05$, і якщо $\beta \geq \beta_{tr}$, то результат відкидають.

Приклад. Вимірювання сили струму дало такі результати: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А. Необхідно перевірити, чи не є промахом значення 10,40 А.

Обробивши дані, отримаємо значення:

$\bar{x} = 10,6$ А; $\sigma = 0,094$ А.

За критерієм Шовене визначаємо $|10,16 - 10,50| = |10,24| > 2 \cdot 0,094$. Тому результат 10,40 є грубою помилкою.

6.6 Оцінка енергоефективності суттєвих споживачів енергії шляхом проведення вимірювань

6.6.1 Оцінка ефективності використання палива котлами, печами та теплогенераторами, а також стану їх теплоізоляції

Найчастіше на підприємстві застосовуються котли та печі, що спалюють природний газ або тверде паливо. Рідше для цих потреб застосовують мазут, зважаючи на його вартість.

Для проведення якісного обстеження основного обладнання котельні та оцінки його ефективності роботи необхідно мати уявлення про компоновку обладнання котельні. Приклад компоновки сучасної парової котельні показано на рисунку 6.4.

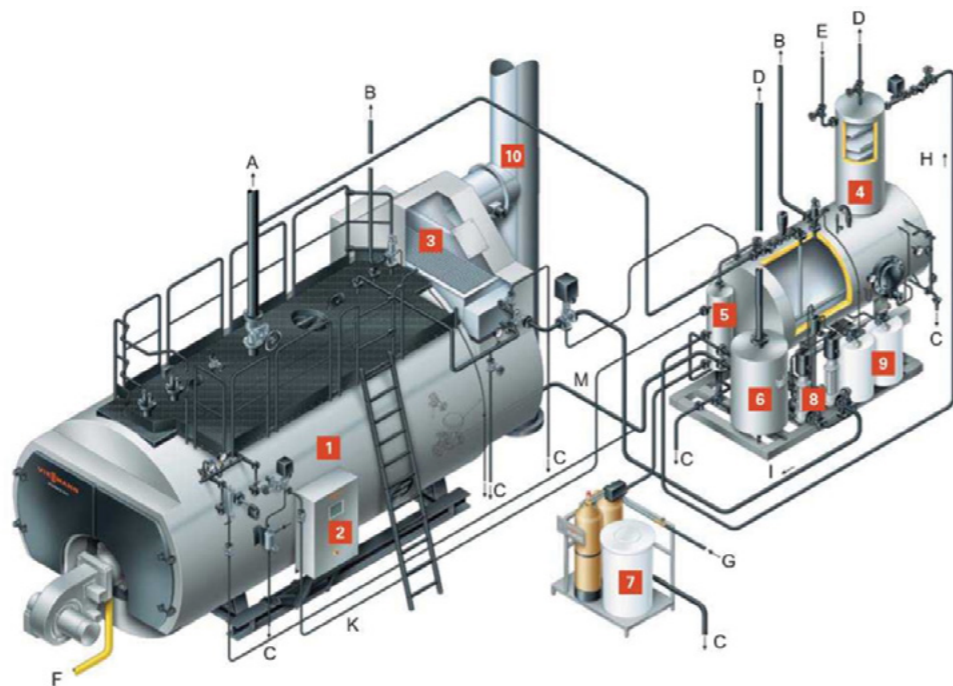


Рисунок 6.4 – Приклад 3D представлення компоновки сучасної парової котельні

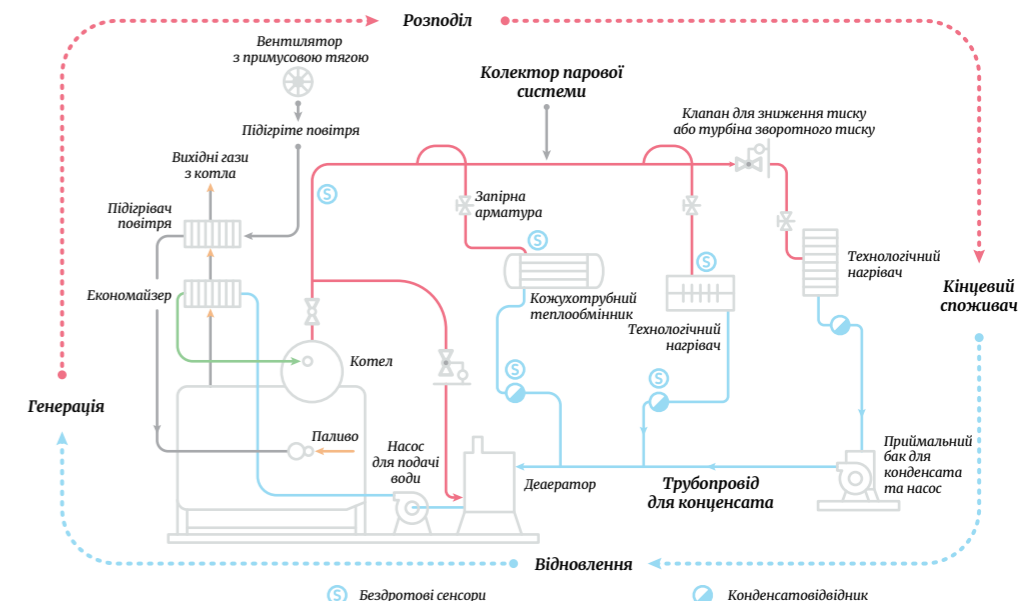
- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1) Паровий котел | A) Пар для споживача |
| 2) Система управління (PLC) | B) Запобіжний клапан зливної труби |
| 3) Інтегральний економайзер | C) Вентиляційна та зливна лінія |
| 4) Загальна система теплової деаерації | D) Лінія водяної пари |
| 5) Теплообмінник для контролю кількості розчинених твердих частинок (TDS) в котельній воді | E) Вхід конденсата |
| 6) Кулер для змішування | F) Подача палива |
| 7) Хімічна очистка води | G) Впускний отвір сирої води |
| 8) Насос для подачі води | H) Пом'якшена вода |
| 9) Дозуючі станції | I) Подача води |
| 10) Амортизатор димових газів | K) Лінія контролю TDS у воді котла |
| | M) Лінія продувки |

Джерело: Technical Guide for steam boilers / Publisher Viessmann Werke, Allendorf (Eder).
Author Gerd Sattler, Tilman Schibel

Однак, в більшості випадків таке наочне 3D представлення компоновки котельні на підприємствах відсутнє. В будівлі котельні можна знайти схему паропроводів котельні або парову схему котельні, що теж можуть дати уявлення про наявне обладнання котельні.

Якщо ж такі схеми в котельні і на підприємстві відсутні, то енергоаудиторам доцільно їх схематично відтворити. Приклад схематичного зображення парової системи котельні показано на рисунку 6.5.

Рисунок 6.5 – Приклад схематичного зображення парової системи котельні



Джерело: Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry, Second Edition (DOE/GO-102012-3423)

Такі схеми, в поєднанні з фотофіксацією розташування основного обладнання котельні, можуть бути достойною альтернативою 3D представленню компоновки котельні.

Основним об'єктом обстеження котельні є котел. **Котел** – це пристрій, призначений для одержання пари або гарячої води за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива. Основними елементами котла є топка й теплообмінні поверхні.

Котли класифікують за такими ознаками:

- за продуктивністю – малої, середньої та великої потужності;
- за видом вироблюваного теплоносія – парові і водогрійні;
- за видом застосованого палива – котли, що працюють на газі – мазуті і на твердому паливі; котли-утилізатори або енерготехнологічні котли, що працюють за рахунок використання теплоти газів технологічного процесу (наприклад, доменне виробництво);
- за конструктивною ознакою – газо- і водотрубні;
- за компоновочним рішенням – горизонтально- і вертикально-водотрубні; з горизонтальним, вертикальним розташуванням топкової і конвективної частини або П-образною компоновкою;
- за наявністю барабана – дво-, однобарабанні або без барабана;
- за циркуляцією пароводяної суміші – з природною і примусовою циркуляцією;
- за режимом роботи – конденсаційні та неконденсаційні.

Типовими для українських підприємств є водотрубні котли радянського виробництва, що працюють на газі або на деревині.

Найбільш поширеними серед водогрійних котлів є котли малої потужності, наприклад, НІСТУ-5 (потужністю 0,54 МВт) та КСВа-0,63 (потужністю 0,63 МВт). Єдиними перевагами таких котлів є їх висока ремонтпридатність та довговічність. Однак, зазвичай ефективність таких котлів знаходиться у проміжку 70-85 %, що викликано низкою суттєвих недоліків. Серед цих недоліків:

- відсутність автоматичного регулювання процесу горіння,
- неефективні спалювальні пристрої (пальники),
- забруднення поверхонь нагріву,
- високий рівень присосів повітря в топці, відсутність або порушення теплової ізоляції.

Зважаючи на такі недоліки, при наявності водогрійних котлів на підприємстві першочергово слід розглядати можливість їх заміни на сучасні жаротрубні котли, які можуть працювати у конденсаційному режимі із ефективністю близько 95 %.

Нижче наведено приклад обчислення економічного ефекту та терміну окупності заміни старого неефективного водогінного котла на новий – жаротрубний з вищою енергоефективністю.

Приклад оцінки доцільності впровадження заходу з енергоефективності щодо заміни старого котла на новий

Вихідні дані:

Теплове навантаження, Q'_F	0,600 МВт
Річна кількість годин роботи котла, b_{VF}	2 800 год/рік
ККД старого котла (до модернізації), η_1	80 % = 0,80
ККД нового котла (після модернізації), η_2	95 % = 0,95
Ціна на газ	15 євро/МВт·год

Для оцінки необхідно визначити:

1. Річне виробництво тепла	Q_N
2. Річне споживання палива старим котлом	Q_1
3. Річне споживання палива новим котлом	Q_2
4. Річне заощадження коштів, євро/рік	E_p

Розв'язання:

Річне виробництво тепла:

$$Q_N = 0,600 \text{ МВт} \times 2800 \text{ год/рік} = 1\,680 \text{ МВт·год/рік.}$$

Річне споживання палива старим котлом (замість обчислення можна використовувати статистичні дані при наявності приладів обліку).

$$Q_1 = 1\,680 \text{ МВт·год/рік} / 0,80 = 2\,100 \text{ МВт·год/рік.}$$

Річне споживання палива новим котлом:

$$Q_2 = 1\,680 \text{ МВт·год/рік} / 0,95 = 1\,768 \text{ МВт·год/рік.}$$

Річне заощадження коштів:

$$E_p = (2\,100 \text{ МВт·год/рік} - 1\,768 \text{ МВт·год/рік}) \times 15 \text{ євро/МВт·год} = 4\,980 \text{ євро/рік.}$$

Статичний строк окупності, враховуючи, що вартість нового газового котла потужністю 600 кВт становить близько 30 000 євро:

$$\text{Ток} = 30\,000 \text{ євро} / 4\,980 \text{ євро/рік} = 6 \text{ років.}$$

Така ж сама послідовність може бути використана для швидкої оцінки доцільності проведення не лише заміни старого котла на новий, а й для будь-якого заходу із підвищення ефективності (модернізації) існуючих на підприємстві котлів або печей.

Зверніть увагу, наведена оцінка доцільності впровадження заходу є технічною. Вона не включає фінансову оцінку додаткових витрат (наприклад, реконструкцію димової труби для запобігання обмерзання або на нову систему хімічної водопідготовки), а також неенергетичні переваги (наприклад, зменшення витрат на поточні ремонти).

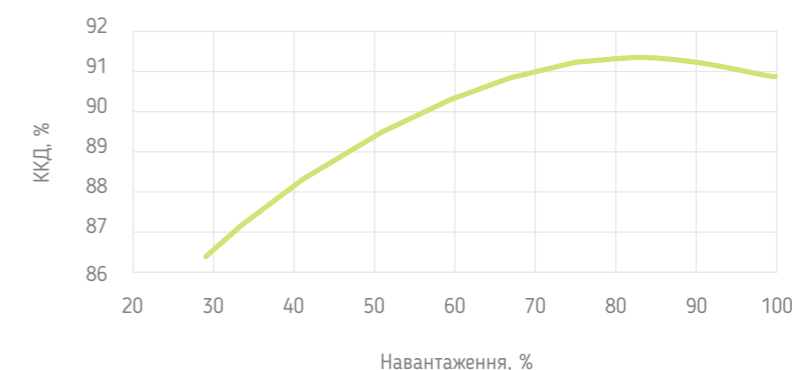
Найбільш поширеними серед радянських парових котлів є котли серій ДКВР, Е та ДЕ із типовою ефективністю 80–85 % та потужністю від 1 до 10 тонн пари на годину (ДКВР-4/13, ДКВР-6,5 / 13, ДКВР-10/13, Е-1,0-0,9, Е-2,5-0,9, Е-2,5-1,4, Е-4,0-1,4).

Водотрубні парові котли ДКВР оснащені однокамерною топкою із фронтальним розташуванням вихрових газомасляних пальників, повітрорудками, димососами та необхідними приладами контролю, моніторингу та вимірювання. Котли мають важку цегляну обмурівку. Номінальна потужність котла в т/год пари відповідає цифрам моделі, при номінальній температурі 194 °С та надлишковому тиску до 13 атм.

Номінальна ефективність становить 91,2 % при спалюванні газу та 89,8 % при спалюванні рідкого палива.

Зверніть увагу, що незважаючи на досить високий номінальний ККД, часто середній ККД таких котлів є набагато нижчим через невідповідність потужності котла та обсягів пари, що потребує виробництво. Так, при завантаженні котла близько 30–40 % його ККД становить вже 86–88 % у найкращих випадках, як показано на рисунку 6.6. Крім того, робота на низьких навантаженнях спричиняє низку проблем (наприклад, конденсацію вологи із димових газів), що призводить до швидкого виходу котла з ладу.

Рисунок 6.6 – Залежність ККД типового котла ДКВР від навантаження



Тому, в першу чергу доцільно виконати оцінку відповідності потреб виробництва і встановленої потужності котлів та запропонувати, у разі необхідності, встановлення котлів меншої потужності.

Водотрубні парові котли серії Е облаштовані основним обладнанням та пристроями аналогічно котлам ДКВР, але додатково мають сталевий кожух і комбіновану обшивку, виготовлену з вогнетривкої цегли та ізоляційних плит з вулканічної або мінеральної вати.

Номінальна потужність котла в т/год пари відповідає маркуванню його моделі, при номінальній температурі 175 °С і надлишковому тиску до 8 атм.

Номінальна ефективність становить 89 % при спалюванні газу та 87,5 % при спалюванні рідкого палива. Фактична ефективність роботи котлів після тривалого часу експлуатації (на практиці зазвичай понад 40–50 років, при номінальному терміні експлуатації до 20 років) стає значно нижчою від початкової; це обумовлює необхідність заміни або принаймні модернізації старих та малоефективних котлів.

Ще однією причиною заміни котлів є падіння обсягів виробництва багатьох підприємств, що призводить до зменшення теплового навантаження та, як наслідок, до неефективної роботи котлів, а іноді навіть унеможлиблює їх роботу. У такій ситуації заміна котла на новий із меншою потужністю безпосередньо призводить до економії палива.

На українському ринку є різні пропозиції парових котлів для потреб промисловості (до 10 МВт), як водотрубних, так і жаротрубних.

Провідні європейські заводи виробляють переважно парові жаротрубні котли, продуктивність пари яких коливається від 5 до 26 т/год, при високому тиску від 6 до 25 бар (за запитом до 30 бар), ККД 91–95 % (залежно від моделі).

Оскільки найбільш поширеними на підприємствах є котли, печі та теплогенератори на природному газі, то подальший опис робіт енергоаудитора під час оцінки ефективності використання палива паливоспалювальними установками та стану їх теплоізоляції будемо розглядати на прикладі газових котлів.

Природний газ поступає на підприємство з міської мережі, а пониження тиску відбувається в газорозподільному пункті, розташованому або на самому підприємстві, або поряд з ним. Дані про споживання газу підприємством можна отримати в плановому відділі підприємства (у вигляді зведених таблиць) або бухгалтерії у вигляді платіжок про сплату за надані послуги з паливостачання.

Відповідно до «Правил технічної експлуатації систем тепlopостачання комунальної енергетики України», природний газ, який використовується для газифікованих котельнь, повинен відповідати вимогам ГОСТ 5542-87. Характеристики палива, яке постачається на котельню, можна отримати із сертифікату, що є частиною договору на газопостачання. Обов'язково має бути передбачений комерційний облік для здійснення фінансових розрахунків між газозбутовими організаціями і кожним споживачем, а також внутрішньовиробничий (технологічний) для контролю за ефективністю використання газу і дисципліною споживання. При цьому, внутрішньовиробничим обліком (технологічним) кількості газу повинні бути забезпечені окремі об'єкти, у тому числі цехи, ділянки, агрегати, які мають газове споживання понад 350 000 м³ природного газу за рік або еквівалентну за тепловим ефектом кількість скрапленого вуглеводневого газу.

Під час оцінки ефективності використання палива котлами, печами та теплогенераторами, а також стану їх теплоізоляції енергоаудитор має здійснювати такі дії:

- 1) Оцінювати:
 - наявність режимних карт (див. приклад режимної карти котла на рисунку 6.7), їх своєчасне оновлення, а також чи для кожного котла здійснюється дотримання режимів роботи відповідно до режимних карт;
 - рівень контролю персоналом підприємства за присосами повітря в топках і газоходах, а також рівень цих присосів;
 - чи використовуються на підприємстві киснеміри для контролю за режимом горіння палива і розрахунку коефіцієнта надлишку повітря в топках котлів;
 - наявність результатів проведення регулярних (не рідше 1 разу на місяць) аналізів складу продуктів згорання котлів та печей;
 - стан витратомірних пристроїв та їх відповідність вимогам нормативів (для палива, пари, гарячої води тощо);
 - працездатність автоматики на кожному котлі (горіння та продувки тощо);
 - витрати пари на власні потреби і продування, та порівняти їх з нормативними значеннями;
 - технічний стан вузлів і елементів кожного котла, ізоляції та обмурівки обладнання і трубопроводів пари і гарячої води, а також арматури, економайзера, топки, допоміжних механізмів котлів, схем організації забору повітря на котли (пальники, форсунки, дуття) тощо.
- 2) Виконувати:
 - перевірку балансу по витраті газу між витратомірами комерційного обліку і витратомірами поагрегатного обліку газу на котлах;
 - аналіз завантаження котлів відповідно до режимних карт;
 - виявлення причин непланових пусків котлів, зіставлення фактичних витрат палива, тепла та електроенергії на пуски з їх нормативними значеннями;
 - інструментальне обстеження котлів, під час якого доцільно звернути увагу на:
 - фактичні присоси;
 - надлишки повітря в топці при спалюванні палива;
 - значення концентрації CO та CO₂ у димових газах;
 - температуру димових газів;
 - температуру живильної води на вході в барабан;
 - температуру живильної води на вході в економайзер, нагрів в ньому живильної води;
 - величину продувки котла;
 - стан внутрішніх поверхонь нагріву, витримування параметрів роботи котла по всім потокам;
 - інші вимірювальні параметри.

Рисунок 6.7 –
Приклад заповненої
режимної карти котла

Узгоджено:

РЕЖИМНА КАРТА КОТЛА
ДЕ-4-14 ГМ стац.№ 1
Встановленого в котельні:

При спалюванні природного газу з теплотворною здатністю: 8880 ккал/м³ (37,2 МДж/м³)
Пальник: МДГТ 315

№ з/п	Найменування показника	Розмірність	Навантаження котла у % від номіналу			
			25%	49%	70%	88%
1	Тиск газу в колекторі котла	кгс/см ²	0,6	0,6	0,6	0,6
2	Тиск газу перед пальником	кгс/м ²	5	20	50	90
3	Витрата газу котлом - при нормальних умовах	м ³ /год	37,7	133,3	193,3	246,9
4	Тиск повітря перед пальником	кгс/м ²	4	18	37	52
5	Розрідження: - в топці котла	кгс/м ²	2,5	2,5	2,5	2,5
6	Склад сухих продуктів згорання за котлом:					
	- діоксиду вуглецю	%	9,8	10	10,2	10,5
	- кисню	%	3,7	3,3	3	2,5
	- оксиду вуглецю	мг/м ³	1	4	6	9
7	Коефіцієнт надлишку повітря:					
	- за котлом	-	1,21	1,19	1,17	1,14
8	Температура продуктів згорання:					
	- за котлом	°C	181	224	256	287
9	Масові виходи забруднюючих речовин в атмосферу:					
	- оксиду вуглецю	г/с	0,0002	0,0018	0,0037	0,007
10	Температура живильної води		---	У відповідності з режимною картою водонапірного режиму котла		
	Тиск живильної води		---	У відповідності з технологічним режимом роботи котла		
11	Тиск насиченої пари в барабані котла	кгс/см ²	5,2	6	7,8	11
12	Теплопродуктивність котлоагрегата	Гкал/год	0,4832	1,121	1,6338	2,05
13	Паропроодуктивність котлоагрегата	т/год	0,537	1,943	2,8	3,522
14	ККД котла	%	91	89,6	88,1	86,5
15	ККД котлоагрегату	%	94,3	94,7	94,6	93,5
16	Ефективність економайзера	%	42,4	52,4	57,5	53,9

1. Строго слідкувати за значеннями наступних параметрів: "тиск газу перед пальником" – "тиск повітря перед пальником" – "розрідження в топці котла", використовуючи дані режимної карти. 2. Один раз за зміну перебірає "нуль" показуючих приладів котла.

Складені інженери-наладчики:

- аналіз водно-хімічного режиму котлів, в тому числі рівень забрудненості поверхонь нагріву та оцінку впливу забруднення поверхонь на перевитрату палива;
- аналіз енергетичних втрат на продувку котлів (в перерахунку на умовне паливо): обґрунтованості значення безперервної продувки, частоти і тривалості періодичних продувок, енергетичних втрат безпосередньо на продувки, облік продувок (по витратомірам і за даними хімічного контролю).

Під час обстеження котельного обладнання аудитор слід звернути увагу на такі чинники втрат теплоти в котлах та допоміжному обладнанні котельнь:

- наднормативне підвищення коефіцієнта надлишку повітря підвищує втрати теплоти з відхідними (димовими) газами, знижується ККД котлоагрегата та підвищуються втрати палива;
- порушення обмурівки котла призводить до наднормативної втрати теплоти;
- збільшення об'єму продуктів згорання палива за рахунок розбавлення їх повітрям збільшує втрати теплоти від хімічної неповноти згорання палива;
- відхилення вмісту CO₂ у димових газах від оптимального значення збільшує перевитрату палива котлоагрегатом;
- наявність накипу на внутрішній поверхні котла збільшує витрату палива;
- збільшення продувки котла проти нормативних значень призводить до перевитрати палива;
- відхилення навантаження котла від оптимального призводить до перевитрати палива.

Задля проведення інструментального обстеження режимів паливоспоживання газових котлів застосовують газоаналізатор та тепловізійну камеру (пірометр).

Так на рисунку 6.8 показані результати проведення вимірів за допомогою газоаналізатора. Як можна побачити з екрана газоаналізатору, ефективність спалювання палива (ККД) становить 76,6 %, а вміст кисню O₂ у димових газах становить 14,2 %. Слід звернути увагу, що типовим значенням ККД для котла на газообразному паливі є показник вищий за 90 %,

а вміст кисню у димових газах не повинен перевищувати 3–5 %. Показники у наведеному прикладі свідчать або про значення коефіцієнта надлишку повітря, що є значно вищим за номінальний, або про наявність присосів повітря. Заходи з усунення обох причин є маловитратними та швидкокоупними.

Рисунок 6.8 –
Приклад візуалізації
результатів роботи
газоаналізатора



Для полегшення аналізу отриманих результатів, дані доцільно занотувати у відповідну таблицю (див. таблицю 6.5).

Таблиця 6.5 – Приклад таблиці результатів інструментального обстеження режимів паливоспоживання газового котла №1 E-1,0-0,9Г з пальником Г-1,0К.

Таблиця 6.5 –
Приклад таблиці результатів
інструментального обсте-
ження режимів паливоспо-
живання газового котла №1
E-1,0-0,9Г з пальником Г-1,0К

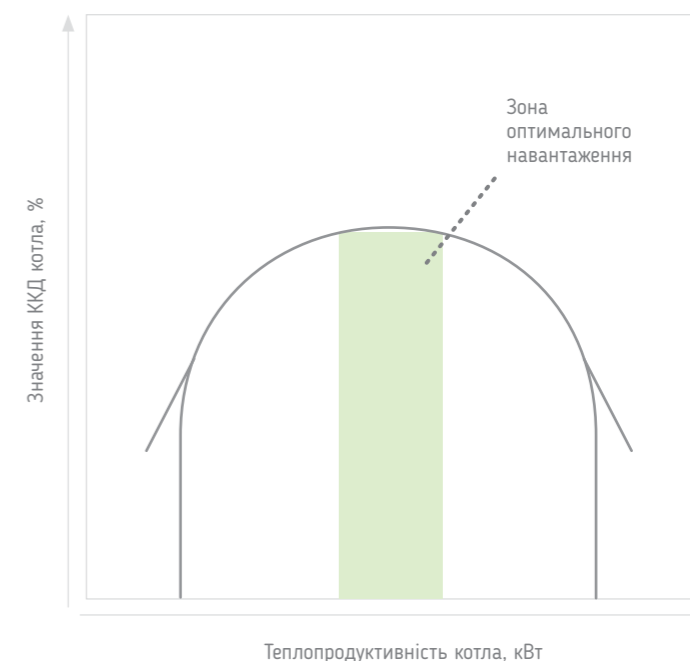
Параметр вимірювання	Розмір-ність	Значення		При-мітка
		Фак-тичне	Типове	
T1 — температура повітря на вході в пальник	°C		Залежить від наявності попереднього підігріву за рахунок теплоти димових газів	
T2 — температура димових газів	°C		180–250 °C для водотрубних котлів без економайзера; 140–180 °C для водотрубних котлів із економайзером; 80–120 °C для сучасних жаротрубних котлів;	
λ — коеф. надлишку повітря	в. о.		1,2–1,4 для котлів на рідкому паливі; 1,1–1,2 для котлів на газоподібному паливі із звичайними пальниками; 1,05–1,1 для котлів на газоподібному паливі із сучасними пальниками та автоматикою контролю горіння.	
Вміст в димових газах CO ₂	%		≤ 13 %	
Вміст O ₂	%		≤ 5 % для котлів на рідкому або твердому паливі; ≤ 3 % для котлів на газоподібному паливі;	

Продовження таблиці 6.5

Параметр вимірювання	Розмір-ність	Значення		При-мітка
		Фак-тичне	Типове	
Вміст CO	ppm		≤ 20 ppm для котлів, що працюють на газоподібному паливі. Значно вищі значення свідчать про неповноту згоряння палива	
Вміст NO _x	%			
Вміст SO ₂				
η — ККД спалювання палива	%			

Для визначення **втрати (перевитрати) палива при нераціональному завантаженні** котлоагрегатів необхідно побудувати графік залежності величини ККД котлоагрегата від його теплового навантаження за даними вимірів або розрахунковими даними (див. рисунок 6.9).

Рисунок 6.9 –
Форма графіка для визначення
зони оптимального
навантаження котла



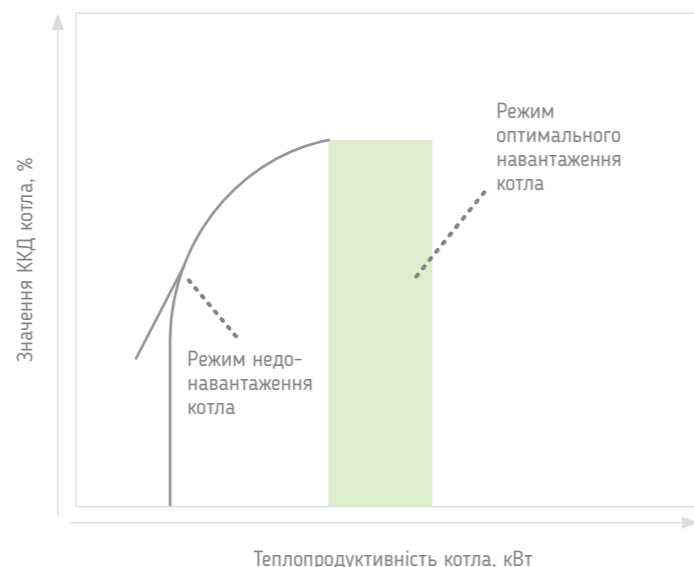
Відомо, що зі збільшенням теплопродуктивності котла питомі втрати у навколишнє середовище q_5 зменшуються, а питомі втрати з димовими газами q_2 , хімічним q_3 і механічним q_4 недопалом збільшуються⁹. Спочатку зниження втрат q_5 більше за збільшення втрат $q_2 + q_3 + q_4$ і ККД котла зростає, але потім втрати $q_2 + q_3 + q_4$ зростають скоріше, ніж зниження q_5 і ККД починає знижуватись.

Якщо знати залежність ККД котла від теплового навантаження можна встановити втрату палива при недозавантаженні котла в режимі зниженого тиску і раціональному режимі його роботи. Для цього, за експериментальними даними необхідно побудувати графік залежності ККД від теплового навантаження котла. Форма графіка приведена на рисунку 6.10. Знаючи величину недозавантажень котла, за даними графіка визначають величину ККД, а потім за формулою ККД визначають кількість корисної енергії, виробленої котлом, і загальні

⁹ Опис основних складових теплового балансу котла наведено в п8.2.5.

втрати енергії котлом. При необхідності загальні втрати котла від недозавантаження переводять у потрібні одиниці виміру.

Рисунок 6.10 –
Графік залежності
ККД котла від його
теплопродуктивності



Визначення річних (сезонних) перевитрат (втрат) палива при перевищенні фактичних питомих витрат палива понад нормативні значення здійснюється за виразами:

$$\Delta B = (b_{\text{факт}} - b_{\text{норм}}) \cdot Q_{\text{рік, сез}}, \left(\frac{\text{кг у. п.}}{\text{рік, сез}} \right);$$

$$\Delta B = \frac{1}{K} (b_{\text{факт}} - b_{\text{норм}}) \cdot Q_{\text{рік, сез}}, \left(\frac{\text{нм}^3}{\text{рік, сез}} \right),$$

де $b_{\text{факт}}$ – фактична питома витрата палива $\left(\frac{\text{кг у. п.}}{\text{рік, сез}} \right)$, що визначається за даними інструментальних вимірів «фотографія» роботи котлоагрегата);

$b_{\text{норм}}$ – питома норма витрати палива $\left(\frac{\text{нм}^3}{\text{рік, сез}} \right)$, що визначається за даними технічного звіту режимних випробувань та при відповідному навантаженні (у випадках відсутності технічного звіту – за нормами витрат палива котлоагрегатів при номінальному навантаженні);

$Q_{\text{рік, сез}}$ – річна (сезонна) виробка тепла (Гкал) котлоагрегатом.

Для визначення втрат (перевитрат) тепла при витоках через нещільності з'єднань необхідно знати розміри нещільностей, через які відбуваються витіки теплоносія. Для технологічних споживачів втрата пари і конденсат через нещільності визначається за формулою:

$$\Delta G = 1,25 \sum DT(1 - \mu),$$

де 1,25 – коефіцієнт запасу;

$\sum DT$ – річний відпуск пари споживачам;

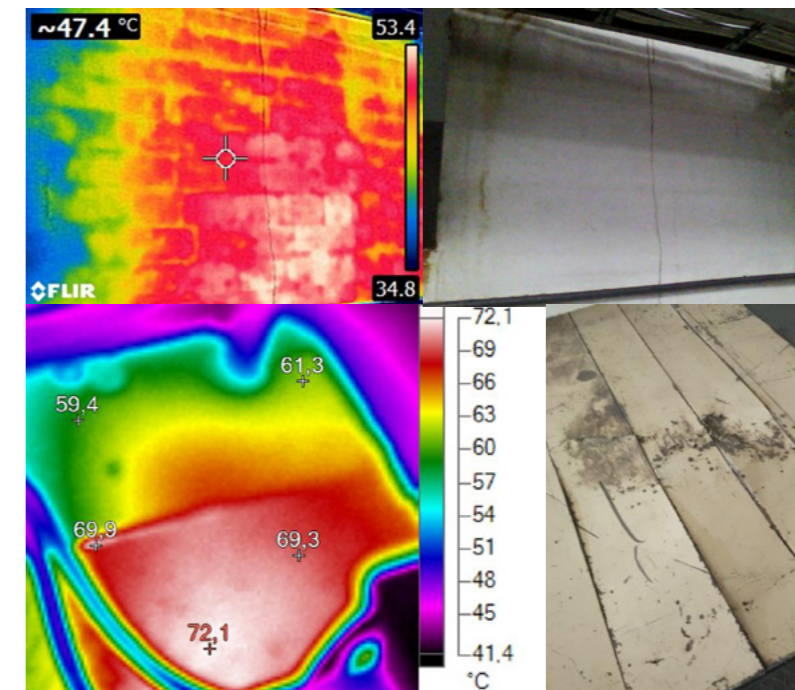
μ – частка повернення конденсата.

Одним з основних шляхів економії палива котлами та печами є зменшення теплових втрат через обмурівку. Тому для оцінки технічного стану вузлів і елементів кожного котла, ізоляції та обмурівки обладнання, трубопроводів пари і гарячої води, а також арматури, економайзера зазвичай проводиться тепловізійне обстеження.

Сучасне тепловізійне обладнання дозволяє швидко і точно виявити ділянки з підвищеними тепловтратами і визначити їх межі. Кількісна оцінка виявленого дефекту проводиться в лабораторних умовах з використанням сучасного програмного забезпечення, яке зазвичай надається постачальником обладнання разом з тепловізором.

Приклад представлення результатів тепловізійного обстеження котельного та пічного обладнання показано на рисунку 6.11.

Рисунок 6.11 –
Приклади представлення
результатів тепловізійного
обстеження теплоізоляції
елементів парових котлів
та пекарських печей



На теплограмах (див. рисунок 6.11), які наводять у звіті, доцільно додатково виділяти маркерами для наочності місця з підвищеними тепловтратами.

За результатами отриманих теплограм розподілу температурних полів можна визначити площі ділянок, температура на поверхні яких вище нормативного значення¹⁰. Це дозволить оцінити величину тепловтрат через обмурівку котла (печі) і, в подальшому, оцінити доцільність покращення теплоізоляції котла або печі та підвищити їх енергоефективність.

Втрати та перевитрати тепла через теплоізоляцію обладнання в загальному випадку залежать від якості і фактичного стану ізоляційних матеріалів, температур робочого тіла в обстежуваному обладнанні та навколишнього середовища.

Для оцінки втрат тепла через теплоізоляцію необхідно виконати наступні дії:

- визначити, з якого матеріалу виконано теплоізоляцію на обстеженому обладнанні, а також товщину σ (м) шару цієї ізоляції;
- визначити номінальне значення коефіцієнта теплопровідності λ , (Вт/м °C) теплоізоляційного матеріалу;
- визначити номінальне значення термічного опору R теплоізоляційного матеріалу за формулою:

$$R = \frac{d}{\lambda} (\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт});$$

- виміряти температуру робочого тіла у внутрішньому середовищі обстежуваного обладнання – $t_{\text{вн}}$;
- за номограмою (рисунок 6.12) за значеннями $t_{\text{вн}}$ та R визначити номінальне значення питомих втрат тепла через теплоізоляцію q_n (Вт/м²), а також номінальне значення температури зовнішньої поверхні теплоізоляції $t_{\text{зовн}}^{\circ}$ (°C);

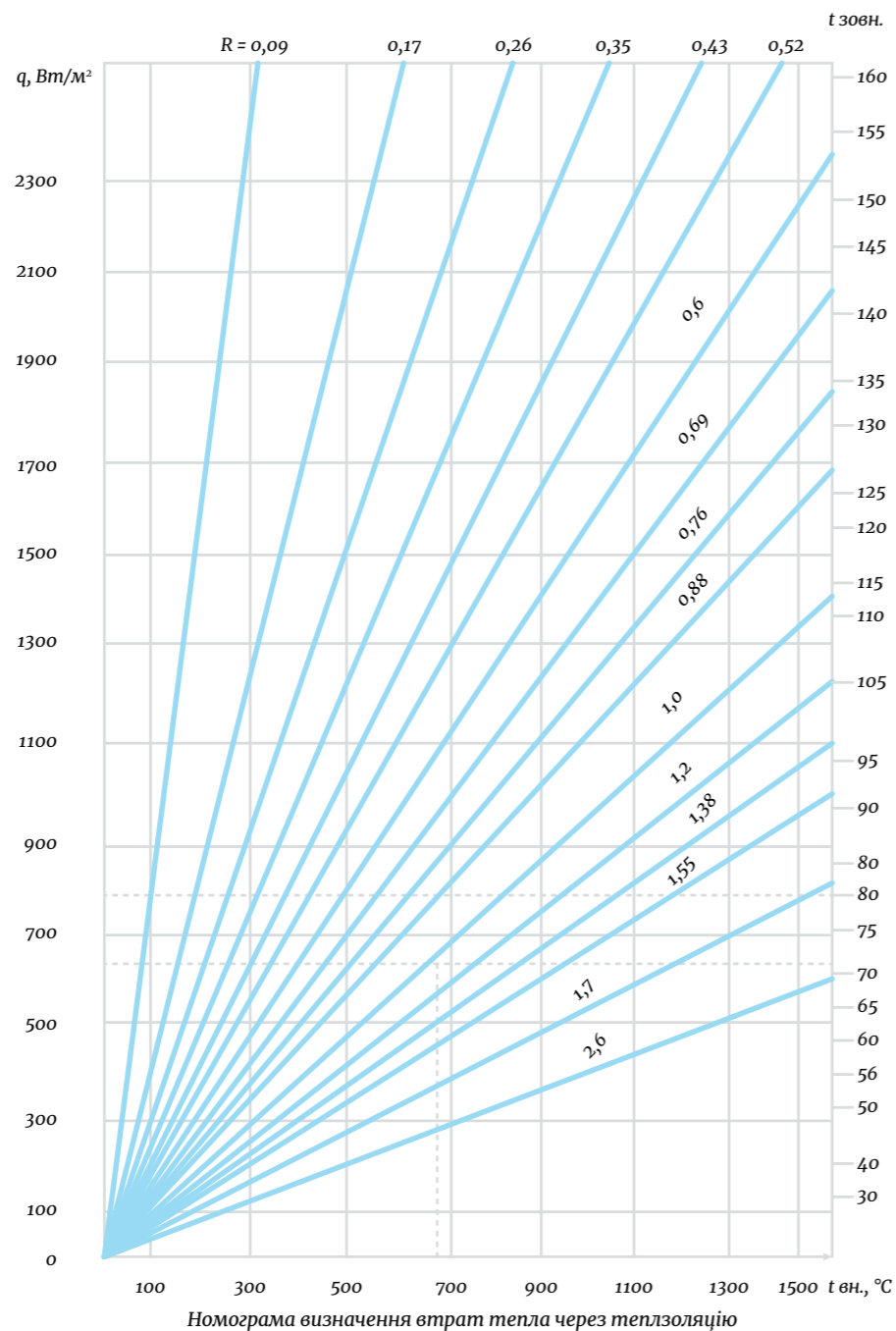
¹⁰ відповідно до п. 6.1.7. Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж «Обмурівка (огородження) паливних і газоходів котла має перебувати в справному стані, температура поверхні обмурівки має бути не більшою ніж 43 °C за температури навколишнього середовища не більшою ніж 25 °C».

- визначити фактичне значення температури зовнішньої поверхні теплоізоляції $t_{зовн}^{\phi}$ (°C);
- за номограмою (рисунок 6.12) визначити значення фактичних втрат тепла через теплоізоляцію q_{ϕ} (Вт/м²);
- визначити понаднормативні втрати тепла (перевитрати) через теплоізоляцію за формулою:

$$Q = (q_{\phi} - q_{н}) * S,$$

де S (м²) – площа зовнішньої поверхні теплоізоляції обстежуваного обладнання, яка визначається за проектною документацією або шляхом замірів.

Рисунок 6.12 – Номограма визначення втрат тепла через теплоізоляцію обладнання



R (м²·°C/Вт) — термічний опір;
 q (Вт/м²) — питомі втрати тепла;
 $t_{зовн}^{\phi}$ (°C) — температура зовнішньої поверхні теплоізоляції;
 $t_{вн}$ (°C) — температура теплоізоляції.

Характерними причинами понаднормативних втрат тепла (перевитрат) через теплоізоляцію є:

- підвищена вологість теплоізоляції;
- пошкодження шару теплоізоляції;
- недостатня товщина шару теплоізоляції.

В процесі функціонування виробництв, технологій ми можемо спостерігати тепловтрати з:

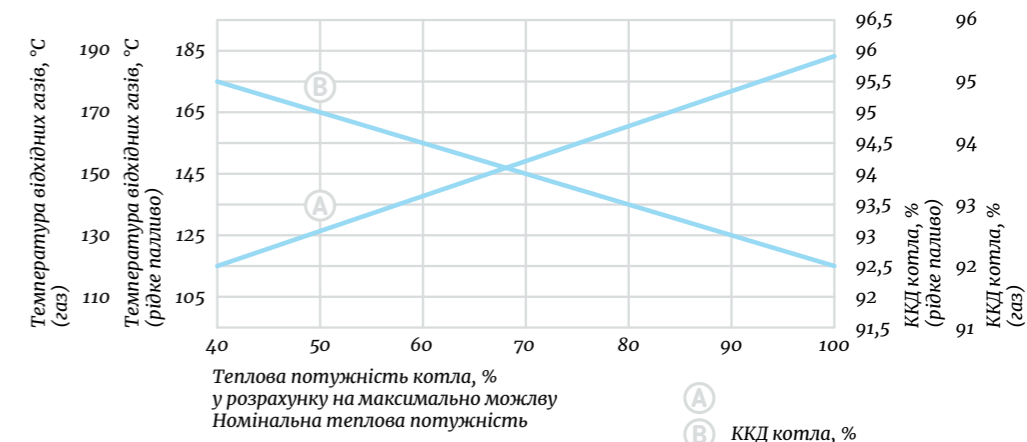
- димовими газами;
- продувкою;
- охолоджуючою водою;
- скидною та низькопотенційною парою;
- конденсатом;
- гарячим повітрям.

При цьому, втрати теплоти з димовими газами займають суттєве місце серед теплових втрат котлів та печей. Саме тому, одним з напрямків оцінки ефективності роботи котлів та печей є вимірювання температури димових газів на виході з топки.

Деякі виробники сучасних котлів в технічній документації наводять інформацію щодо залежності ККД котлів від температури продуктів згоряння (див. приклад на рисунку 6.13).

Рисунок 6.13 – Приклад представлення графічної залежності ККД котла від температури продуктів згоряння

Температура продуктів згоряння і ККД котла



Нижні граничні значення усередині для всіх типорозмірів котлів

Джерело: Technical Guide for steam boilers / Publisher Viessmann Werke, Allendorf (Eder).
 Author Gerd Sattler, Tilman Schibel

Температура димових газів в котлі залежить від режиму роботи і виду палива і знаходиться в діапазоні від 150 °C на мінімальній потужності, до 280 °C на номінальних навантаженнях.

Температуру димових газів можна знизити за рахунок застосування методів утилізації тепла, в результаті чого їх теплота буде корисно використана.

Зрозуміло, що чим вище температура цих газів, тим є більшим потенціал задля повторного використання енергії цієї теплоти. Сучасні технології дозволяють більш повно використовувати теплоту димових газів. З цією метою встановлюють економайзери або теплообмінники. Зазвичай парові котли вже облаштовані економайзерами. Через те задача аудиторів полягає лише в оцінці стану економайзерів та ефективності їх роботи.

Економайзер – це пристрій для відбору тепла від відпрацьованих димових газів, що виходять з котлів, печей, сушарок та іншого теплогенеруючого обладнання, та передачі його нагрівачому теплоносію.

Переваги, що дає економайзер:

- підвищення ККД котла;
- зниження витрати палива;
- легкість переобладнання існуючих установок;
- зниження викидів CO₂.

Принцип дії економайзера можна спрощено проілюструвати за допомогою рисунка 6.14.

Рисунок 6.14 –
Візуалізація принципу дії
економайзера



Тобто, димові гази, рухаючись у міжтрубному просторі, нагрівають своїм теплом теплоносієм, що рухається всередині трубок. Розташування трубопроводів змушує димові гази сповільнюватися і більш повно віддавати своє тепло. Залежно від потужності економайзери мають різну площу теплопередаючої поверхні, і відповідно, розміри.

Економайзери для захисту від перегріву і можливості обслуговування мають байпасну лінію.

За глибиною охолодження димових газів економайзери діляться на конденсаційні і неконденсаційні.

Конденсаційні – це економайзери з глибоким охолодженням димових газів (нижче точки роси), в результаті охолодження якого пар, що знаходиться в димових газах, конденсується і утворює конденсат, який після нейтралізації скидається в каналізацію. Під час конденсації пару вивільняється прихована теплота фазового переходу пароутворення/ конденсації, що значно підвищує ККД роботи економайзера.

Неконденсаційні – являють собою теплообмінники з роздільною циркуляцією димових газів і теплоносія. У них теплообмін відбувається через розділяючу поверхню (стінка трубки, пластина). Приріст ККД при роботі таких економайзерів нижче, ніж при роботі конденсаційних економайзерів, але він теж досить значний і становить 4–6 % в залежності від температурних режимів роботи.

За конструктивними особливостями економайзери поділяються на поверхневі і контактні.

Поверхневими економайзерами називаються теплообмінні апарати з досить великою, розвиненою теплообмінною поверхнею. На цій поверхні димові гази без додаткового зволоження віддають теплоносію своє приховане тепло пароутворення, яке ще називають прихованим теплом.

Контактними економайзерами називають теплообмінні апарати, в яких відбувається безпосередній контакт димових газів з проміжним теплоносієм. Даний процес можна назвати зрошенням димових газів. В результаті зрошення димових газів тепло передається охолоджуючій воді. При зниженні температури нижче 58 °С пар в димових газах конденсується, при цьому віддаючи охолоджуючій рідині тепло конденсації (приховане тепло).

Економайзери встановлюються на котли будь-якої потужності, як на водогрійні, так і на парові котли, що працюють на будь-якому виді палива.

У випадках, коли котельня нещодавно модернізована і котли нові або на них проведений капремонт, також необхідно проводити оцінку ефективності роботи котельні, оскільки економайзер в такій котельні може не працювати або взагалі не бути встановленим (див. рисунок 6.15), крім того налаштування котлів могло бути проведено некоректно.

Принцип застосування конденсаційних теплоутилізаторів полягає в використанні прихованої теплоти пароутворення водяної пари, що знаходяться в димових газах. Використання даної теплоти дозволяє значно підвищити ККД котлоагрегатів (близько 10–12 %). Ефективність теплоутилізатора тим вища, чим холодніший теплоносієм на нього подається.

Рисунок 6.15 –
Приклад модернізованої
парової котельні з відсутнім
економайзером



Згідно з рекомендаціями відомого світового виробника котельного обладнання VISSMANN підключення теплообмінника димових газів / води (економайзера) до котла сприяє помітному збільшенню ККД, оскільки завдяки конденсації димових газів у теплообміннику, котел переходить у конденсаційний режим роботи¹¹. При цьому:

- для котлів, що працюють на газі, підвищення ККД становить до 11 %;
- для котлів, що працюють на рідкому паливі, підвищення ККД становить до 6 %.

Причина цього полягає в меншому вологовмісті димових газів.

Підвищення ККД, а разом із тим і економія енергії, у порівнянні з установками без теплообмінника димових газів/води, залежить, в основному, від підвищення температури зворотньої магістралі циркуляційної води, що проходить через теплообмінник.

При цьому, наприклад, конденсаційний блок котлів VISSMANN складається з газового блока та теплообмінника димових газів/води Vitotrans 300. Загальний ККД конденсаційного блока є сумою ККД котла та підвищення ККД теплообмінника, визначеного для бажаної температури системи.

Найбільш ефективними випадками, в яких доцільне застосування конденсаційних теплоутилізаторів, які забезпечують найменший термін окупності, є:

- попереднє нагрівання сирої води перед ХВО на великих теплофікаційних котельнях;
- нагрів великої кількості води для потреб побутового і технологічного гарячого водопостачання;
- нагрів живильної води парових котельнь перед деаератором при значному відсотку неповернення конденсата;
- використання при опаленні приміщень великої кількості систем підлогового опалення, які мають досить низьку температуру теплоносія;
- коли система опалення та вентиляції приміщень спочатку запроектована на температурний графік 60/40 °С.

Надлишок конденсата, який утворюється в теплоутилізаторі, може бути використаний (після відповідної обробки) для підживлення тепломереж або скидається в каналізацію.

Зниження витрат палива залежить від стану котла та його навантаження, але загалом його можна оцінити як 5–7 % при використанні поверхневих та 7–10 % при використанні контактних економайзерів.

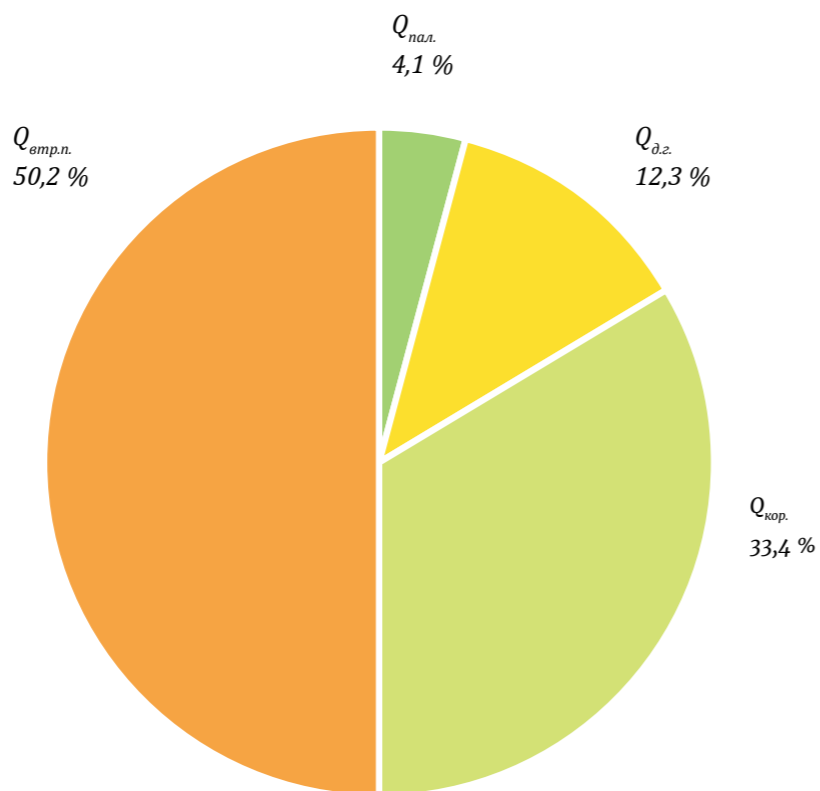
Якщо для котлів економайзер є доволі популярним рішенням і на більшості об'єктів, де проведено енергоаудити, воно вже реалізовано і дало позитивний ефект, то для хлібопекарських печей і деяких водогрійних котлів таке рішення не завжди було застосовано, оскільки воно потребує додаткових інвестицій порівняно із типовими рішеннями внаслідок агресив-

¹¹ Це відповідає вимогам Директиви 92/42/ЄЕС щодо ефективності водогрійних котлів.

ного середовища або забруднення димових газів побічними продуктами технологічного циклу, що потребує спеціальних матеріалів та конструкції для економайзера.

Приклад представлення теплового балансу печі наведено на рисунку 6.16.

Рисунок 6.16 –
Приклад представлення
теплового балансу



$Q_{кор.}$ — корисні витрати тепла;
 $Q_{втр.п.}$ — втрати тепла в камері випікання;
 $Q_{пал.}$ — втрати тепла пальником (топкова камера);
 $Q_{д.з.}$ — втрати тепла від димових газів.

Так, наприклад, згідно з тепловим балансом печі Г4ХП-2,1-56, наведеним вище на рисунку 6.16, ця піч має більше ніж 12 % втрат тепла димових газів. Температура димових газів на виході перевищує 295 °С. Використання приладів утилізації тепла надасть можливість оптимізувати використання тепла шляхом отримання великої кількості гарячої води або пари для технологічних та санітарних потреб і, в той же час, забезпечити нормальне функціонування газового димовідвідного каналу топки завдяки зменшенню температури димових газів до потрібного мінімуму.

Технічним рішенням є встановлення теплообмінника в існуючому газоході від пальника до витяжної димової труби. В якості теплообмінників можуть використовуватись різні типи приладів утилізації тепла. Економія від встановлення приладів утилізації тепла досягається шляхом використання тепла димових газів завдяки підігріву води до температури близько 70–90 °С. В подальшому ця вода може бути використана для технологічних потреб та потреб гарячого водопостачання, скорочуючи виробництво гарячої води у котельній на рівнозначну кількість. Таким чином, споживання палива для підігріву води у котельній буде зменшено.

Останнім часом на підприємствах активно почали реалізовуватися проєкти з переведення газових котлів на дрова або деревну тріску чи деревні (соняшникові) пелети.

Фото зовнішнього вигляду паливозавантажувальної системи такого котла показано на рисунку 6.17.

Рисунок 6.17 –
Фото зовнішнього
вигляду паливо
завантажувальної системи
котла на деревній трісці



Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Ніколаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проєкт «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

Під час інструментального обстеження роботи котла, що працює на деревному паливі, акцент необхідно зробити на дослідженні якості вигорання твердого палива (дров), та визначенні при цьому енергетичних втрат. Крім того, доцільно оглянути допоміжне обладнання котельні та трубопроводи постачання теплоносія.

При роботі котлів на твердому паливі (дровах) ручного завантаження, через неможливість детального обліку палива, точне визначення потужності по зворотному балансу (по витраті палива) є дещо ускладненим та доволі приблизним.

Тому при візуальному огляді топки котла, під час обстеження, можна визначити її орієнтовне завантаження по відношенню до топочного об'єму.

З метою порівняння характеристик роботи котла, заявлених виробником, доцільно зробити контрольні заміри аналізів димових газів у двох варіантах (режимах) роботи котла. Перший – з вимкненими димососом, вентиляторами первинного та вторинного повітря (режим роботи – тління палива). Другий – робота котла з включеним в роботу димососом.

Зважаючи, що протягом року деревина надходить на підприємство з різним вмістом вологості доцільно виконати аналіз палива (деревини) на вміст в ній вологи, як це показано на рисунку 6.18.

Рисунок 6.18 –
Фотофіксація проведення
аналізу палива (деревини)
на вміст в ній вологи



Так, згідно фото на рисунку 6.18 середній вміст вологи в паливі не перевищує 25 %, що цілком відповідає вимогам експлуатації подібних котлоагрегатів. Представлені результати свідчать про цілковиту відповідність показникам, вказаним виробником.

6.6.2 Оцінка стану системи розподілу теплової енергії, виявлення витіків та втрат пари та гарячої води

Найчастіше на підприємстві застосовуються котли та печі, що спалюють природний газ або тверде паливо. Рідше для цих потреб застосовують мазут, зважаючи на його вартість.

Для проведення якісного обстеження основного обладнання котельні та оцінки його ефективності роботи необхідно мати уявлення про компоновку обладнання котельні. Приклад компоновки сучасної парової котельні показано на рисунку 6.4.

Система розподілу теплової енергії транспортує теплоносії (пару та гарячу воду) від котла до споживачів, регулює його подачу та відповідає за зміни його температури та тиску в тепломережі. Належна робота системи розподілу пари та гарячої води вимагає ретельної практики проектування та ефективного обслуговування. Зазвичай, системи розподілу теплової енергії охоплюють такі елементи:

- паропроводи;
- водяні мережі в закритих системах теплопостачання;
- водяні мережі у відкритих системах теплопостачання;
- гнучкі компенсатори з труб (П-подібні) з попереднім розтягуванням під час монтажу;
- кути поворотів від 90 °С до 130 °С (самокомпенсація);
- сильфонні, лінзові, сальникові та манжетні компенсатори;
- конденсатопроводи;
- запірні та регулювальні арматури.

Для теплових мереж застосовують переважно сталеві труби і арматуру.

Всі ці елементи зображуються у вигляді схеми теплопостачання підприємства.

Часто на підприємствах немає однієї узагальненої схеми теплопостачання, а є окремі схеми паропостачання, опалення, повернення конденсата, гарячого водопостачання, а також теплова схема котельні.

Для прикладу на рисунку 6.19 показана схема трубопроводів підприємства.

У випадку відсутності таких схем на підприємстві аудиторам доцільно спрощено відтворити хоча б схему прокладання теплових мереж від котельні до окремих будівель. Зазвичай на схему наносять інформацію щодо протяжності кожної ділянки мережі, спосіб прокладання, переріз та товщину теплоізоляційного шару (бажано знати й матеріал теплоізоляції). Це в подальшому допоможе аудитору більш об'єктивно оцінити стан теплових мереж та втрати теплової енергії в них.

Відповідно до п. 6.3.45. Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж (Правила), усі елементи трубопроводів із температурою зовнішньої поверхні стінки вище 43 °С, розміщені в доступних для обслуговуючого персоналу місцях, покриваються ізоляцією, температура зовнішньої поверхні якої не повинна перевищувати 43 °С. Тому всі елементи теплових мереж повинні мати надійну теплоізоляцію, що відповідає б умовам її застосування. Товщина теплоізоляції визначається на основі техніко-економічних розрахунків.

У випадку відсутності таких схем на підприємстві аудиторам доцільно спрощено відтворити хоча б схему прокладання теплових мереж від котельні до окремих будівель. Зазвичай на схему наносять інформацію щодо протяжності кожної ділянки мережі, способу прокладання, перерізу та товщину теплоізоляційного шару (бажано знати й матеріал теплоізоляції). Це в подальшому допоможе аудитору більш об'єктивно оцінити стан теплових мереж та втрати теплової енергії в них.

Відповідно до п. 6.3.45. Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж (Правила), усі елементи трубопроводів із температурою зовнішньої поверхні стінки вище 43 °С, розміщені в доступних для обслуговуючого персоналу місцях, покриваються ізоляцією, температура зовнішньої поверхні якої не повинна перевищувати 43 °С. Тому всі елементи теплових мереж повинні мати надійну теплоізоляцію, що відповідає б умовам її застосування. Товщина теплоізоляції визначається на основі техніко-економічних розрахунків.

Рисунок 6.19 – Приклад схеми трубопроводів підприємства



При цьому, у разі наявності техніко-економічного обґрунтування без теплової ізоляції допускається прокладання:

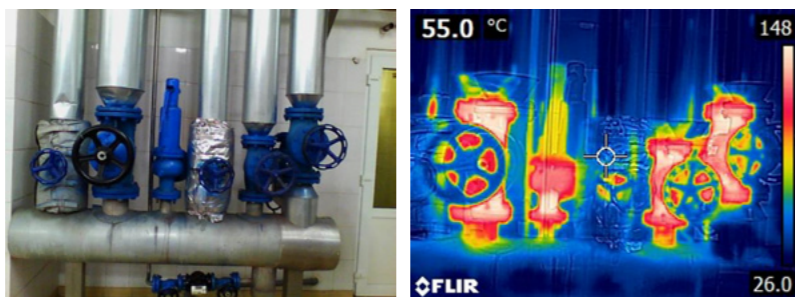
- зворотних трубопроводів опалювальних теплових мереж умовним проходом до 200 мм, розміщених у структурних підрозділах промислових суб'єктів господарювання, тепловий потік яких використовується для опалення;
- конденсатних трубопроводів, які прокладаються разом із паровими в непрохідних каналах.

Зважаючи на викладене вище, аудиторі мають провести оцінку стану теплоізоляції елементів теплових мереж. Найбільш наочним інструментом для локалізації місць теплових втрат в елементах теплових мереж є застосування тепловізійного обстеження.

Крім того, під час проведення оцінки стану теплових мереж, що прокладені поза приміщеннями (незалежно від виду прокладання), слід звернути увагу на те, чи надійно вони захищені від дії вологи та зовнішньої корозії.

Досвід показує, що в багатьох випадках, крім наявності ділянок паропроводів з відсутньою або пошкодженою теплоізоляцією, має місце відсутність теплоізоляції на запірній арматурі, як це показано на фото (див. рисунок 6.20).

Рисунок 6.20 –
Приклад фотофіксації та термограми відсутності теплоізоляції на запірній арматурі



Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Николаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проект «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

Для зменшення тепловтрат на запірній арматурі доцільно поради керівництву підприємства розглянути варіант застосування утеплювача з мінеральної вати у вигляді термоізоляційних чохла (див. рисунок 6.21).

Рисунок 6.21 –
Приклад застосування термочохлів THERMOSAVE для теплоізоляції запірної арматури



Термоізоляційні чохла THERMOSAVE мають теплопровідність 0,05 Вт/(м·К) (при 200 °С) та діапазон робочих температур до 300 °С, що дозволяє їх застосовувати в парових мережах.

Також, під час оцінки стану запірної арматури доцільно оглянути її на наявність витоків теплоносія.

Відповідно до КТМ 204 Україна 244-94¹² втрати теплоти в теплових мережах $Q_{т.м.}$ визначають за виразом:

$$Q_{т.м.} = Q_{вит.} + Q_{ов.},$$

де $Q_{вит.}$ – втрати теплоти з витоком гарячої води, Гкал;

$Q_{ов.}$ – втрати теплоти за рахунок охолодження води в трубопроводах, Гкал.

Втрати теплоти з витоком гарячої води із мережі визначають за виразом:

$$Q_{вит.} = 0,5 \cdot C_w \cdot G_{вит.} \cdot (t_{л.} + t_{з.} - 2t_{хв.}) \cdot 10^{-3},$$

де C_w – питома теплоємність води, що дорівнює 1 ккал / (л · °С);

$G_{вит.}$ – виток теплоносія за звітний період (визначають за показами лічильників на підживлюючих лініях), т;

$t_{л.}$, $t_{з.}$ – середня за звітний період температура води в мережі відповідно в подавальному та зворотному трубопроводах теплової мережі, °С;

$t_{хв.}$ – температура холодної водопровідної води, °С.

У разі відсутності обліку підживлюючої води, величина середньорічного витіку гарячої води не повинна перевищувати 0,25 % на годину від об'єму теплових мереж.

Виток теплоносія за звітний період визначають за виразом:

$$G_{вит.} = 0,0025 \cdot V_{т.м.} \cdot \rho \cdot n \cdot 10^{-3},$$

де 0,0025 – допустима величина витіку;

$V_{т.м.}$ – об'єм води в теплових мережах, м³;

ρ – густина води, кг/м³;

n – кількість годин роботи в запланований період, год.

Об'єм теплових мереж визначають за виразом:

$$V_{т.м.з} = L_{т.м.і} \cdot V_{нут.т.м.і},$$

де $L_{т.м.і}$ – довжина і-ої ділянки теплових мереж, км;

$V_{нут.т.м.і}$ – питомий об'єм гарячої води для наповнення і-ої ділянки трубопроводів теплових мереж, м³/км (таблиця 6.6¹³).

Таблиця 6.6 –
Питомі об'єми води для наповнення трубопроводів теплових мереж

Зовнішній діаметр труби, D _з , мм	Внутрішній діаметр труби, D _{вн} , мм	Питомий об'єм води, м ³ /км
46	41	1,32
57	50	1,963
76	69	3,739
89	81	5,153
106	100	7,854
133	125	12,21

¹² Посібник до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 Україна 244-94. – К.: ЗАТ «ВІПОЛ», 2001.

¹³ Посібник до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 Україна 244-94. – К.: ЗАТ «ВІПОЛ», 2001.

Продовження таблиці 6.6

Зовнішній діаметр труби, D _з , мм	Внутрішній діаметр труби, D _{вн} , мм	Питомий об'єм води, м ³ /км
159	150	17,67
219	203	32,33
273	257	51,9
273	255	51,07
325	309	74,99
325	307	74,02
325	305	73,06
377	357	100,1
426	412	133,3
426	410	132
478	462	167,6
478	460	166,3
478	458	164,7
529	515	208,3
529	509	203,5
630	612	294,2

Розрахунок втрат доцільно виконувати в табличному вигляді. Приклад форми для проведення таких розрахунків показано в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 –
Приклад форми для
проведення розрахунку
втрат тепла у мережі
з витоком теплоносія

№ з/п	Підроз-діл	Середня температура в подавальному трубопроводі, °С	Середня температура в зворотному трубопроводі, °С	Середня температура холодної водопровідної води, °С	Питома теплоємність води, ккал/(л°С)	Об'єм води, м ³ /км
1	2	3	4	5	6	7
Діаметр трубопроводу, мм	Довжина трубопроводу, км	Питомий об'єм трубопроводу, м ³ /км	Тривалість опалювального сезону, год	Об'єм теплових мереж, м ³	Виток теплоносія, т/рік	Втрати тепла з витоків теплоносія, Гкал/рік
8	9	10	11	12	13	14

Втрати теплоти за рахунок охолодження води в трубопроводах теплової мережі Q_{ов}, Гкал, визначають за виразом:

$$Q_{ов} = \frac{q_0 \times l \times \beta \times 10^{-6} \times \tau \times 3,6}{4,187}$$

де:

Q_{ов} – втрати теплоти, Гкал;

q₀ – норма теплових втрат, Вт/м (таблиці 6.8 – 6.10);

l – протяжність трубопроводів, м;

τ – число годин роботи, год.;

β – коефіцієнт, який враховує втрату теплоти опорами, арматурою та компенсаторами, що приймається при безканальному прокладанні – 1,15; в тунелях та каналах – 1,2; при надземному прокладанні – 1,25.

Норми щільності теплового потоку при розміщенні на відкритому повітрі¹⁴ наведено в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 –
Норми щільності теплового
потоку при розміщенні
на відкритому повітрі

Умовний прохід трубопроводу, мм	Середня температура теплоносія, °С							
	20	50	100	150	200	250	300	350
	Норми щільності теплового потоку, Вт/м							
15	5	11	22	34	46	59	74	90
20	6	13	25	38	52	66	82	99
25	6	15	28	42	57	73	90	108
40	8	18	33	49	66	86	105	126
50	9	19	36	53	71	91	113	135
65	10	23	41	61	81	104	127	152
80	11	25	45	66	87	112	137	163
100	13	28	50	73	97	123	150	178
125	15	32	56	81	107	139	168	200
150	18	35	63	89	118	153	185	219
200	22	44	77	109	142	184	221	262
250	26	51	88	125	161	207	248	293
300	30	59	101	140	181	231	278	324

¹⁴ Посібник до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 Україна 244-94. – К.: ЗАТ «ВІПОЛ», 2001

Продовження таблиці 6.8

Умовний прохід трубопроводу, мм	Середня температура теплоносія, °C							
	20	50	100	150	200	250	300	350
	Норми щільності теплового потоку, Вт/м							
350	35	66	112	155	200	255	305	355
400	38	73	122	170	217	276	331	386
450	41	80	132	182	233	298	353	412
500	45	88	143	197	251	322	379	442
600	53	100	165	225	288	365	432	499
700	60	114	184	250	319	404	475	550
800	67	128	205	278	353	447	526	605
900	75	141	226	306	388	487	574	660
1000	83	155	247	333	421	531	622	715

Примітка. Проміжні значення норм щільності теплового потоку потрібно визначати інтерполяцією.

Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж наведено в таблиці 6.9¹⁵.

Таблиця 6.9 –
Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж при прокладанні в непрохідних каналах при кількості годин роботи за рік 5 000 та менше, Вт/м

Умовний прохід трубопроводу, мм	Трубопровід					
	подавальний	зворотний	подавальний	зворотний	подавальний	зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, °C					
	65	50	90	50	110	50
25	18	12	26	11	31	10
30	19	13	27	12	33	11
40	21	14	29	13	36	12

¹⁵ Посібник до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 Україна 244-94. – К.: ЗАТ «ВІПОЛЬ», 2001.

Продовження таблиці 6.9

Умовний прохід трубопроводу, мм	Трубопровід					
	подавальний	зворотний	подавальний	зворотний	подавальний	зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, °C					
	65	50	90	50	110	50
50	22	15	33	14	40	13
65	27	19	38	16	47	14
80	29	20	41	17	51	15
100	33	22	46	19	57	17
125	34	23	49	20	61	18
150	38	26	54	22	65	19
200	48	31	66	26	83	23
250	54	35	76	29	93	25
300	62	40	87	32	103	28
350	68	44	93	34	117	29
400	75	47	109	37	123	30
450	77	49	112	39	135	32
500	88	54	126	43	167	33
600	98	58	140	45	171	35
700	107	63	163	47	185	38
800	130	72	181	48	213	42
900	138	75	190	57	234	44
1000	152	78	199	59	249	49
1200	185	86	257	66	300	54
1400	204	90	284	69	322	58

Примітка. Проміжні значення норм щільності теплового потоку потрібно визначати інтерполяцією.

Норми щільності теплового потоку через ізольовані поверхні трубопроводів при двотрубному підземному безканалному прокладанні водяних теплових мереж наведено в таблиці 6.10¹⁶.

Таблиця 6.10 –
Норми щільності теплового потоку через ізольовані поверхні трубопроводів при двотрубному підземному безканалному прокладанні водяних теплових мереж при кількості годин роботи за рік 5 000 та менше, Вт/м

Умовний прохід трубопроводу, мм	Трубопроводи водяних теплових мереж			
	подавальний	зворотний	подавальний	зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, °C			
	65	50	90	50
25	36	27	48	26
50	44	34	60	32
65	50	38	67	36
80	51	39	69	37
100	55	42	74	40
125	61	46	81	44
150	69	52	91	49
200	77	59	101	54
250	83	63	111	59
300	91	69	122	64
350	101	75	133	69
400	108	80	140	73
450	116	86	151	78
500	123	91	163	83
600	140	103	186	94
700	156	112	203	100
800	169	122	226	109

Примітка. Проміжні значення норм щільності теплового потоку потрібно визначати інтерполяцією.

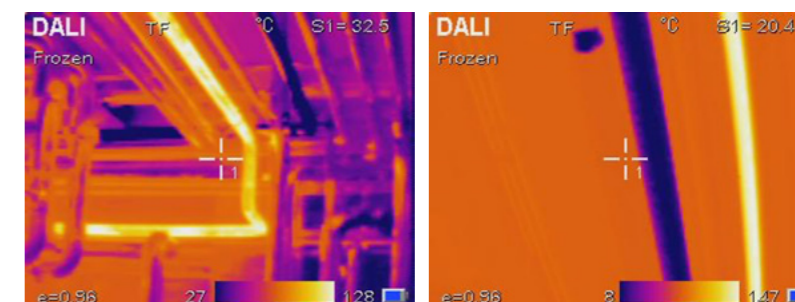
¹⁶ Посібник до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 Україна 244-94. – К.: ЗАТ «ВІПОЛ», 2001.

Таблиця 6.11 –
Приклад форми для проведення розрахунку втрат тепла у мережі з охолодженням теплоносія

Розрахунок втрат доцільно виконувати в табличному вигляді. Приклад форми для проведення таких розрахунків показано в таблиці 6.11.

№ з/п	Підрозділ	Теплоносій	Середня температура в подавальному трубопроводі, °C	Середня температура в зворотному трубопроводі, °C	Діаметр трубопроводу, мм	Довжина трубопроводу, м
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	
Норма теплових втрат, Вт/м	Три-валість опалювального сезону, год	Тип прокладки	Тип ізоляції	Коефіцієнт β	Втрати тепла за рахунок охолодження теплоносія, Гкал/рік	

Рисунок 6.22 –
Приклад прокладання неізольованих паропроводів та конденсатопроводів поряд з неізольованими холодопроводами



Також на молокозаводах часто спостерігається ситуація, коли паропроводи та/або конденсатопроводи прокладаються під стелею неізольованими поряд з холодопроводами (див. рис. 6.22). Це викликає взаємовплив температурних полів тепло- та холодоносіїв і, як наслідок, перевитрату енергії на їх виробництво та транспортування.

Ще одним з місць нераціонального використання теплової енергії є система збирання та повернення конденсату. Конденсат, як і стиснене повітря, є дуже цінним продуктом, який доречно використовувати повторно у якості живильної води або використовувати його теплоту в різних цілях. Економія від відновлення системи повернення конденсату складатиметься з двох основних складових: економія споживання палива котлами за рахунок зменшення витрат на підігрів живильної води за рахунок залишкової теплової енергії конденсату та зменшення витрат на водовідведення в обсягах повернутого конденсату. Повернення конденсату в промислових масштабах передбачає можливість його використання в процесі відтворення пари. Створення замкнутого контуру «котел – пар – конденсат», шляхом повернення гарячого конденсату до котельні, призводить до накопичення додаткового обсягу теплової енергії.

У випадку забруднення конденсату в технологічних установках підприємства відмовляються від його повторного використання, не бажаючи займатися його очищенням та збиранням. Однак, зливання конденсату в каналізацію рівнозначне скиданню туди грошей, які могли бути витрачені на отримання додаткової енергії. Потрапляння неочищеного конденсату на землю завдає шкоди навколишньому середовищу і небезпечно для персоналу.

Для визначення обсягів повернення та втрат конденсату на підприємстві мають складати паро-конденсатний баланс, що може стати основою для подальшої роботи аудитора.

Однак, не на всіх підприємствах така робота виконується. Тому завданням аудитора під час оцінки стану системи збирання та повернення конденсата в котельню є оцінка обсягів повернення конденсата в котельню, його температури, а також локалізація місць втрат тепла в конденсатопроводах та системі збору конденсата.

Втрати (перевитрати) теплової енергії через неповне повернення конденсата визначаються за формулою:

$$\Delta Q = Q \frac{K_{втр} \cdot i_k - i_v}{100 \cdot i_n}$$

де Q – річний видобуток теплоенергії у вигляді пари, ГДж/рік (Гкал/рік);
 $K_{втр}$ – процент неповернення конденсата, % (визначається за формулами нижче);
 i_k – ентальпія конденсата, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);
 i_v – ентальпія вихідної води, яка подається в котельню, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);
 i_n – ентальпія пари, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C).

Примітка: при відсутності проектних чи інших даних про повернення конденсата в котельню з виробництва приймається значення 95 % або за довідкою підприємства.

При відсутності приладів обліку відсоток неповернення конденсата визначається за формулою:

$$K_{втр} = K_{норм} - K_{факт}$$

де $K_{норм}$ – нормативний % повернення конденсата в котельню згідно з проектом, або пароконденсатним балансом;

$K_{факт}$ – фактичний % повернення конденсата в котельню за результатами хімічного аналізу.

$$K_{факт} = \frac{\Sigma_{ХО} - \Sigma_{ЖВ}}{\Sigma_{ХО} - \Sigma_{К}} \cdot 100\%$$

де $\Sigma_{ХО}$, $\Sigma_{ЖВ}$, $\Sigma_{К}$ – лужність хімічноочищеної, живильної води та конденсата, що визначається персоналом на основі середньодобових аналізів підприємства при зимових та літніх навантаженнях (визначається за довідкою підприємства).

Перевитрати палива розраховуються за формулою:

$$\Delta B = Q \cdot \frac{K_{втр}}{100} \cdot \left(\frac{i_k - i_v}{i_n} \right) \cdot b, \left(\frac{кг}{рік, сез} \right);$$

$$\Delta B = Q \cdot \frac{K_{втр}}{100 \cdot K} \cdot \left(\frac{i_k - i_v}{i_n} \right) \cdot b, \left(\frac{нм^3}{рік, сез} \right),$$

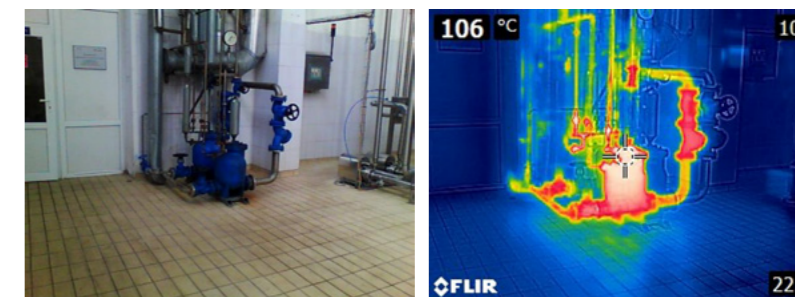
де Q – кількість тепла, виробленого котельнею за певний термін часу (визначається за довідкою підприємства за сезон зима-літо);

K – коефіцієнт переводу з натуральних одиниць в умовне паливо в залежності від калорійності палива (для природного газу – $K = 1,16$; для мазуту – $K = 1,37$);

i_k – ентальпія конденсата, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);
 i_v – ентальпія вихідної води, яка подається в котельню, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);
 i_n – ентальпія пари, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);
 b – питома витрата палива на виробництво 1 Гкал згідно з режимною картою.

Крім наявних ділянок конденсатопроводів з відсутньою теплоізоляцією, аудитору слід також звернути увагу на конденсатовідвідники та ємності для збирання конденсата. Існують непоодинокі випадки, коли ці елементи не мають теплоізоляції, а їх температура на поверхні значно перевищує вказане вище нормативне значення (див. приклад термограми відсутньої теплоізоляції на конденсатовідвідниках на рисунку 6.23).

Рисунок 6.23 –
 Приклад фотофіксації та термограми відсутності теплоізоляції на конденсатовідвідниках



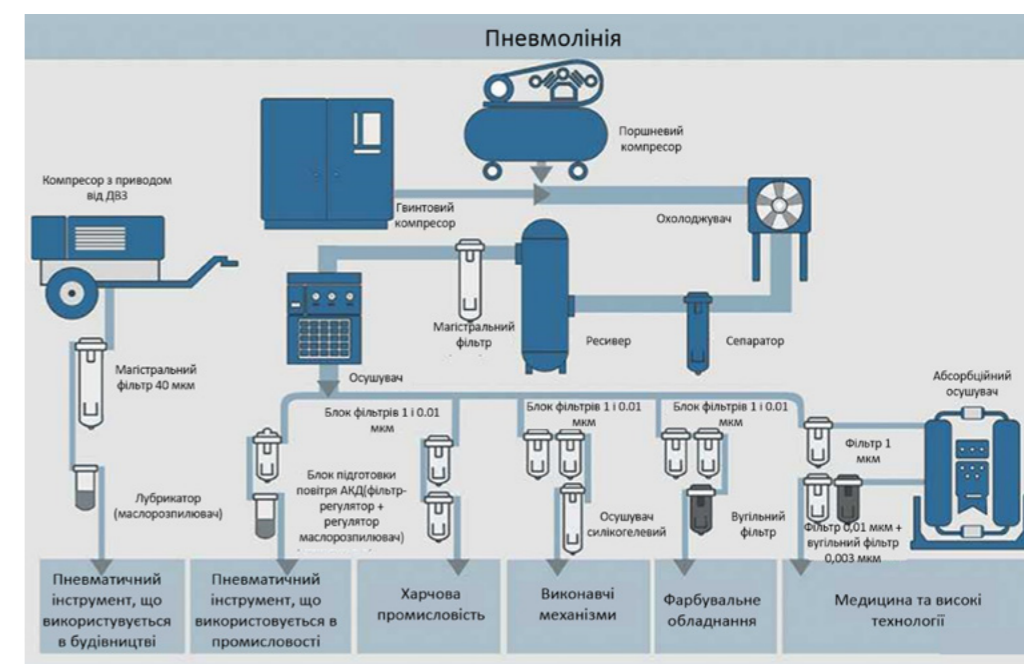
Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Ніколаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проєкт «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

6.6.3 Оцінка стану системи стисненого повітря, виявлення витіків та втрат в елементах системи

Рисунок 6.24 –
 Приклад узагальненої структурної схеми системи стисненого повітря для різних виробничих потреб

Стиснене повітря широко використовується у виробничих процесах. Воно є важливим для роботи промислових установок, таких як пневматичний інструмент, системи керування технологічним обладнанням (див. рисунок 6.24).



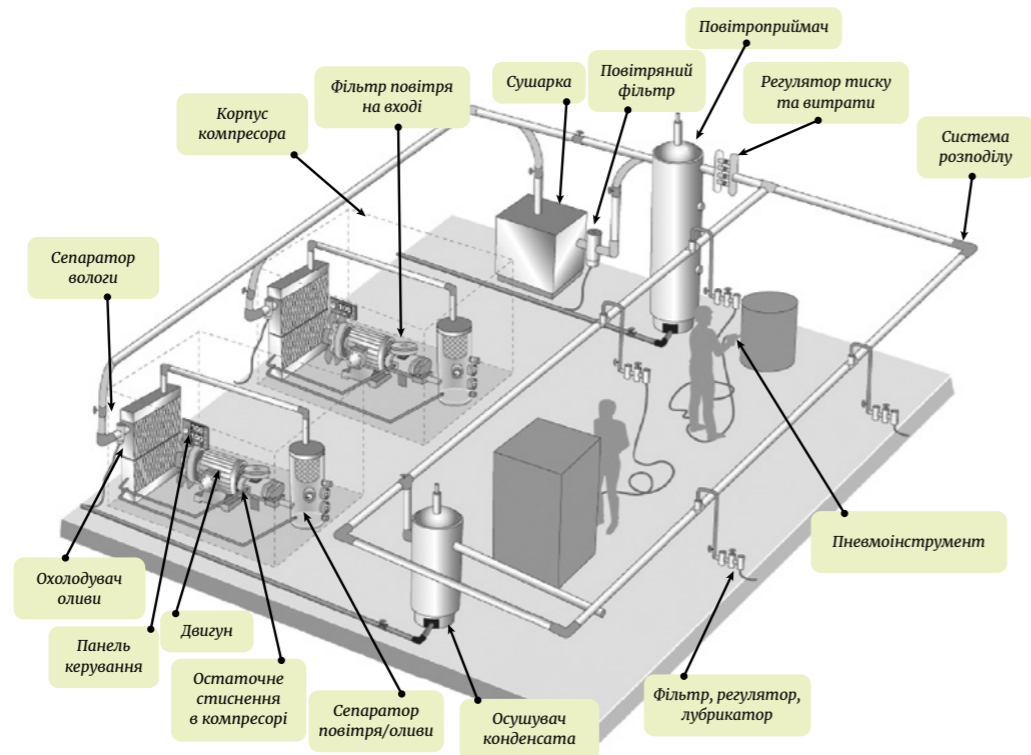
Джерело: <https://compressorprom.ru/>

Характерними ознаками експлуатації систем стисненого повітря на промислових підприємствах є:

- високі експлуатаційні витрати на систему;
- суттєві перепади тиску в пневмомережі;
- вологість та забрудненість повітря, що надходить до компресорів;
- високі втрати через витіки;
- низька надійність роботи системи.

Основні компоненти системи включають як виробництво, так й розподіл стисненого повітря (див. рисунок 6.25).

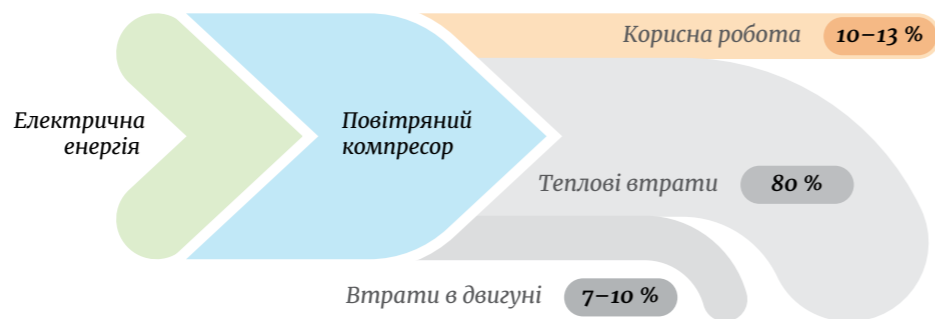
Рисунок 6.25 – Основні компоненти системи стисненого повітря



Джерело: Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry.

Виробництво стисненого повітря характеризується високою енергоемністю. Більша частина енергії, яка використовується компресорами, перетворюється в теплову енергію. Лише близько 10–13 % споживаної енергії корисно використовується на виробництво стисненого повітря. Типова діаграма енергетичних потоків для системи виробництва стисненого повітря наведено на рисунку 6.26.

Рисунок 6.26 – Типова діаграма енергетичних потоків для системи стисненого повітря



Основними причинами низької енергоефективності виробництва стисненого повітря є:

- невідповідність параметрів компресорів, осушувачів, фільтрів, ресиверів (резервуарів) фактичним потребам споживачів стисненого повітря;
- неефективне регулювання вироблення стисненого повітря;
- недостатнє охолодження та осушення стисненого повітря;
- низький рівень техобслуговування обладнання.

Досвід проведення енергоаудитів промислових підприємств дозволяє зафіксувати певні спостереження щодо існуючих систем стисненого повітря. Перш за все, привертає увагу той факт, що забезпечення підприємств стисненим повітрям виконується, як правило, з централізованої компресорної станції, яка не завжди має оптимальне місце розташування з точки зору мінімізації втрат в пневмережі. При цьому, деякі споживачі стисненого повітря можуть бути віддаленими на сотні і навіть тисячі метрів від компресорної станції. Це призводить до того, що в повітропроводах мають місце великі газодинамічні втрати, конденсатні пробки, витіки, величина яких суттєво перевищує нормативні значення. Крім того, застосування централізованого постачання стисненим повітрям всього підприємства ускладнює постачання різним споживачам стисненого повітря із необхідним їм рівнем тиску. Тиск на виході з компресорної обирається виходячи з потреб споживача з найбільшим рівнем тиску і не враховуються потреби інших споживачів, яким потрібний менший тиск. Це призводить до того, що споживачі витрачають стиснене повітря набагато більше, ніж це необхідно. В такому випадку, перевитрати енергії всієї системи стисненого повітря можуть сягати до 20–25 % від споживання цими компресорами.

Регулювання виробництва стисненого повітря компресорною станцією здійснюється одним з таких неефективних способів:

- вмиканням – вимиканням компресорів;
- дроселюванням (штучним зниженням тиску нижче атмосферного) на всмоктуванні;
- стравлюванням надлишкового повітря в атмосферу, обсяг якого досягає до 15 % від продуктивності компресорів.

Перевитрати енергії від застосування цих способів регулювання можуть сягати до 15 % від споживання цими компресорами.

На більшості компресорних станцій встановлено фізично та морально застарілі компресори, що мають питому витрату електроенергії на 25–30 % вище в порівнянні з сучасними енергоефективними компресорами. Крім того для цих компресорів часто застосовується водяне охолодження з додатковими витратами на водопідготовку.

На компресорних станціях, при транспортуванні стисненого повітря, у споживачів, як правило, встановлені малоефективні неавтоматизовані сепаратори вологи, осушувачі повітря, конденсатовідвідники або вони відсутні взагалі. Це призводить до перевитрати енергії на 5–7 % від споживання цими компресорами.

Споживачі в переважній більшості не мають приладів обліку споживаного стисненого повітря, що призводить до його нераціонального використання.

Зважаючи на описане, під час енергоаудиту слід звернути увагу на наявність таких типових недоліків і запропонувати в подальшому більш сучасні рішення щодо підвищення рівня енергоефективності системи стисненого повітря.

Відповідно до рекомендацій UNIDO¹⁷, найкращими практиками, що застосовуються в сучасних системах стисненого повітря, є:

- відповідність характеристик компресорів попиту на їх продуктивність, що ефективно регулюється;
- високий рівень енергоефективності компресорів та їх правильне обслуговування;
- здійснення підготовки повітря відповідно до мінімально необхідних вимог міжнародних стандартів;
- ефективна експлуатація осушувачів;

17 UNIDO Compressed Air Expert Training materials.

правильне збирання та видалення конденсату з пневмережі з подальшою технологічною обробкою;

- підбір правильних перерізів повітроводів на всіх ділянках пневмосистеми;
- здійснення експлуатації системи при мінімально необхідних тисках;
- підтримання перепадів тиску в компресорній станції на рівні не більше 0,5 бар;
- підтримання перепадів тиску в системі не більше 0,2 бар;
- забезпечення рівня витіків не більше 10 % від середнього попиту на стиснене повітря;
- подавання повітря лише тоді, коли воно потрібне.

Одна з найбільших часток втрат енергії в системах стисненого повітря спричинена витіками при розподілі стисненого повітря. Практика проведення аудитів систем стисненого повітря показує, що відсоток витіку в системі розподілу в обсязі 50 % є звичним явищем. Відомо, що особливо тенденцію до протікання мають гнучкі елементи та з'єднувачі (муфти, фітинги, комутаційні компоненти тощо). Необхідно звернути увагу, що ці витіки відбуваються в системі протягом всього року не зважаючи на те, чи працює в цей час компресор, чи ні, оскільки зазвичай система розподілу заповнена повітрям під тиском, що більший за атмосферний. При цьому, шляхом проведення нескладних ремонтних робіт в системі розподілу стисненого повітря, цей відсоток витіку може бути зменшений до 10 %.

Після реалізації таких заходів буде скорочено час роботи компресорів, і, як результат, зменшено споживання ними електроенергії.

Для того, щоб зменшити витіки стисненого повітря їх необхідно спочатку виявити.

Для цього проводять обстеження і пневмоаудит існуючої системи стисненого повітря (пневмережі), результати яких є вихідними даними для розроблення заходів.

Пневмоаудит підприємств дозволяє оцінити не тільки основне устаткування для вироблення стисненого повітря, але і допоміжне обладнання, яке застосовується для підготовки, транспортування і зберігання стисненого повітря. За допомогою пневмоаудиту можна з'ясувати фактичне споживання стисненого повітря як в цілому на підприємстві, так і окремо для кожної технологічної операції, а також оцінити ефективність компресорного обладнання з урахуванням існуючих потреб підприємства в стисненому повітрі.

Пневмоаудит підприємств складається з декількох етапів:

- аналіз параметрів і технічних характеристик компресорного обладнання;
- реєстрація даних, зібраних в різних точках системи (виміри виробництва та споживання стисненого повітря по ділянках пневмережі);
- аналіз і детальне вивчення існуючих пневмосистем, проектних рішень щодо розподілення стисненого повітря і особливостей пневмомагістралей;
- аналіз існуючих процедур технічного обслуговування системи і підготовки персоналу, а також витрат на ці потреби;
- оцінка доцільності підключення споживачів стисненого повітря до централізованих пневмомагістралей або використання локальних установок з вироблення стисненого повітря з урахуванням особливостей технологічних процесів підприємства;
- аналіз якості підготовки стисненого повітря з точки зору його необхідної доцільності;
- виявлення найбільш проблемних і перевантажених ділянок пневмомагістралей;
- виявлення нецільового використання стисненого повітря;
- визначення витіків, вимірювання потужності обладнання тощо;
- оцінка рівня енергоефективності пневмосистем підприємства;
- розроблення рекомендацій та/або техніко-економічного обґрунтування запропонованих заходів щодо підвищення рівня енергоефективності пневмосистем підприємства.

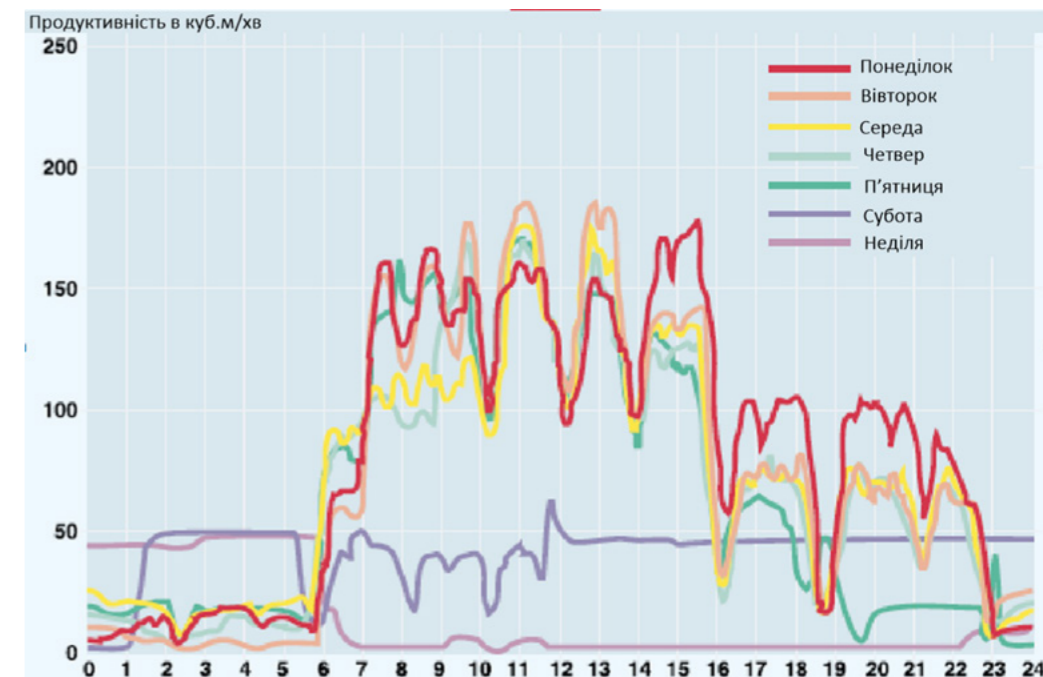
Аналіз виробничого процесу виявляє ключові параметри споживання стисненого повітря і створює основу для оцінки кількості стисненого повітря, яке краще виробити. Більшість промислових підприємств безперервно розвиваються, а це означає, що споживання стисненого повітря теж змінюється. Тому важливо мати дані щодо постачання повітря, які базуються на поточних умовах його споживання.

Аналіз виробничого процесу включає в себе вимірювання експлуатаційних параметрів, за можливості, доповнене спостереженням за роботою наявної компресорної установки про-

тягом відповідного періоду часу. Цей аналіз повинен проводитися протягом щонайменше одного робочого тижня, щоб отримати надійну картину типового профілю споживання.

В результаті отримуємо графік роботи компресора з певною продуктивністю. На рисунку 6.27 показано графік роботи компресора з продуктивністю 260 м³/хв, на якому різними кольорами показано криві за різні дні тижня.

Рисунок 6.27 –
Приклад тижневого графіка
роботи компресора



Накопичені дані також дають можливість моделювати різні заходи, зміни в роботі компресора, та проаналізувати їх внесок в загальну ефективність установки.

Такі фактори, як час роботи під навантаженням і час розвантаження, теж мають відношення до загальної оцінки ефективності роботи компресора. Вони служать основою для обчислення коефіцієнта завантаження компресора, який не можна безпосередньо отримати з лічильника мото-годин, і розрахунку споживання стисненого повітря протягом дня або робочого тижня.

Аналіз виробничого процесу також дозволяє оцінити можливість використання рекуперації теплової енергії. Найчастіше можна рекуперувати до 80 % енергії, що споживається компресорами з мережі. Крім того, аналіз може дати відповідь на питання про параметри установки, а також про режим її роботи. Наприклад, робочий тиск часто можна зменшувати в певний час, систему управління можна модифікувати, щоб поліпшити використання компресора при змінах кількості виробленої продукції.

Якість стисненого повітря безпосередньо впливає на експлуатаційні витрати: олива, вода або частинки, що потрапляють в мережу із стисненим повітрям, призводять до зайвого споживання енергії та скорочують термін експлуатації компонентів пневматичних систем. Це також ставить під сумнів надійність процесу, і, в найгіршому випадку, призводить до раптової зупинки компресора.

Результати виконання робіт з оцінки якості стисненого повітря дозволять:

- забезпечити оптимальну якість стисненого повітря;
- збільшити термін служби компонентів пневматичних систем;
- мінімізувати несподівані простої виробництва;
- забезпечити цільове пристосування підготовки стисненого повітря до вимог споживачів.

За рахунок зменшення тиску на 1 бар можна заощадити до 8 % енергії для вироблення стисненого повітря. Крім того, стабільний рівень тиску є необхідною умовою надійного вико-

нання технологічних процесів. Під час вимірювання падіння тиску використовують датчики та реєстратори даних для одночасного запису профілю тиску в декількох точках системи стисненого повітря. Також визначаються перепади тиску в мережі.

Під час пневмоаудиту може застосовуватися різноманітне вимірювальне обладнання (для пошуку витіків, визначення точки роси, вимірювання перепадів тиску, вимірювання витрат стисненого повітря тощо).

Приклад застосування вимірювального обладнання під час проведення аудиту систем стисненого повітря показано на рисунку 6.28.

Рисунок 6.28 –
Приклад застосування
вимірювального обладнання
під час проведення аудиту
систем стисненого повітря



Джерело: <https://izmerkoni.ru/userfiles/articles/170831%20-%20pneumoaudit/>.

Витіки стисненого повітря зазвичай виявляють за допомогою ультразвукового обладнання. При скануванні обстежуваної ділянки пневмережі за допомогою ультразвукового приладу шум витіку може бути почутий в навушниках приладу як шиплячий звук або показаний у вигляді амплітуди сигналу на дисплеї/приладі. Чим ближче прилад до місця витіку, тим голосніше шиплячий звук її шуму і вище показання приладу. Якщо виникають проблеми при сильному шумі в навколишньому середовищі, то додатково може бути використаний гумовий фокусуючий рупор для звуження поля прийому сигналу і екранування його від заважаючих ультразвукових шумів. Можливість зміни частоти роботи приладу (доступна в більшості моделей приладів) дозволяє значно знизити перешкоди від фонового шуму, полегшуючи виявлення витіків за допомогою ультразвуку.

Результатом пневмоаудиту є визначення заходів з підвищення енергоефективності та надійності роботи всієї системи, які дозволять знизити вартість вироблення стисненого повітря для підприємства.

Для того, щоб оцінити максимальний, приведений до нормальних умов, обсяг втрати повітря через отвір у трубопроводі можна скористатись наступною формулою:

$$V_0 = \frac{95 \cdot d^2 \cdot p_1}{\sqrt{T_1}},$$

де V_0 – максимальний обсяг витрати повітря, приведений до нормальних умов, м³/год;

d – діаметр отвору, мм;

p_1 – тиск повітря перед отвором, МПа;

T_1 – температура повітря, К.

В простих випадках обсяг втрат через витіки у зв'язку з негерметичностями системи можна оцінити наступним чином:

- 1) Вимкнути всі прилади та всіх споживачів стисненого повітря.
- 2) Увімкнути компресор та у ресивер із відомим об'ємом V_B (л) закачати повітря із початковим тиском P_A (бар).
- 3) Вимкнути компресор, залишити систему в спокої на деякий час t (хв.).
- 4) Заміряти кінцевий тиск в ресивері P_E (бар). Тоді обсяг втрат V_L через витіки у зв'язку з негерметичностями системи можна оцінити наступним чином:

$$V_L = \frac{V_B \cdot (P_A - P_E)}{t}, \text{ л/хв}$$

Одним із важливих параметрів якості стисненого повітря є його відносна вологість. Високе значення цього показника небезпечно тим, що вузли та елементи системи, що знаходяться на відкритому повітрі, можуть вийти з ладу в зимовий період внаслідок замерзання вологи, що сконденсувалася. Для запобігання цього зазвичай встановлюють осушувачі повітря. Однак, треба враховувати те, що осушувачі повітря потребують додаткової потужності компресорної станції. Величину цієї потужності можна розрахувати, використовуючи наступний приклад.

Приклад

Розрахувати необхідну додаткову потужність компресорної станції за умови встановлення осушувачів повітря, якщо кількості об'ємних і струминних пневмоприймачів підприємства співвідносяться як 2:1; магістральні трубопроводи теплоізовані: середня температура стисненого повітря в цехових мережах приймається 80 °С для літнього періоду і 40 °С для зимового періоду експлуатації при температурі його після компресорної станції 120... 140 °С. Наскільки збільшиться перевитрата стисненого повітря на підприємстві після установки осушувача повітря, після якої середня температура стисненого повітря в цехових мережах знизилася до 30 °С в літній час і до 15 °С в зимовий час? Продуктивність станції 1 000 м³/хв.

Зміни витрат стисненого повітря після встановлення осушувачів повітря у залежності від пори року за паспортними даними показано в таблиці 6.12.

Пора року	Зміни витрат об'ємним пневмоприймачем, %	Зміни витрат струминним пневмоприймачем, %
Літо	+16,5 (коефіцієнт 1,165)	+7,9 (коефіцієнт 1,079)
Зима	+8,7 (коефіцієнт 1,087)	+4,2 (коефіцієнт 1,042)

Порядок розрахунку наведено нижче:

Підвищення витрат в літній період експлуатації:

$$\left(\frac{1,165 \cdot 2}{3} + \frac{1,079}{3}\right) = 1,136, \text{ тобто підвищення витрат у літній період}$$

складе 13,6 %.

Підвищення витрат в зимовий період експлуатації:

$$\left(\frac{1,087 \cdot 2}{3} + \frac{1,042}{3}\right) = 1,072, \text{ тобто підвищення витрат у зимовий пе-}$$

ріод складе 7,2 %.

Таким чином, осушувач повітря потребує додаткової потужності компресорної станції у розмірі 13,6 % влітку та 7,2 % взимку, що може ввести компресори в режим глибокого регулювання, що також енерговитратно. Відповідь на питання про те, яку кількість повітря слід осушувати і де необхідно розміщувати установки осушувача повітря, слід вирішувати з урахуванням очікуваної перевитрати повітря.

Таблиця 6.12 –
Зміни витрат повітря
пневмоприймачами
у залежності від пори року

Рекуперацію тепла стисненого повітря після його осушення можна здійснити в теплообміннику «повітря-повітря», який встановлюється замість кінцевого охолоджувача.

Важливою задачею проведення аудиту системи вироблення та розподілу стисненого повітря є також визначення відповідності:

- розміру ресивера (або необхідності його встановлення), обсягу споживання та потужності компресорної станції;
- довжини та діаметра розподільчих мереж з урахуванням тиску, споживання та допустимого падіння тиску.

Для вирішення задач, наведених вище, можна скористатися наступними прикладами.

Приклад

Визначення розміру ресивера для нерегулярного споживання.

Споживання повітря в пневмосистемі характеризується піками та провалами, які чергуються регулярно або нерегулярно. Обсяг ресиверу V_{Res} , м³, можна обчислити за формулою:

$$V_{Res} = \frac{\Delta t_{Consumpt}}{\Delta p} \cdot (V_{Consumpt} - V_{eff}),$$

де $\Delta t_{Consumpt}$ – тривалість пікового споживання, хв;

Δp – допустиме падіння тиску повітря в ресивері, бар;

$V_{Consumpt}$ – пікове споживання повітря, м³/хв;

V_{eff} – ефективна подача, м³/хв, (за ISO 1217).

Слід також перевірити, чи достатні за тривалістю перерви в споживанні, щоб компресор встиг підняти тиск в ресивері до потрібного рівня. Час для наповнення Δt_{fill} можна обчислити за формулою:

$$\Delta t_{fill} = \frac{V_{Re\ s.vol.} \cdot \Delta p}{V_{eff}}$$

Якщо компресор працює не постійно, а включається на певні періоди часу, коли тиск в ресивері падає нижче заданого рівня, слід враховувати число пусків і зупинок мотора компресора. Внаслідок зносу число таких включень рекомендується обмежити, в залежності від типу двигуна, до 6-10 разів на годину.

Для цих компресорів обсяг ресивера в м³ розраховується за формулою:

$$V_{Re\ s.vol.} = \frac{15 \cdot V_{eff} \cdot p_1}{Z_s \cdot \Delta p},$$

де p_1 – робочий тиск, бар;

Z_s – число включень за годину.

Використовуючи ці приклади, можна обчислити теоретичний необхідний об'єм ресивера та порівняти його із існуючим. За умови, якщо існуючий ресивер значно менший за обсягом, можна розглянути необхідність його заміни.

Приклад

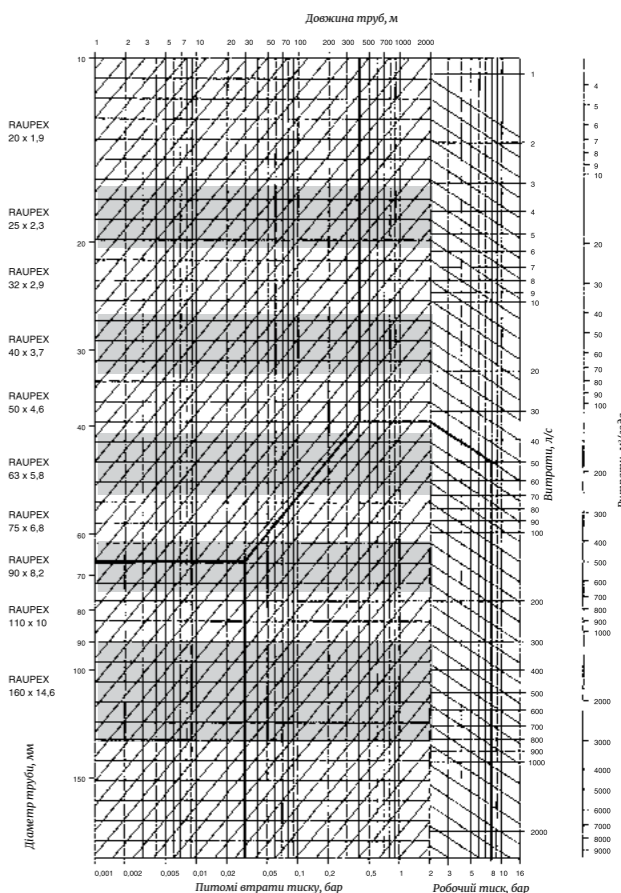
Розрахунок втрат тиску у розподільчій мережі стисненого повітря.

Такий розрахунок доцільно проводити для обчислення відповідності діаметра/довжини трубопроводів розподілу стисненого повітря його витраті та значенню допустимого зниження тиску.

На плані мережі стисненого повітря повинні бути показані довжини і типи трубопроводів, а також число фітингів. Чим довше труба, тим більше втрати тиску до точки відбору повітря до споживача. Головним чином втрати викликані шорсткістю стінок труби і швидкістю потоку.

Існує безліч номограм, що дозволяють швидко підрахувати втрати тиску в залежності від довжини труби і її діаметра. Так, у таблиці 6.13 наведено приклад визначення втрат тиску для мережі із довжиною 200 м, внутрішнім діаметром 40 мм за умови об'ємної витрати 6 л/с та робочого тиску 7 бар. Виконавши кроки з 1 по 7, можна отримати значення втрат тиску, що дорівнює 0,0034 бар.

Рисунок 6.29 –
Приклад визначення
втрат тиску у мережі
стисненого повітря
за допомогою номограми



Еквівалентні довжини трубопроводу показані в таблиці 6.13.

Назва	Рисунок	Еквівалентна довжина в метрах									
		Діаметр труби в міліметрах									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Кульовий кран		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Поворот на 90 градусів		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Трійник		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Звуження з 2d на d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

Таблиця 6.13 –
Приклад розрахунку еквівалентних довжин елементів розподільчої мережі стисненого повітря

Але для швидкого розрахунку еквівалентну довжину мережі $L_{екв}$ можна прийняти на 60 % більшу за загальну довжину $L_{заг}$ тобто

$$L_{екв} = 1,6 \cdot L_{заг}$$

Для більшості інженерних розрахунків такий підхід може забезпечити достатню точність при істотній економії часу на виконання більш точних розрахунків.

Щодо мінімального внутрішнього діаметра мережі стисненого повітря, то його можна визначити за допомогою формули:

$$d = \sqrt[5]{1,6 \cdot 10^3 \cdot V^{1,85} \cdot \frac{L_{заг}}{\Delta p \cdot p_1}}, \text{ м}$$

де V – об'ємна витрата повітря, м³/с.

Після обчислення діаметр труби вибирається із наявної номенклатури труб із обчисленням до найближчого більшого типорозміру. У разі значних відмінностей теоретично необхідного діаметра та фактично наявного на підприємстві доцільним є розглянути захід щодо реконструкції розподільної мережі із збільшенням діаметра, що дозволить знизити втрати та тиск у мережі.

6.6.4 Оцінка стану елементів системи електропостачання та визначення втрат електричної енергії в них

Система електропостачання або електропостачальна система (ЕПС) – це сукупність взаємопов'язаних електроустановок, електричних мереж та іншого обладнання, призначеного для виробництва, передавання, розподілу та споживання електроенергії. При цьому під електричною мережею розуміють сукупність електроустановок на визначеній території підприємства, призначених для передавання та розподілу електроенергії і яка складається з підстанцій, розподільних пристроїв, струмопроводів, повітряних та кабельних ліній електропередач, апаратів приєднання, захисту та керування.

Конфігурація системи електропостачання одного підприємства відрізняється від конфігурації системи електропостачання інших подібних підприємств. Однак, в цій системі в будь-якому разі мають бути певні конструктивні елементи – захисна та комутаційна апаратура, силові та вимірювальні трансформатори, кабельні або повітряні лінії тощо. Всі ці елементи поєднуються у електричні мережі підприємства у вигляді схем електропостачання, що графічно представлені в однолінійному виконанні. Схеми можуть мати як спрощений вигляд, так і більш деталізований. Основне призначення таких схем – наочне відображення наявних зв'язків між елементами системи електропостачання, а також основних параметрів цих елементів. Приклади однолінійних схем електропостачання показано на рисунках 6.29 та 6.30.

Для енергоаудитора однолінійні схеми підприємства та окремих його підрозділів – це джерело первинної інформації щодо розподілу електроенергії по території підприємства, а також отримання узагальненого уявлення щодо електричного навантаження підприємства. Крім того, часто на схемах електропостачання показано місця встановлення електричних лічильників та типи цих лічильників, що дає змогу оцінити яка частина підприємства охоплена обліком. Це може бути або лише комерційний облік – коли встановлено один або декілька лічильників на електричних вводах підприємства (див. рисунок 6.29) або поєднання комерційного та технічного обліку. В цьому випадку також показано лічильники внутрішньозаводського обліку, які охоплюють одну або декілька найбільш суттєвих (енергоємних) установок або процесів.

Рисунок 6.30 –
Приклад зображення спрощеної однолінійної схеми електропостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників комерційного обліку електроенергії

Схема електропостачання

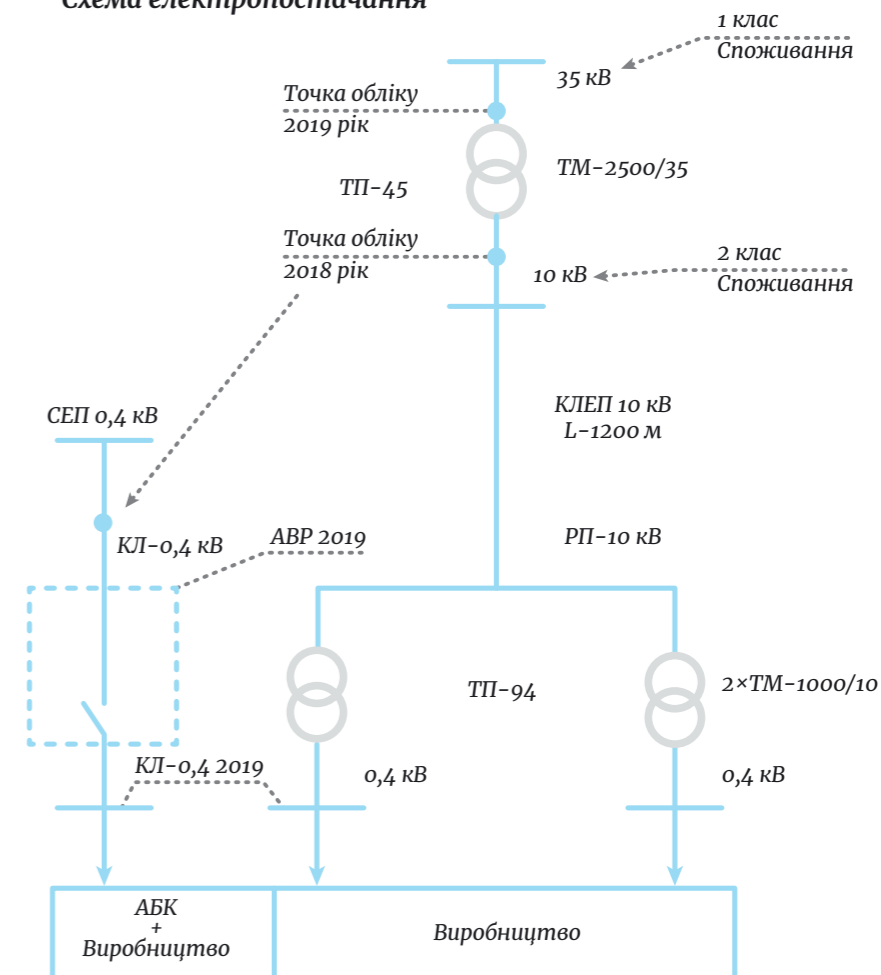
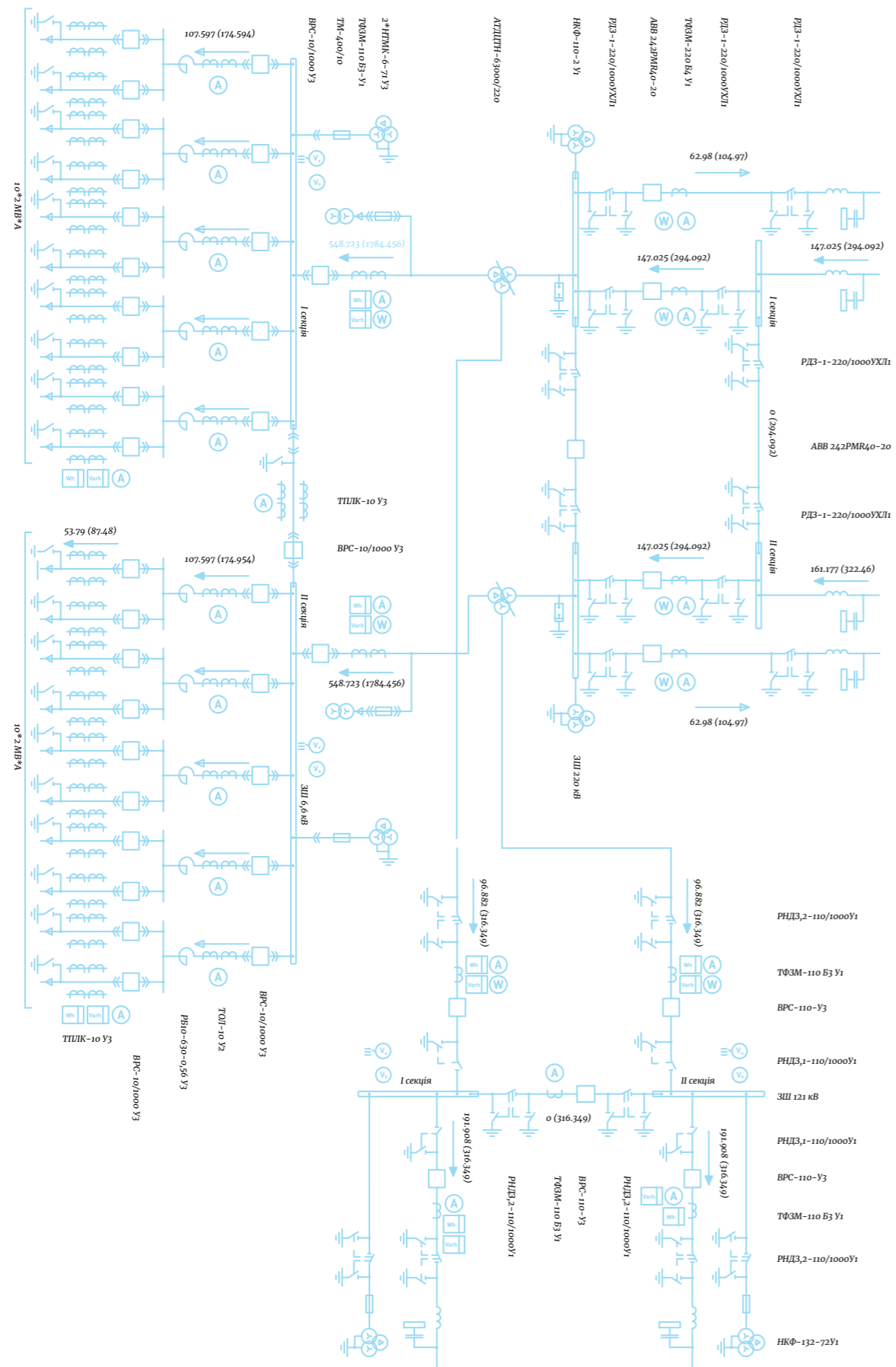


Рисунок 6.31 –
Приклад типового зображення однолінійної схеми електропостачання



В залежності від розмірів підприємства, а також його специфіки електричні мережі розрізняють за:

- номінальною напругою;
- видом електричного струму;
- режимом нейтралі;
- надійністю електропостачання;
- конструктивним виконанням.

Зазвичай всі мережі живлення на підприємстві поділяють на мережі з номінальною напругою до 1 000 В (низьковольтні мережі) та понад 1 000 В (високовольтні мережі). До мереж з напругою до 1 000 В відносять мережі з напругою 220, 380 і 660 В. До мереж з напругою понад 1000 В належать мережі з напругою 3, 6, 10, 20 і 35 кВ – мережі середньої напруги; мережі 110, 220 кВ – високої напруги; 330, 500 і 750 кВ – надвисокої напруги; 1150 кВ – ультрависокої напруги.

Підстанції мереж електропостачальних систем відіграють роль вузлів мережі, в яких електроенергія приймається, параметри її перетворюються на інші (крім розподільчих пунктів (РП), після чого вона видається для подальшого розподілу.

За призначенням розрізняють вузлові розподільні підстанції (ВРП), які найчастіше відносять до системних, головні понижувальні підстанції (ГПП), РП, цехові трансформаторні підстанції (ЦТП) або трансформаторні пункти (ТП) та спеціальні, наприклад, перетворювальні підстанції (ПП). В залежності від кількості трансформаторів ПП найчастіше бувають одно- або двотрансформаторними.

Отримавши уявлення про схему електропостачання підприємства, енергоаудитор може уточнити план аудиту, а також визначити місця проведення необхідних електричних вимірювань.

Отримавши генеральний план підприємства, енергоаудитор може вказати на ньому місця розташування трансформаторних підстанцій, щоб оцінити оптимальність розташування ТП з точки зору мінімізації втрат електроенергії в електричних мережах. Для цього енергоаудитору треба знати, крім місць розташування ТП, також електричне активне навантаження по кожному підключенню та координати розташування цих підключень в площині відносно прийнятої системи координат (див. рисунок 6.31).

Відносно прийнятої осі координат розраховують моменти навантаження (добуток активного навантаження на відстань відносно осей X та Y), на основі яких визначають центр навантаження.

Фактичний центр електричних навантажень (ЦЕН) визначаємо як точку з координатами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{СУМ}i} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n P_{\text{СУМ}i}};$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{СУМ}i} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n P_{\text{СУМ}i}},$$

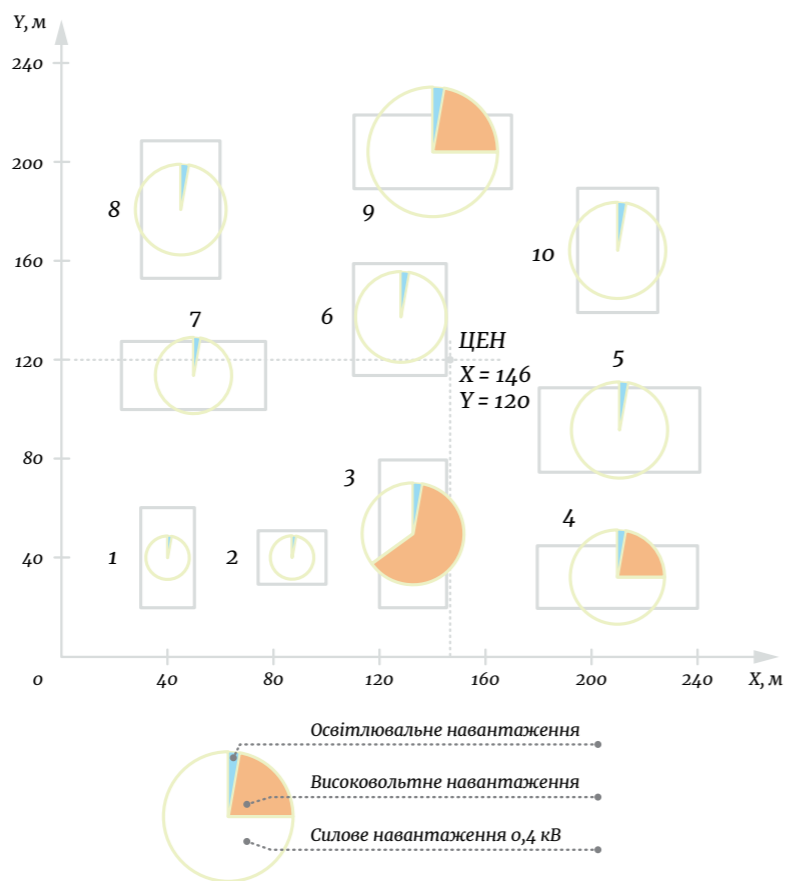
де $P_{\text{СУМ}i}$ – сумарне максимальне електричне навантаження i -го підрозділу; x_i, y_i – координати i -го навантаження об'єкта; n – кількість підрозділів підприємства. Крім цього, на плані можна також зобразити картограму електричних навантажень – ряд кіл у центрах навантаження окремих підрозділів підприємства (див. рисунок 6.31).

Радіус кола i -го підрозділу визначають за виразом:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

де P_i – максимальне електричне навантаження i -го підрозділу, кВт; m – мірило, кВт/см²; приймають відповідно до найпотужнішого підрозділу.

Рисунок 6.32 –
Приклад зображення
генерального плану
підприємства з нанесенням
координат розташування
цехів та центру електричних
навантажень



У кожному з отриманих кіл виокремлюємо сектори, що відповідають силовому 0,4 кВ, а також освітлювальному навантаженням:

$$\alpha_{0,4i} = \frac{360 \cdot P_{0,4i}}{P_{\Sigma i}}$$

$$\alpha_{OSBi} = \frac{360 \cdot P_{OSBi}}{P_{\Sigma i}}$$

де α_i – значення кута сектора в градусах, град; $P_{\Sigma i}$ – сумарне максимальне навантаження i -го підрозділу, кВт; $P_{0,4i}$ – силове навантаження напругою 0,4 кВ i -го підрозділу, кВт; P_{OSBi} – навантаження освітлення i -го підрозділу, кВт.

Високовольтне навантаження P_{Bi} враховують у сумарне навантаження підрозділу.

Основними якісними та кількісними показниками режиму електроспоживання всього підприємства або його окремої структурної одиниці (обладнання, ділянки, цеху тощо) є криві зміни активного, реактивного або струмового навантаження в часі. Ці криві називаються графіками електричного навантаження (ГЕН), відповідно, за активною, реактивною потужністю або за струмом.

Рисунок 6.33 –
Типова форма добового графіка
активного і реактивного
навантаження режимних днів

Зазвичай на підприємствах протягом року двічі будують графіки електричних навантажень для режимних днів – зимового та літнього. Форму добового графіка активного і реактивного навантаження наведено на рисунку 6.32¹⁸.

ДОВОБІ ГРАФІКИ
активного та реактивного електричного навантаження

(назва підприємства, відомча належність, галузь)

за "___" _____ 200_ р.
(число, місяць, рік)

(адреса підприємства)

Головний енергетик (особа, відповідальна за електроспоживання)	(П. І. Б.)	Керівник підприємства (П. І. Б.)
№ телефону		Приймальня, № телефону

Роб.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Q _{акт}																									
Q _{реакт}																									

Умовні позначення	1. Приєдмана потужність трансформаторів _____ кВт	
	2. Приєдмана потужність високовольтних силових ліній _____ кВт	
Активне навантаження -	3. Приєдмана потужність комплексувального устаткування _____ кВт	
Реактивна потужність -	4. Максимальне активне навантаження в години контролю максимуму ОЕС України Рмакс _____ кВт	
"___" _____ 200_ р.	5. Мінімальне активне навантаження протягом доби Рмін _____ кВт	
Керівник підприємства	6. Споживання активної електроенергії за добу _____ кВт·год	
(П. І. Б.) (підпис)	7. Середньодобове активне навантаження Pср _____ кВт	
	8. Коефіцієнти заповнення добового графіка Кз, разок _____	
	9. Максимальне добове реактивне навантаження Qмакс _____ кВт	
	10. Споживання реактивної електроенергії за добу _____ кВт·год	

¹⁸ Порядок організації проведення вимірів електричного навантаження в режимний день, затверджений наказом Міністерства палива та енергетики України 15.01.2008 №7

Для аналізування нерівномірності добового споживання використовують спеціальні характеристичні показники та коефіцієнти, які в числовому еквіваленті описують форму, нерівномірність, розмах ГЕН тощо.

Найвиразнішою характеристикою розмаху графіка є показник нерівномірності K_{HP} , який визначають за формулою:

$$K_{HP} = \frac{P_{МИН}}{P_{МАКС}}$$

де $P_{МИН}$, $P_{МАКС}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення потужності впродовж певного досліджуваного інтервалу часу.

Оскільки величини $P_{МИН}$, $P_{МАКС}$ теоретично можуть змінюватися в інтервалі $[0; +\infty)$, то коефіцієнт нерівномірності набуває значень відповідно в межах $[0; 1]$. Для $K_{HP} = 1$ ГЕН є абсолютно рівномірним («жорстким»); для $K_{HP} \rightarrow 0$ навантаження характеризується крайньою нерівномірністю.

Теоретично K_M може набувати значень від одиниці й більше ($K_M \geq 1$), оскільки $P_{МАКС} \geq P_{CP}$. Зростання K_M відповідає збільшенню нерівномірності ГЕН.

Коефіцієнт заповнення ГЕН $K_{ЗГ}$ є обернено пропорційним до K_M показником і може бути визначений із співвідношення:

$$K_{ЗГ} = \frac{1}{K_M} = \frac{P_{CP}}{P_{МАКС}}$$

$K_{ЗГ}$ змінюється в інтервалі $(0; 1]$.

Коефіцієнти K_{HP} , K_M , $K_{ЗГ}$ надають опис ГЕН лише в окремих точках графіка й залежать лише від його екстремумів, що не дозволяє дати однозначну оцінку ступеня нерівномірності навантаження, адже різні за конфігурацією ГЕН можуть мати однакові значення розрахункових коефіцієнтів.

Коефіцієнт форми K_ϕ , з точки зору статистики, дає детальнішу оцінку форми ГЕН; K_ϕ можна визначити за виразом:

$$K_\phi = \frac{P_{СРКВ}}{P_{CP}}$$

де $P_{СРКВ}$ – середньоквадратичне значення потужності, визначене за формулою:

$$P_{СРКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^2 \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

де P_i – потужність на i -й ділянці тривалістю t_i ; n – кількість ділянок ГЕН.

Крім споживання активної електроенергії на підприємствах відбуваються перетікання реактивної потужності/енергії. Якщо активна енергія перетворюється в корисну – механічну, теплову та ін. енергію, то реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах.

Показником споживання реактивної енергії (потужності) є коефіцієнт потужності $\cos\phi$, який показує співвідношення активної потужності P і повної потужності S , що споживається електроприймачами з мережі: $P = S \times \cos\phi$. Одиницею вимірювання реактивної потужності є вольт-ампер реактивний (ВАр). Активна, реактивна і повна потужності пов'язані наступним чином:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Значення коефіцієнта потужності незкомпенсованого устаткування наведені нижче.

Таблиця 6.14 –
Значення коефіцієнта
потужності незкомпенсо-
ваного устаткування

Тип навантаження	Приблизний коефіцієнт потужності
Галузь промисловості	0,6–0,8
Асинхронний електродвигун 100–250 кВт	0,8–0,9
Індукційна піч	0,2–0,6
Зварювальний апарат змінного струму	0,5–0,6
Електродугова піч	0,6–0,8
Лампа люмінесцентна	0,5–0,6

В оптимальному режимі показник повинен прямувати до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

Реактивна потужність, що споживається промисловими підприємствами, розподіляється між окремими видами електроспоживачів у такий спосіб: 65–70 % припадає на асинхронні двигуни, 20–25 % – на трансформатори й близько 10 % – на повітряні електричні мережі й інші електроспоживачі (люмінесцентні лампи, реактори, індуктивні прилади й т. п.).

Збільшення споживання реактивної потужності електроустановкою призводить до зростання струму в провідниках будь-якої ланки системи електропостачання й зниження величини коефіцієнта потужності електроустановки.

Зростання коефіцієнта потужності або зменшення споживання реактивної потужності елементами системи електропостачання знижує втрати активної потужності й підвищує напругу. На тих ділянках, де споживання реактивної потужності елементами системи електропостачання збільшується, втрати активної потужності теж збільшуються, а напруга знижується. На тих ділянках, де споживання реактивної потужності зменшується, збільшується, крім того, пропускна здатність елементів системи електропостачання, а при проектуванні нових ліній створюється можливість застосування проводів менших перерізів при передачі тієї ж активної потужності.

Відповідно до п. 5.5.13. Правил роздрібного ринку електричної енергії¹⁹ побутовий споживач зобов'язаний здійснювати компенсацію перетікань реактивної електричної енергії з метою енергозбереження та дотримання показників якості електричної енергії.

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним заходом з підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

Заходи щодо компенсації реактивної потужності можуть бути умовно розділені на такі, що не потребують застосування пристроїв компенсації реактивної потужності, та ті, що потребують встановлення таких пристроїв.

Заходи, що не потребують застосування пристроїв компенсації реактивної потужності:

- упорядкування технологічного процесу, що сприяє поліпшенню енергетичного режиму устаткування, а отже, до підвищення коефіцієнта потужності;
- перемикання статорних обмоток асинхронних двигунів напругою до 1 000 В з трикутника на зірку, якщо їхнє навантаження становить менш 40 %;
- обмеження режиму роботи асинхронних двигунів без завантаження (холостого ходу) шляхом установки обмежувачів холостого ходу;

¹⁹ Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджені Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 312.

- заміна, перестановка й відключення трансформаторів, що завантажені у середньому менше, ніж на 30 % від їхньої номінальної потужності;
- заміна малонавантажених двигунів меншою потужністю за умови, що вилучення надлишкової потужності призводить до зменшення сумарних втрат активної енергії в енергосистемі й двигуні;
- заміна асинхронних двигунів синхронними двигунами тієї ж потужності, де це доцільно, виходячи з техніко-економічних міркувань;
- застосування синхронних двигунів для всіх нових установок електроприводу, де це доцільно, виходячи з техніко-економічних міркувань.

Заходи, пов'язані із застосуванням пристроїв компенсації реактивної потужності:

- установка статичних конденсаторів;
- використання синхронних двигунів як компенсаторів.

Після вирішення питання стосовно доцільності компенсації реактивної потужності на підприємстві слід провести оцінку втрат електричної енергії в мережах. Всі втрати електричної енергії в мережах умовно можна розподілити на технологічні та комерційні (див. рис. 6.33).

За місцем виникнення втрати електричної енергії на підприємствах розподіляються на втрати у трансформаторах і кабельних лініях.

Розрахунок втрат електричної енергії в трансформаторах виконується за формулою:

$$\Delta W_{тр} = (\Delta P_{хх} \cdot T_0 + K_{\phi}^2 \cdot \beta^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot T_p) \cdot 10^{-3}, \text{ тис. кВт} \cdot \text{год},$$

де $\Delta P_{хх}$, $\Delta P_{кз}$ – втрати потужності в трансформаторі відповідно при холостому ході і короткому замиканні трансформатора (визначаються за паспортними даними або за номограмами втрат); T_0 – число годин приєднання трансформатора до мережі за розрахунковий період; T_p – число годин роботи трансформатора з навантаженням за розрахунковий період; β – коефіцієнт навантаження трансформатора, що дорівнює відношенню середнього струму навантаження до номінального струму трансформатора ($\beta = I_{сер} / I_n$). Співвідношення $I_{сер} / I_n$ приймається на підставі характерного добового графіка навантаження трансформатора; K_{ϕ} – коефіцієнт форми графіка навантаження трансформатора, що дорівнює відношенню середньоквадратичного значення струму навантаження до середнього струму навантаження трансформатора за розрахунковий період ($I_{сер.кв.} = I_{сер} \cdot K_{\phi}$).

Середній струм навантаження за розрахунковий період роботи трансформатора визначається за формулою:

$$I_{сер} = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot T_p}, A,$$

де W_a , W_p – витрати активної і реактивної енергії за розрахунковий період, кВт·год, кВАр·год; U_n – номінальна напруга мережі, кВ; T_p – число годин роботи трансформатора з навантаженням за розрахунковий період, год. Коефіцієнт форми графіка навантаження трансформатора K_{ϕ} може бути визначений за характерними добовими графіками навантаження підприємства або цеху окремо для зимового і літнього періодів за формулою:

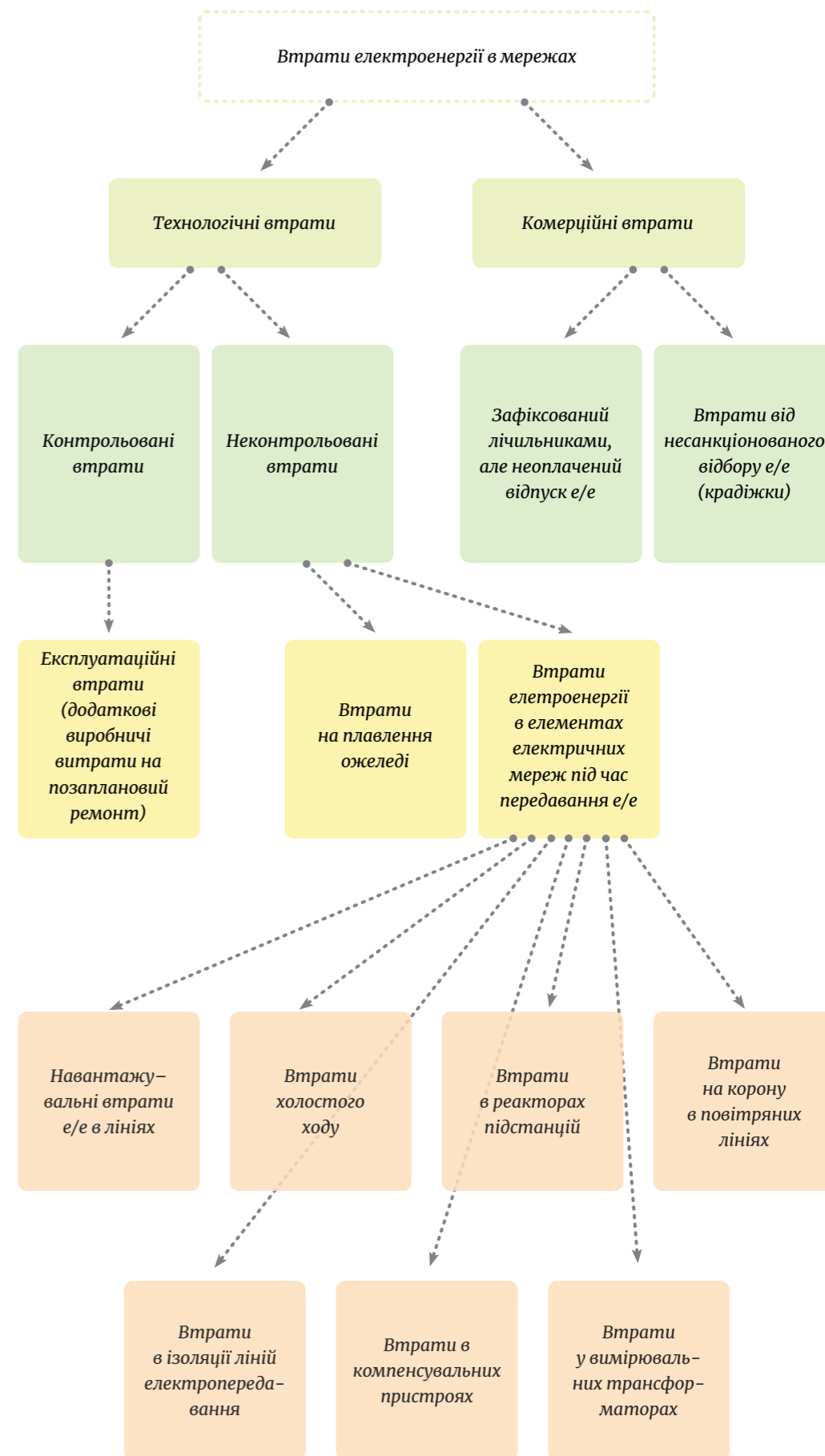
$$K_{\phi} = \sqrt{24} \cdot \sqrt{\frac{(W_a^{zod})^2 + (W_p^{zod})^2}{W_a^2 + W_p^2}},$$

де W_a^{zod} , W_p^{zod} – щогодинне споживання активної і реактивної енергії, кВт·год, кВАр·год; W_a , W_p – витрати активної і реактивної енергії за відповідну добу, кВт·год, кВАр·год.

Втрати електроенергії в будь-якій лінії цехової або заводської електричної мережі за відповідний розрахунковий період визначаються за формулою:

$$\Delta W_{л} = 3 \cdot K_{\phi}^2 \cdot I_{\phi}^2 \cdot R_e \cdot T_p \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Рисунок 6.34 –
Класифікація втрат електричної енергії в мережах



де K_ϕ – коефіцієнт форми графіка навантаження лінії;
 $I_{сер}$ – середнє значення струму в лінії за відповідну добу, А;
 R_e – еквівалентний активний опір лінії, Ом;
 T_p – число годин роботи лінії за розрахунковий період, год.

Для оцінки стану елементів системи електропостачання проводять візуальний огляд їх технічного стану, а також можна виконати тепловізійне обстеження контактних з'єднань та шин. Це дасть змогу виявити місця перегрівання елементів та упередити вихід їх з ладу. Перегрівання елементів зазвичай свідчить або про перевантаження елемента схеми, або про поганий контакт між сусідніми елементами схеми. І те і інше викликає збільшення втрат електроенергії в цих елементах.

Рисунок 6.35 –
 Приклад результатів
 тепловізійного обстеження
 комутаційної апаратури



6.6.5
 Отримання графіків
 електричних наванта-
 жень суттєвих спожив-
 вачів електроенергії

Отримання графіків електричних навантажень суттєвих споживачів електроенергії здійснюється за допомогою реєстраторів параметрів електричної мережі.

Графіки електричних навантажень можуть бути індивідуальними (для окремих споживачів електроенергії) та груповими (для груп споживачів). Приклад індивідуального добового графіка активної потужності наведено на рисунку 6.35.

Приклад добового графіка активної потужності цеху за один і той же день тижня в різні місяці року наведено на рисунку 6.36.

Як видно з рисунку 6.36, групові графіки дуже залежні від режимів роботи обладнання, що входить в групу. Наприклад, з графіка можна побачити, що в квітні та травні з 3 по 6 годину форми графіків дуже подібні, що свідчить про роботу одного й того ж набору обладнання. В той же час можна спостерігати, що в березні та травні з 13 по 16 та з 18 по 20 форма графіків схожа, однак їх величина відрізняється на понад 200 кВт. Це свідчить про те, що в цеху знаходиться суттєвий споживач з більш-менш незмінним навантаженням, який працював весь день в березні, з 1 до 8 години в квітні і зовсім не працював в цей день в травні.

Рисунок 6.36 –
 Приклад індивідуального
 добового графіка
 активної потужності

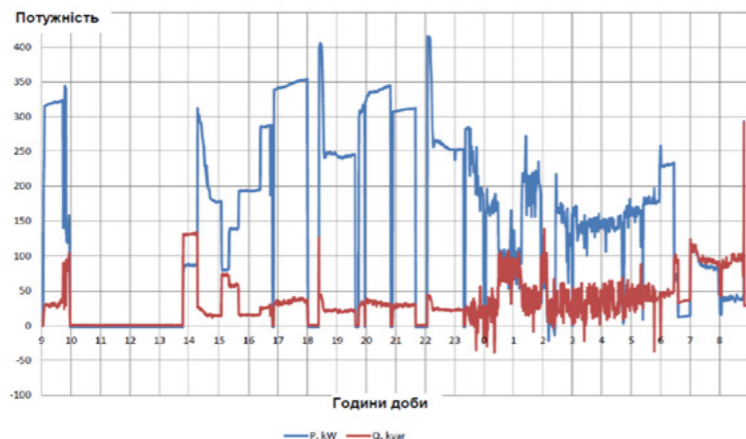
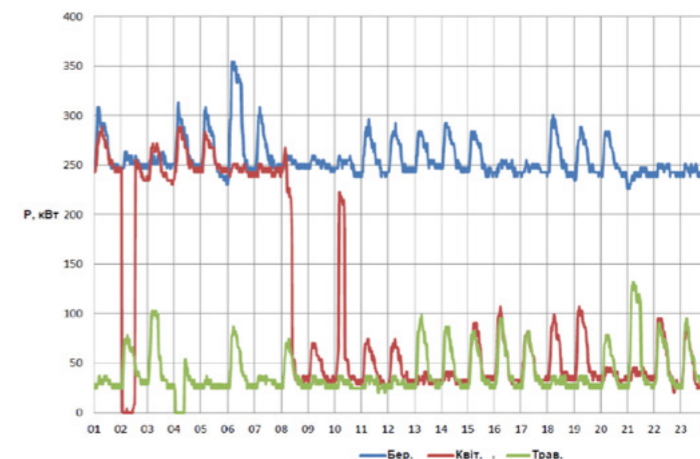


Рисунок 6.37 –
 Приклад добового графіка
 активної потужності цеху



Зазвичай використовують добові графіки електричного навантаження. У випадку, якщо на підприємстві одночасно працюють і циклічні установки і установки тривалої дії, то їх сумарний графік будують за добу або зміну, а графіки навантаження циклічних установок дублюють на загальному графіці стільки раз, скільки такі установки мають циклів протягом доби фактично.

Для аналізу ГЕН суттєвих споживачів застосовуються показники графіків навантажень – безрозмірні коефіцієнти, які характеризують режим роботи приймачів електроенергії в часі. Сюди відносяться:

- максимальне P_{max} та мінімальне P_{min} навантаження за час циклу (зміни) t_u^{20} ;
- середнє навантаження за час циклу t_u :

$$P_{сер} = \frac{\sum p_i t_i}{t_u} = \frac{\sum p_i t_i}{\sum t_i + \sum t_{\Pi}}$$

Середньоквадратичне навантаження за цикл (зміну):

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum p_i^2 t_i}{t_i}}$$

- коефіцієнт використання:

$$K_e = P_{сер} / P_{ном}$$

де $P_{ном}$ – номінальна активна потужність установки;

- коефіцієнт увімкнення приймача:

$$K_{ув} = \frac{\sum t_i}{t_u} = \frac{\sum t_i}{\sum t_i + \sum t_{\Pi}}$$

²⁰ Тривалість періоду визначається специфікою підприємства (його підрозділу чи окремого обладнання) та режимом його роботи. Це може бути і цикл роботи обладнання, виробнича зміна або доба.

- де $\sum t_i$ – тривалість включення приймача в циклі (за зміну);
 $\sum t_{II}$ – тривалість пауз в роботі приймача в циклі (за зміну);
 t_u – тривалість циклу (зміни) приймача;
- коефіцієнт завантаження:

$$K_z = K_{\text{ср}} / K_{\text{ув}}$$

- коефіцієнт форми – це відношення середньоквадратичної потужності за цикл (зміну) до її середнього значення за той же період:

$$K_{\phi} = P_{\text{ср}} / P_{\text{ном}}$$

Коефіцієнт форми характеризує нерівномірність графіка в часі. Найменше значення ($K_{\phi} = 1$) він приймає, якщо навантаження не змінюється з у часі.

- коефіцієнт попиту:

$$K_n = P_{\text{max}} / P_{\text{ном}}$$

- коефіцієнт максимуму:

$$K_{\text{max}} = P_{\text{max}} / P_{\text{ср}}$$

- коефіцієнт заповнення графіка за активною потужністю:

$$K_{\text{зп}} = P_{\text{ср}} / P_{\text{max}} = 1 / K_{\text{max}}$$

- електроенергія, яка споживається електроприймачем за один цикл роботи (зміну):

$$W = P_{\text{ср}} \cdot \sum t_i$$

6.6.6 Оцінка стану системи опалення та теплоізоляції будівель

Під час обстеження стану системи опалення на об'єкті необхідно визначити наступні дані:

- загальну інформацію стосовно системи опалення: термін експлуатації, стан, тип, ККД, клас енергетичної ефективності основного обладнання;
- наявність ІТП, насосів, теплообмінника, засобів обліку споживання теплової енергії: назва, тип, потужність, паспортне значення ККД обладнання;
- інформацію по системі розподілення: характеристика системи опалення (однотрубна, двотрубна, місця прокладки подаючої та зворотної магістралі, вертикальна, горизонтальна, поетажна) тип, потужність, ККД, теплоносій, матеріал труб, наявність ізоляції трубопроводу, матеріал ізоляції, наявність балансувальних кранів та термостатів;

Стан теплоізоляції має відповідати вимогам ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. Ці норми встановлюють вимоги до показників енергоефективності та теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будівель і споруд під час їх проєктування та будівництва і порядку їх оцінювання з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на опалення, охолодження та гаряче водопостачання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівель.

Таблиця 6.15 –
Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових (сільськогосподарських) будівель R_{qmin}

Відповідно до цього ДБН мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей та воріт промислових (сільськогосподарських) будівель (R_{qmin}) встановлюють відповідно до таблиці 6.15 залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається згідно з додатком Б, тепловологісного режиму внутрішнього середовища, що визначають згідно з додатком В, і теплової інерції огорожувальних конструкцій D, згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-190.

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будівель	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт, для температурної зони	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будівель:		
• з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: 0 > 1,5	1,7	1,5
0 < 1,5	2,2	2,0
• з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: 0 > 1,5	1,8	1,6
0 < 1,5	2,4	2,2
• з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м ²)	0,55	0,45
Покриття та перекриття неопалюваних горищ будівель:		
• з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: 0 > 1,5	1,7	1,6
0 < 1,5	2,2	2,1
• з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: P > 1,5	1,7	1,6
P < 1,5	1,9	1,8
• з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м ²)	0,55	0,45
Перекриття над проїздами й неопалюваними підвалами з конструкціями з: P > 1,5	1,9	1,8
P < 1,5	2,4	2,2
Двері й ворота будівель:		
• з сухим і нормальним режимом	0,6	0,55
• з вологим і мокрим режимом	0,75	0,70
• з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м ²)	0,2	0,2
Вікна й зенітні ліхтарі будівель:		
• з сухим і нормальним режимом	0,45	0,42
• з вологим і мокрим режимом	0,5	0,45
• з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м ²)	0,18	0,18

Детальна оцінка стану радіаторів опалення та теплоізоляції будівель здійснюється якщо планується модернізація системи опалення або термореновація будівлі.

6.6.7 Вимірювання рівня освітленості в приміщеннях

Зважаючи на те, що система освітлення приміщень та територій використовується на всіх виробничих об'єктах, основні заходи з енергоефективності для цієї системи вже добре відомі аудиторам і наразі відносяться до категорії типових заходів. Зазвичай аудитори під час відвідування об'єкта аудиту звертають увагу на наявні освітлювальні прилади та джерела світла і надають свої рекомендації щодо їх модернізації або заміни (за потреби). Показником енергоефективності джерел світла в цьому випадку є світловіддача цього джерела, що являє собою відношення світлового потоку джерела до споживаної ним активної потужності. Тобто, чим вища світловіддача, тим більш енергоефективна лампа.

Для загального штучного освітлення зазвичай використовують газорозрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами (світлодіодні лампи) мають вищу світловіддачу та більший термін експлуатації.

Світловіддача джерел світла для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередавання не повинна бути менше значень, наведених у таблиці 6.16.

Тип джерела світла	Колірна температура	Світлова віддача e , лм/Вт, не менше, при мінімально допустимих індексах кольоропередавання R_a^*				
		> 90	90–80	80–60	> 45	> 25
Люмінесцентні лампи	2700–6500	—	70	75	—	—
Компактні люмінесцентні лампи	2700–6500	—	65	—	—	—
Металогалогенні лампи	2700–6500	—	75	90	—	—
Дугові ртутні лампи	4000–6500	—	—	—	55	—
Натрієві лампи високого тиску	2100–2400	—	—	75	—	100
Світлодіодні лампи	2700–3500	75	98–75	144–98	—	—
Світлодіодні лампи	4000–5700	75	98–75	144–98	—	—
Світлодіодні лампи	5700–6500	75	98–75	144–98	—	—
Світлодіодні світильники з розсіювальними елементами та вторинною оптикою	2700–3500	75	98–75	144–98	—	—
Світлодіодні світильники з розсіювальними елементами та вторинною оптикою	4000–5700	75	98–75	144–98	—	—
Світлодіодні світильники	5700–6500	75	98–75	144–98	—	—

Джерело: ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Розрахунок обсягів енергозбереження від таких заходів в більшості випадків здійснюється вираженням різниці в споживанні електроенергії існуючими та пропонованими на заміну джерелами світла. При цьому кількість джерел світла залишають незмінною. Однак, такий підхід є не зовсім коректним, так як спочатку аудитор має переконатися в тому, що існуюча система освітлення задовільняє нормативним вимогам. Тобто, чи дозволяє існуюча система освітлення виконувати персоналу, що працює в приміщенні, роботу заданої точності та у відповідному обсязі з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог. Для систем освітлення такою характеристикою є **освітленість** – відношення світлового потоку, що падає на робочу поверхню, яка містить контрольну точку, до площі цієї поверхні, і вимірюється в люксах (лк).

Зважаючи на це, перед тим як оцінювати рівень енергоефективності системи освітлення та обсяг енергозбереження від заміни джерел світла доцільно виконати вимірювання фактичного рівня освітленості на робочій поверхні у відповідних приміщеннях та порівняти його з нормованим значенням, визначеним згідно ДБН В.2.5-28:2018²¹. Нормативні показники освітленості в ДБН В.2.5-28 наведені в точках її мінімального значення на робочій поверхні в приміщеннях для різних джерел світла, крім окремо визначених випадків. Середня освітленість робочих місць з постійним перебуванням людей повинна бути не менше ніж 200 лк. Нормовані показники освітлення приміщень загальнопромислових будівель і споруд наведені в додатку Г ДБН В.2.5-28. Нормована середня освітленість для світлодіодних джерел залежить від колірної температури і має бути суттєво збільшена при збільшенні колірної температури джерела світла відповідно до додатку Н ДБН В.2.5-28.

Для вимірювання освітленості слід використовувати люксметри з вимірювальними перетворювачами випромінювання, які мають спектральну похибку не більше 10 %. Ця похибка визначається як інтегральне відхилення відносної кривої спектральної чутливості вимірювального перетворювача опромінювання від кривої відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору за ГОСТ 8.332. Допускається використовувати для вимірювання освітленості люксметри, що мають спектральну похибку більшу за 10 %, за умови введення поправочного коефіцієнта на спектральний склад застосовуваних джерел світла, що визначається за ГОСТ 17616. Люксметри повинні мати свідоцтва про метрологічну атестацію та повірку. Атестація люксметрів проводиться у відповідності з ГОСТ 8.326, повірка – у відповідності з ГОСТ 8.014 та ГОСТ 8.023.

Слід звернути увагу, що світловий потік більшості джерел світла, а, відповідно, і освітленість на робочій поверхні, що ними створюється, в певній мірі залежить від рівня напруги в освітлювальній мережі. Тому під час проведення вимірювань освітленості слід проводити вимірювання рівня напруги із використанням вольтметрів класу точності не нижче 1.5. Порядок визначення фактичних значень освітленості детально описано в ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96)²².

Перед вимірюванням освітленості від штучного освітлення доцільно, щоб персонал підприємства провів попередню підготовку освітлювальної техніки (заміну всіх перегорілих ламп, а також, за можливості, виконав чистку світильників). Вимірювання освітленості може проводитись без попередньої підготовки освітлювальної установки, що повинно бути зафіксовано при оформленні результатів вимірювання. В такому випадку, під час подальших розрахунків застосовують коригувальні коефіцієнти.

Вимірювання освітленості при робочому та аварійному освітленні слід виконувати у темні періоди доби, коли відношення природної освітленості до штучної складає не більше 0,1; вимірювання освітленості при евакуаційному освітленні – коли значення штучної освітленості не перевищує 0,1 лк.

На початку та в кінці вимірювань слід виміряти напругу на щитках розподільних мереж освітлення. Результати вимірювань заносять у протоколи вимірювань. Можлива форма протоколу вимірювання запропонована в ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96).

При вимірюваннях освітленості необхідно дотримуватись таких вимог:

- на вимірювальний фотометричний датчик не повинна падати тінь від людини;
- вимірювальний прилад не повинен розташовуватись поблизу сильних магнітних полів.

Освітленість на робочому місці визначають прямими вимірюваннями на площині, зазначеній у нормах освітленості або на робочій площині обладнання. При цьому слід вірно обрати контрольні точки для проведення вимірювань освітленості.

Найбільш поширеними системами освітлення є системи з точковими та лінійними джерелами світла. Рекомендації щодо вибору місць розташування контрольних точок при вимірюванні мінімальної освітленості приміщення від світильників, що приймаються за точкові та лінійні випромінювачі, показано на рисунках 6.37 та 6.38. Зазвичай схему розташування світильників можна отримати з проєктної документації підприємства. У випадку її відсутності аудитори мають схематично відтворити такі плани.

При комбінованому освітленні робочих місць освітленість вимірюють спочатку від світильників загального освітлення, потім вмикають світильники місцевого освітлення в їх

²¹ ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.
²² ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96) Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості.

робочому положенні та вимірюють сумарну освітленість від світильників загального та місцевого освітлення.

Середню освітленість у приміщенні визначають як середньоарифметичне значення вимірюваних освітленостей в контрольних точках приміщення.

При відхиленні напруги мережі від номінальної більше ніж на 5 % фактичне значення освітленості E_{ϕ} уточнюють за формулою:

$$E_{\phi} = E \frac{U_{ном}}{U_{ном} - K (U_{ном} - U_{сер(сп)})}$$

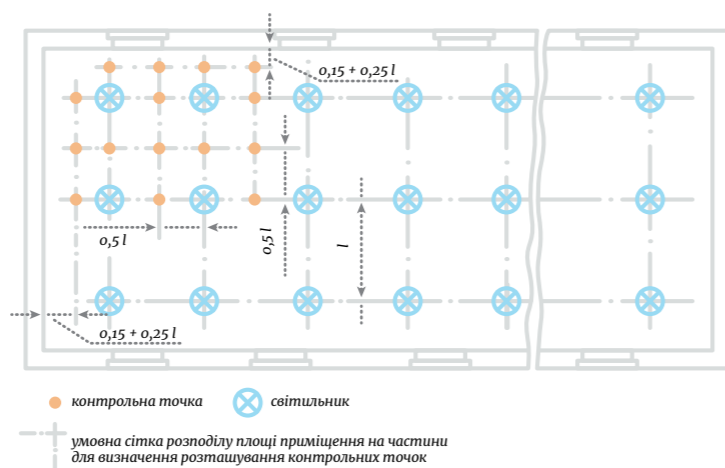
де E – мінімальна, середня або циліндрична освітленості, лк;

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі, В;

$U_{сер}$ – середнє значення напруги, В.

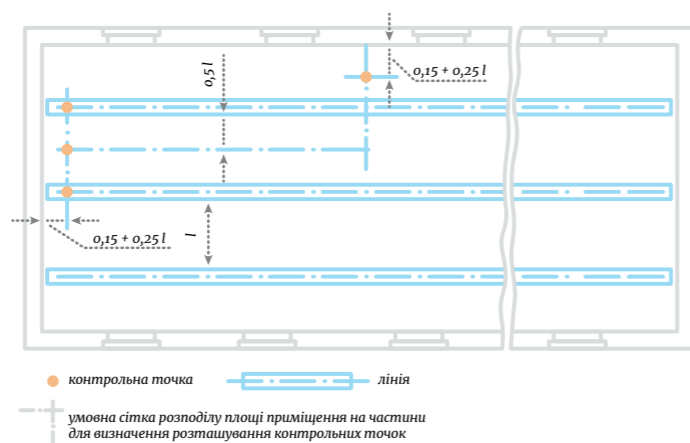
K – коефіцієнт, що дорівнює 4 для ламп розжарювання (у тому числі галогенних), 3 – для індуктивного баластного опору та для ламп ДРЛ, 1 – для люмінесцентних ламп при використанні ємнісного баластного опору.

Рисунок 6.38 – Розташування контрольних точок при вимірюванні мінімальної освітленості приміщення від світильників, що приймаються за точкові випромінювачі



Джерело: ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Рисунок 6.39 – Розташування контрольних точок при вимірюванні мінімальної освітленості приміщення від світильників, що приймаються за лінійні випромінювачі



Джерело: ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Крім того, під час обстеження систем освітлення необхідно мати на увазі, що згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018 всі приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення. Без природного освітлення допускається використовувати лише ті приміщення, які визначені відповідними державними будівельними нормами та стандартами, а також приміщення, розміщені в підвальних поверхах будівель.

Тобто, в приміщеннях мають якомога більше використовувати природне освітлення, що дозволяє, крім виконання санітарних вимог, також отримувати додаткову економію електроенергії на потреби освітлення.

Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване (верхнє та бокове). Для природного освітлення в ДБН В.2.5-28:2018 наведені значення коефіцієнта природної освітленості (КПО). Під коефіцієнтом природної освітленості розуміється відношення природної освітленості, яка створюється у деякій точці заданої площини усередині приміщення сонячним світлом (безпосереднім або після відбиття), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, що створюється світлом повністю відкритого небосхилу.

Визначені відповідним шляхом фактичні значення КПО мають відповідати нормованим значенням. Порядок визначення фактичних значень КПО детально описано в ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96). Зважаючи на трудомісткість процедури визначення КПО доцільність її проведення під час аудиту має бути оцінена, виходячи з суттєвості системи освітлення, як споживача електроенергії, а також потенційності впровадження на об'єкті заходів з енергоефективності щодо підвищення КПО системи освітлення

7. Проведення огляду об'єкта енергоаудиту

Під час проведення огляду об'єкта енергоаудиту, який зазвичай триває від 3 до 5 днів, енергоаудиторська група оцінює рівень енергоефективності окремих енергоємних агрегатів та виробничих цехів, а також обговорює шляхи підвищення енергоефективності з персоналом, який бере участь в управлінні використанням енергії.



Згідно з ISO 50002:

5.6.1 Управління роботою в реальних умовах експлуатації.

Енергоаудитор(и) повинен(ні):

- 1) вести спостереження за використанням енергії всередині організації і порівнювати з інформацією, наведеною в 5.4;
- 2) оцінити використання і споживання енергії відповідно до характеру та обсягу робіт з енергоаудиту, меж, цілі(ей) аудиту та узгоджених методів;
- 3) зрозуміти вплив встановленого режиму роботи та поведінки користувачів на рівень досягнутої / досяжної енергоефективності;
- 4) генерувати попередні ідеї, можливості, оперативні зміни або технології, які можуть призвести до підвищення рівня досягнутої / досяжної енергоефективності;
- 5) скласти список сфер діяльності і процесів, для яких потрібні додаткові дані з метою проведення подальшого аналізу;
- 6) переконатися у тому, що вимірювання, спостереження і дані за минулий період є характерними (репрезентативними) для експлуатаційних регламентів;

Примітка 1. Виробничі об'єкти можуть мати два чи більше режими роботи, наприклад, «денний», «нічний», «вечірній», або «вихідного дня». Таким чином, можуть існувати сезонні виробничі відмінності, наприклад, для об'єкта харчової промисловості.

Примітка 2. Може бути корисним проводити спостереження і вимірювання за межами стандартних робочих годин, під час зупинки (закриття), або коли не очікується кліматичне навантаження.

- 7) переконатися у тому, що надані дані за минулі періоди є характерними для нормальної експлуатації;
- 8) негайно повідомляти організацію про будь-які несподівані труднощі, що виникли в ході енергоаудиту, включаючи доступ до даних і документації.

5.6.2 Виїзди на об'єкт

Енергетичний аудитор повинен домовитися з організацією про:

- 1) визначення однієї або більше осіб для забезпечення доступу, яка(і) виступатиме(уть) як супроводжувач для енергетичного аудитора під час відвідувань об'єкта, якщо це необхідно: ці особи повинні володіти необхідними компетенціями і повноваженнями, щоб вимагати або здійснювати безпосередні операції над процесами і обладнанням, якщо у цьому буде потреба;
- 2) у разі погодження в ході планування енергоаудиту, визначення однієї або більше осіб для встановлення реєстраторів даних та обладнання з енергомоніторингу під час візитів на об'єкт: ці особи повинні володіти необхідними повноваженнями, щоб вимагати від уповноваженого експлуатаційного або техобслуговуючого персоналу здійснення безпосередніх операцій над процесами та обладнанням, якщо це необхідно;
- 3) надання енергоаудитору доступу до відповідних документів;

Приклад. Креслення, інструкції та інша технічна документація.

- 4) дозвіл на встановлення обладнання для енергомоніторингу і реєстраторів даних, як це було узгоджено в ході планування енергоаудиту.

Якщо організація не в змозі задовольнити ці вимоги, можливо, необхідно буде переглянути характер та обсяг робіт з енергоаудиту.

Для фіксування та графічного відображення стану об'єктів енергетичного аудиту та/або їх окремих складових щодо ефективності використання ПЕР необхідно застосовувати засоби фото- та відеозйомки.

Фото- та відеозйомка зі значною ефективністю можуть застосовуватися в процесі проведення енергетичного аудиту. Фото- і відеоматеріали, одержані в процесі проведення енергетичного аудиту, у першу чергу, можуть використовуватися під час представлення та аналізування фактичного стану об'єкта енергетичного аудиту (наприклад, стану віконних та дверних ущільнень; стану теплоізоляції теплогенерувального, теплопередавального та тепловикористовувального обладнання; стану світильників, стелі, стін тощо). Найчастіше саме такі матеріали здатні досить наочно та інформативно охарактеризувати фактично існуючий стан. До переваг фото- та відеозйомки також можна віднести:

- документальність і адекватність фіксації фактично існуючого стану;
- простоту одержання матеріалів і доступність технічних засобів;
- невеликий час, необхідний для одержання відповідних матеріалів.

В залежності від завдання, що вирішується шляхом використання засобів фотографування, можуть застосовуватися орієнтувальні, оглядові, вузлові та детальні фотознімки.

Орієнтувальний знімок слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати взаємне розташування об'єкта енергетичного аудиту та оточуючих об'єктів чи місцевості, а також взаємне розташування окремих складових об'єкта енергетичного аудиту по відношенню один до одного. Такий знімок необхідно робити з висоти (за можливості з найвищої точки місцевості) шляхом застосування ширококутних об'єктивів або панорамного (кругового (360°), секторного (менше 360°) та лінійного) фотографування.

Оглядовий знімок слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати стан об'єктів енергетичного аудиту та/або його окремих складових щодо ефективності використання ПЕР ізольовано від оточуючих об'єктів або інших складових об'єкта енергетичного аудиту.

Вузловий знімок слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати стан окремих складових об'єкта енергетичного аудиту та їх частин щодо ефективності використання ПЕР (наприклад, місця витіків теплоти, місця пошкодження теплоізоляції тощо).

Детальний знімок слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати предмети та об'єкти, що мають вплив на ефективність використання ПЕР на об'єкті енергетичного аудиту та/або його окремих складових.

Вузловий та детальний знімки передбачають застосування засобів вимірювання (вимірювальної лінійки, рулетки тощо), так як за отриманими фотознімками визначаються дійсні розміри та розташування зображених предметів.

Для фіксації реального стану у динаміці (за часом) об'єктів енергетичного аудиту та/або їх окремих складових щодо ефективності використання ПЕР слід застосовувати відеозйомку.

Отриману первинну інформацію необхідно систематизувати і згрупувати, наприклад, за такими напрямками:

- 1) системи забезпечення підприємства ПЕР (поділяються на системи електро-, тепло-, газо-, мазуто-, водопостачання, стисненого повітря тощо);
- 2) технологічні системи;
- 3) будівлі та споруди;
- 4) системи технічного і комерційного обліку витрат ПЕР тощо.



8. Оброблення та аналізування енергетичних даних

8.1 Загальні положення

Під час цієї фази енергоаудитор повинен встановити та оцінити поточний рівень досягнутої енергоефективності різних видів використання енергії в межах характеру та обсягу робіт з енергоаудиту.



Згідно з ISO 50002:

Поточний рівень досягнутої енергетичної ефективності забезпечує основу для оцінювання конкретних заходів з його підвищення і включає в себе:

- 1) розподіл споживання енергії за способом використання і джерелом;
- 2) типи використання енергії, що зумовлюють значне споживання енергії;
- 3) там, де це доступно і порівнювано, – співставлення з еталонними значеннями аналогічних процесів;
- 4) історичну картину рівня досягнутої енергоефективності;
- 5) очікуване підвищення рівня досягнутої енергоефективності;
- 6) у конкретних випадках – взаємозалежність між рівнем енергетичної ефективності та відповідними змінними;
- 7) оцінювання існуючого(их) показника(ів) енергетичної ефективності, за необхідності, пропозиції щодо нового(их) індикатора(ів) рівня досягнутої енергоефективності.

Примітка. Верифікація даних стосується документованого методу, який використовують для перевірки того, чи набір даних є точним, послідовним і унікальним. Метод верифікації даних дозволяє виправити набір вихідних даних з тим, щоб перевірений набір даних був точним, послідовним та унікальним.



Згідно з ISO 50002:

Енергетичний аудитор повинен:

- 1) використовувати прозорі та технічно відповідні методи розрахунку;
- 2) документувати методи, що використовуються, і будь-які зроблені припущення або приблизні розрахунки (оцінки);
- 3) переконатися, що змінні, які впливають на відхилення (похибку) у вимірюваннях і на результати, прийнято до уваги;
- 4) розглянути будь-які нормативні та інші узгоджені схеми або обмеження, які могли би вплинути на можливості для підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.

Оброблення статистичної та вимірювальної інформації має здійснюватися в послідовності, що відображає логіку рішення поставленої задачі згідно з рекомендаціями з обробки статистичного матеріалу (ДСТУ ISO/TR 10017:2005 Руководство по применению статистических методов в соответствии с ISO 9001:2000 (ISO/TR 10017:2003, IDT) та ISO/TR 13425:2006 Guidelines for the selection of statistical methods in standardization and specification).

Методи аналізу розділяються на енерго-економічні та фінансово-економічні.

Енерго-економічний аналіз визначає характеристики ефективності енерговикористання. Він включає:

- аналіз режимів енергоспоживання (добових, місячних, річних). Аналіз споживання енергії дає можливість визначити тенденцію споживання ПЕР за конкретний проміжок часу (річний, місячний, добовий). Річний графік дає змогу визначити сезонні зміни споживання ПЕР. Місячний графік дає змогу визначити рівень споживання енергії в робочі та вихідні дні. Добовий графік дає змогу визначити нерівномірність споживання ПЕР;
- складання та аналіз карти технологічного процесу;
- складання та аналіз карти використання ПЕР;
- побудову базового рівня енергоспоживання підприємства;
- визначення для кожного об'єкта чинників, що впливають на енергоспоживання (наприклад, зовнішньої температури для системи опалення, вихідної корисної енергії електроприводів і т. п.);
- складання та аналіз паливно-енергетичних балансів (виявлення характеру розподілу всієї споживаної енергії за окремими видами ПЕР і енергоносіїв);
- розрахунок показників енергоефективності (ПЕЕ) за окремими видами ПЕР і об'єктами;
- зіставлення фактичних значень ПЕЕ з базовими рівнями енергоспоживання (БРЕ), за результатами якого робиться висновок про ефективність використання ПЕР кожним об'єктом;

- визначення (розрахунок) прямих втрат енергії за рахунок витіків енергоносіїв, порушення ізоляції, нерациональних проектних рішень, неправильної експлуатації, неякісного виконання будівельних і монтажних робіт;
- виявлення неенергоефективних технологій та режимів роботи обладнання.

Фінансово-економічний аналіз проводять одночасно з енерго-економічним, що додає економічне обґрунтування висновкам, отриманим на підставі енерго-економічного аналізу. На цьому етапі визначається розподіл витрат на енергоресурси по всім об'єктам енергоспоживання і видам енергоресурсів. Оцінюються прямі втрати в грошовому виразі. Фінансово-економічні критерії мають вирішальне значення при розробці енергозберігаючих рекомендацій.

Для полегшення аналізу інформації її слід представляти в табличному та графічному вигляді.

Згідно ISO/IEC 9004-4 табличне та графічне представлення інформації здійснюється за допомогою форм для збору даних, діаграм спорідненості, реперних точок, причинно-наслідкових діаграм (схем Ісікава), карт технологічного процесу, деревоподібних діаграм, часових рядів, балансових діаграм, контрольних карт, гістограм, діаграм Парето, діаграм розкиду.

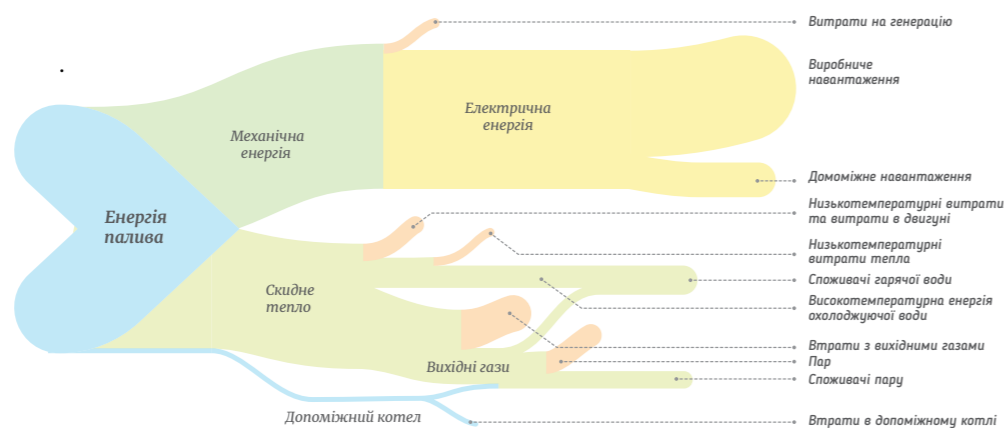
Для проведення енерго-економічного та фінансово-економічного аналізу слід користуватися техніко-економічними показниками енергоефективності. Техніко-економічні показники енергоефективності визначаються згідно ДСТУ 3755.

8.2 Складання та аналізування паливно-енергетичних балансів та визначення окремих їх складових

8.2.1 Загальні положення

Рисунок 8.1 – Приклад схематичного зображення паливно-енергетичного балансу підприємства у вигляді діаграми Сенкей (<http://www.sankei-diagrams.com/>)

Паливно-енергетичний баланс (ПЕБ) – система показників, що характеризують кількісну відповідність між надходженням та витратою всіх видів паливно-енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві (див. рисунок 8.1)



Робота зі складання паливно-енергетичного балансу спрямована на вирішення наступних завдань:

- оцінювання фактичного стану використання ПЕР на підприємстві;
- виявлення причин виникнення втрат ПЕР і визначення їх величини;
- оцінювання потенціалу енергозбереження і розроблення заходів з енергоефективності;
- планування раціонального енергозабезпечення підприємства.

Рівняння ПЕБ встановлює рівність між прибутковою та витратною частиною балансу:

$$A_{\text{сум}} = A_{\text{к}} + \Delta A,$$

де $A_{\text{сум}}$ – прибуткова частина, що охоплює сумарні надходження палива та енергії;
 $A_{\text{к}}$ – витратна частина, що охоплює корисно витрачені паливо та енергію;
 ΔA – витратна частина, що охоплює втрати палива та енергії.

Прибуткова частина ПЕБ – система показників, що характеризує структуру виробництва та надходження ззовні всіх видів ПЕР з розбивкою за їх джерелами та видами, а також їх перехідні залишки. Сумарний обсяг надходження палива та енергії визначається за комерційним обліком з урахуванням всіх джерел постачання ПЕР.

Витратна частина ПЕБ – система показників, що характеризує структуру і напрямок використання всіх видів ПЕР, розподіл їх загальних витрат на втрати палива та енергії, корисні витрати і перехідні залишки; в деяких випадках і продаж енергоресурсів стороннім споживачам (субабонентам). Витратна частина ПЕБ складається за даними:

- технічного обліку витрат ПЕР підрозділами підприємства;
- розрахунковим шляхом (у випадку відсутності приладів технічного обліку).

Корисно витрачене паливо та енергія визначається як мінімальна кількість енергії, що теоретично необхідна для забезпечення функціонування різних технологічних процесів, зокрема:

- для освітлення – за світловим потоком (світловіддачею) ламп;
- в силових процесах (з використанням двигунів) – за роботою на валу приводного двигуна;
- в електрохімічних та електрофізичних процесах – за витратами енергії, що визначається відповідно до розрахунків;
- в термічних процесах – за витратами енергії на нагрівання, плавлення, випаровування матеріалу і проведення ендотермічних реакцій, що визначається відповідно до розрахунків;
- в опаленні, вентиляції, кондиціюванні, гарячому водопостачанні – за кількістю теплоти, отриманої споживачем тощо.

Розглянемо більш детально **втрати палива та енергії**.

Втрати енергії визначаються як різниця між кількістю підведеної енергії і корисно використаної енергії. Вони класифікуються за ознаками наведеними у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Класифікація видів втрат енергії

Класифікаційна ознака	Вид втрат енергії			
	1	2	3	4
Можливість і доцільність усунення втрат	Повні втрати енергії	Втрати енергії, усунення яких технічно можливе у певних умовах	Втрати енергії, усунення яких економічно доцільне у певних умовах	—
Місце виникнення втрат	Під час зберігання	Під час транспортування	Під час перероблення	Під час кінцевого використання
Фізична ознака і характер втрат	Втрати теплової енергії — втрати в навколишнє середовище з димовими газами, технологічною продукцією, відходами, охолоджуючою водою тощо	Втрати електроенергії — втрати в трансформаторах, реакторах, електричних мережах, електричних споживачах	Втрати з витіканням через нещільності; гідравлічні втрати — втрати напору при дроселюванні, втрати на тертя при переміщенні рідини, пари і газу по трубопроводах	Механічні втрати — втрати на тертя
Причини виникнення втрат	Внаслідок конструктивних недоробок	Внаслідок неправильного вибору технологічного режиму роботи та неправильної експлуатації обладнання	Внаслідок низької якості виконання ремонтних робіт	Внаслідок браку продукції

Втрати енергії під час розподілення теплової і електричної енергії становлять різницю між корисно відпущеною енергією генерувальними установками, і енергією, підведеною до споживачів. На самому підприємстві ці втрати визначаються за допомогою розрахунків.

Втрати палива визначаються в залежності від місця їх виникнення, основну їх частину складають саме втрати палива під час зберігання, що визначаються як різниця між паливом, що надійшло на склад, і відпущеного споживачу, з урахуванням зміни залишків палива на складі.

На практиці мають місце різні види паливно-енергетичних балансів. Вид ПЕБ залежить від різних класифікаційних ознак, таких як, наприклад, вид ПЕР, форма складання ПЕБ, період часу, за який складається ПЕБ тощо (див. таблицю 8.2).

Таблиця 8.2 –
Класифікація видів ПЕБ

Класифікаційна ознака	Вид ПЕБ			
	1	2	3	4
Вид ПЕР	Електричний (частковий ПЕБ)	Тепловий (частковий ПЕБ)	Паливний (частковий ПЕБ)	Паливно-енергетичний (зведений ПЕБ)
Призначення	Фактичний	Плановий	Проектний	Нормалізований
Рівень деталізації	Підприємство	Цех	Дільниця	Установка (окреме обладнання)
Форма складання ПЕБ	Робоча	Аналітична	—	—
Період часу	Річний	Сезонний (квартальний)	Місячний	За добу (зміну)

Для оцінювання витрат і втрат ПЕР, спожитих підприємством, складаються ПЕБ окремо для кожного виду ПЕР (часткові ПЕБ) – електричний, тепловий, паливний (див. таблицю 8.2). **Часткові паливно-енергетичні баланси** складаються з метою встановлення питомої ваги споживання відповідних видів палива та енергії на виконання окремих технологічних процесів чи у відповідних підрозділах підприємства, а також для визначення рівня ефективності використання у виробництві енергетичних ресурсів. Такі ПЕБ дають змогу з'ясувати, які технологічні процеси на підприємстві є найбільш енергоємними, виявити резерви та спланувати заходи з енергоефективності за окремими видами палива й енергії. Часткові ПЕБ є також основою для складання зведеного балансу підприємства.

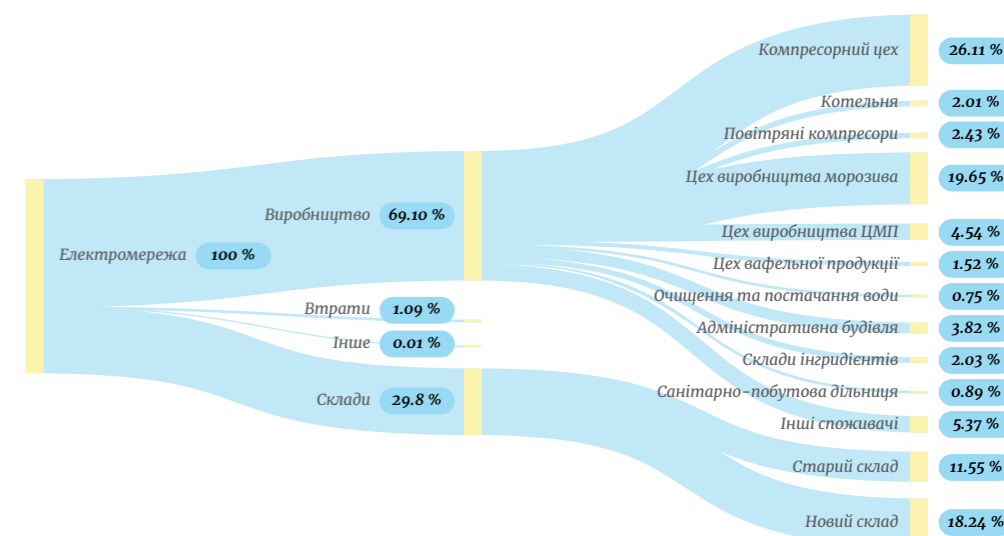
Порядок складання часткових та зведеного ПЕБ описано в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. Приклад

графічного представлення результатів складання часткового ПЕБ для електричної енергії показано на рисунку 8.2.

Для відображення існуючого стану використання палива та енергії з усіма їх витратами та втратами за реальних умов виробництва продукції складають **фактичні ПЕБ**. Вони складаються на підставі випробувань обладнання, замірів та обліку фактичних витрат палива та енергії за відповідний період часу. Ці баланси використовуються для контролю та аналізу фактичних витрат палива та енергії, розроблення заходів з енергоефективності та зниження їх витрат у виробництві, а також під час складання планових ПЕБ.

Для оцінки фактичних показників енергоефективності окремого енергоємного обладнання і порівняння їх з відповідними паспортними показниками виникає потреба в складанні фактичних ПЕБ цього обладнання. Порівняння дозволяє визначити місце, джерела і причини виникнення нераціональних втрат, а також зробити висновок про технічний стан обладнання, режими його завантаження і дотримання умов технологічного процесу.

Рисунок 8.2 –
Графічне представлення
результатів складання
часткового ПЕБ
для електричної енергії
за рік (діаграма Сенкей)



Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Ніколаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проєкт «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

Планові ПЕБ розробляються на підставі прогресивних питомих показників витрат палива та енергії. Ці баланси складаються на період до одного року з розподілом по кварталах, місяцях та менших інтервалах часу. Планові баланси мають прогнозний характер споживання ПЕР. Вони враховують очікувані чи заплановані обсяги випуску продукції, рівень розвитку технологій, техніки та методи організації виробництва з урахуванням динаміки роботи підприємства. Розроблення планових балансів необхідне для визначення потреби промислових об'єктів у всіх видах палива та енергії на відповідну перспективу, оцінки пропускної здатності енергомереж підприємства та необхідної потужності власних силових агрегатів, а також для встановлення інших джерел забезпечення виробництва необхідними ПЕР.

Проектні ПЕБ складаються під час створення проєкту будівництва чи реконструкції промислових підприємств і є підставою для розроблення схем їх енергопостачання.

Нормалізовані ПЕБ розробляються на основі фактичних балансів з урахуванням прогресивних норм витрат та корисного споживання палива та енергії. Такі баланси відображають потенційно можливий рівень ефективності енерговикористання, стосовно до якого виявляються потенціал енергозбереження та плануються заходи з енергоефективності.

В залежності від рівня деталізації, ПЕБ можуть складатися як для всього підприємства, так і для окремих цехів, дільниць чи установок. Приклад ПЕБ механічного цеху показано в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Табличне представлення витратної частини ПЕБ механічного цеху за цільовим напрямком

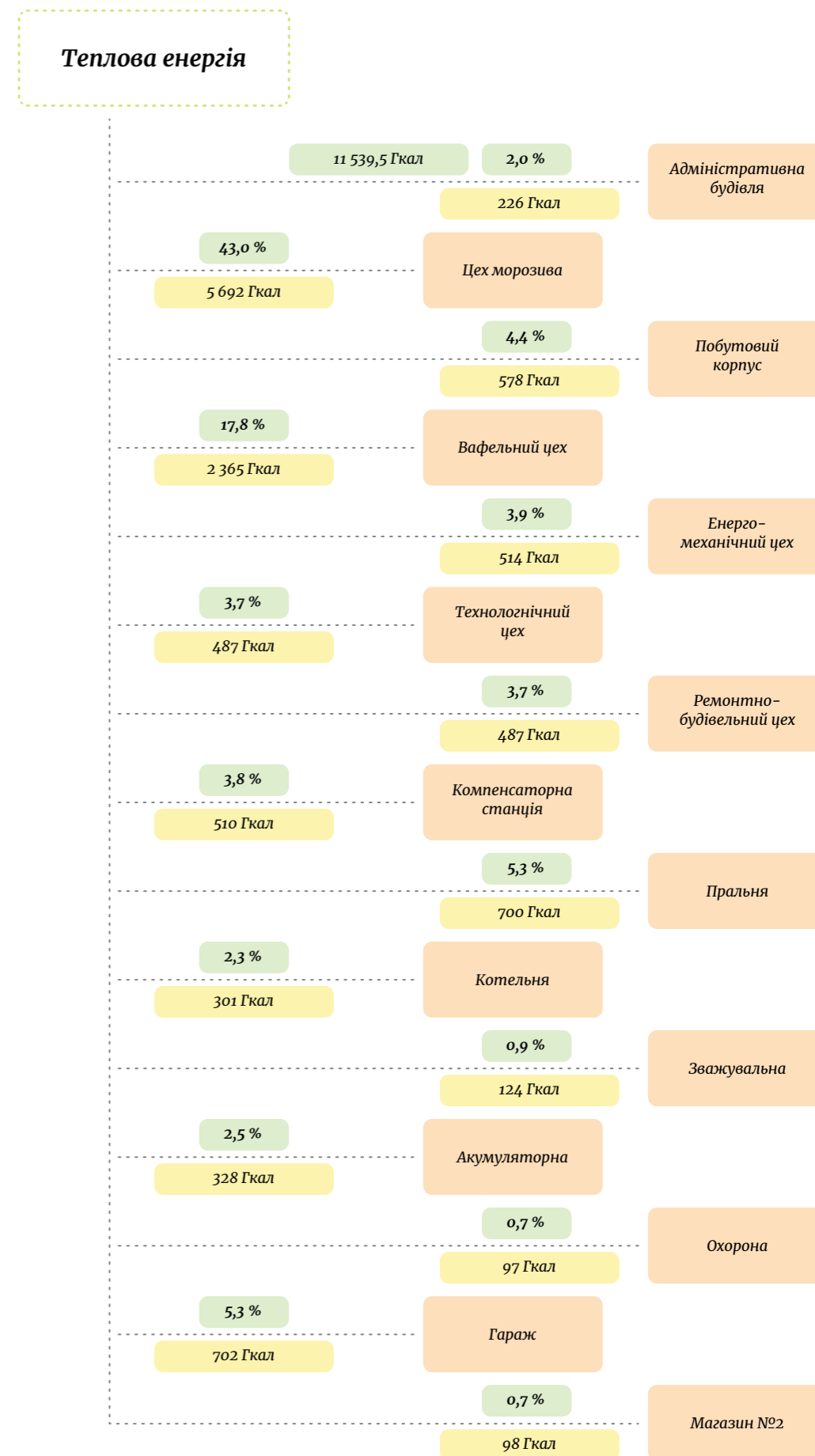
Напрямок споживання та споживачі	Вид ПЕР					
	Теплова енергія		Електроенергія		Разом	
	Гкал т у. п.	%	тис. кВт·год т у. п.	%	т у. п.	%
1. Технологічні процеси						
1.1. Механічна обробка металу за групами верстатів:						
• токарна	—		$\frac{287,5}{94,3}$	10,33	94,3	2,38
• карусельна	—		$\frac{299,1}{98,1}$	10,74	98,1	2,48
• розточувальна	—		$\frac{721,9}{236,8}$	25,94	236,8	5,98
• свердлильна	—		$\frac{35,1}{11,5}$	1,26	11,5	0,30
• стругальна	—		$\frac{1065,2}{349,4}$	38,28	349,4	8,83
• фрезерна	—		$\frac{181,4}{59,5}$	6,52	59,5	1,5
• довбальна	—		$\frac{61,9}{20,3}$	2,24	20,3	0,51
• шліфувальна	—		$\frac{24,7}{8,1}$	0,89	8,1	0,20
1.2. Сушіння виробів після фарбування						
сушило:	$\frac{9069,5}{1575}$		—		1575	39,79
• конвективне						
— тупикове						
2. Допоміжні потреби						
2.1. Опалення та вентиляція	$\frac{8464,6}{1470,3}$		$\frac{105,8}{34,7}$	3,8	1505	38,03

ПЕБ у вигляді таблиць дає змогу здійснювати одночасне порівняння його складових як в натуральних одиницях, так і у процентах.

Залежно від конкретної мети, різні види ПЕБ складаються у робочій та аналітичній формах. Робоча форма ПЕБ передбачає побудову балансів за виробничо-територіальною та цільовою ознаками. У разі використання цієї форми складання балансу, його статті групуються за основними ланками виробництва (цех, дільниця, окрема енергоустановка тощо), а також за напрямками використання енергії (з виділенням її витрат на технологічні потреби, на освітлення, опалення та вентиляцію, на господарсько-побутові потреби тощо). Розподіл загальної витрати енергії на корисну складову і втрати у цій формі складання енергобалансу не передбачаються. Можливе виділення лише частки загальних втрат енергії в енергетичних мережах підприємства. Баланси, складені у робочій формі, є розгорнутими планами та звітами з енергоспоживання промислових підприємств. Вони відображають цільове використання енергії та енергоносіїв на підприємстві, дають змогу здійснювати контроль за енергоспоживанням окремих промислових об'єктів, а також є основою під час планування потреб у паливі та енергії на перспективу.

Приклад графічного представлення теплового балансу підприємства в робочій формі показано на рисунку 8.3.

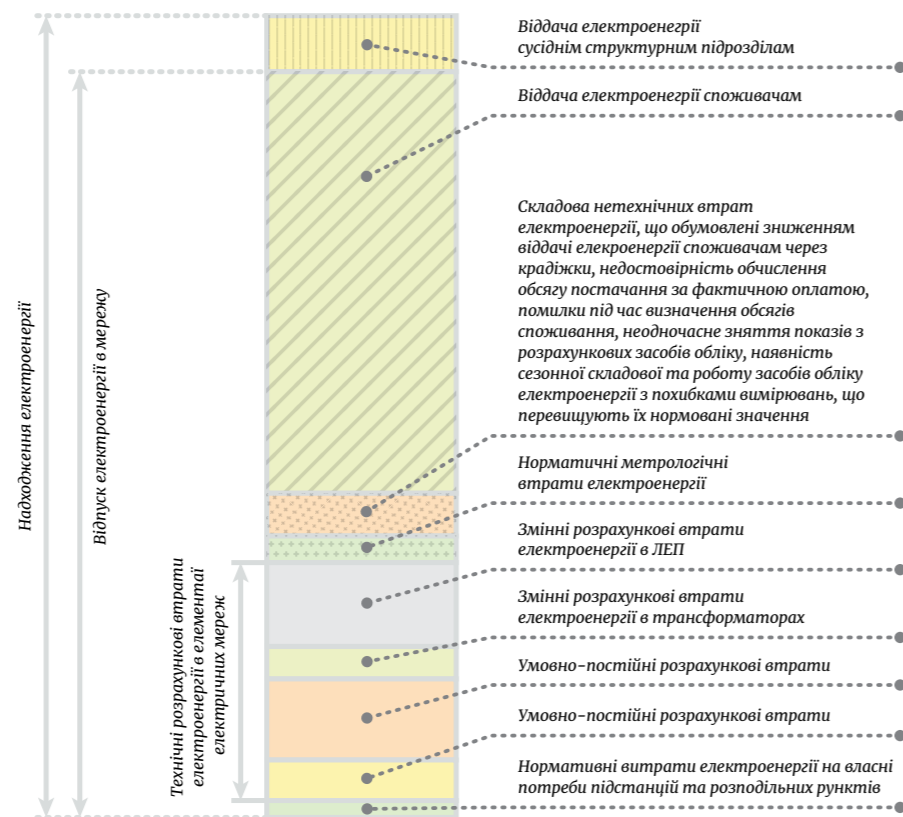
Рисунок 8.3 – Графічне зображення балансу теплової енергії у робочій формі (балансова діаграма)



Аналітична форма ПЕБ передбачає розподіл сумарної витрати палива та енергії на корисну складову і втрати ПЕР з подальшою деталізацією корисної складової за напрямками використання ПЕР, а їх втрат – за місцем їх виникнення. Баланси, складені в аналітичній формі, сприяють цілям аналізу та оцінювання ефективності енерговикористання. Вони дають змогу робити висновки про ступінь термодинамічної досконалості технологічних процесів і використовуються для виявлення резервів енергозбереження.

Приклад графічного представлення електричного балансу підприємства в аналітичній формі показано на рисунку 8.4.

Рисунок 8.4 – Графічне зображення балансу витрат електроенергії в аналітичній формі (площинна однозмугова діаграма)



Вихідною інформацією для складання ПЕБ є дані обліку, звітності, розрахунків, випробувань, а також технічні та нормативно-довідкові дані. Більш детально опис джерел вихідної інформації та вимоги до неї наведено в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу.

8.2.2 Методика складання паливно-енергетичних балансів

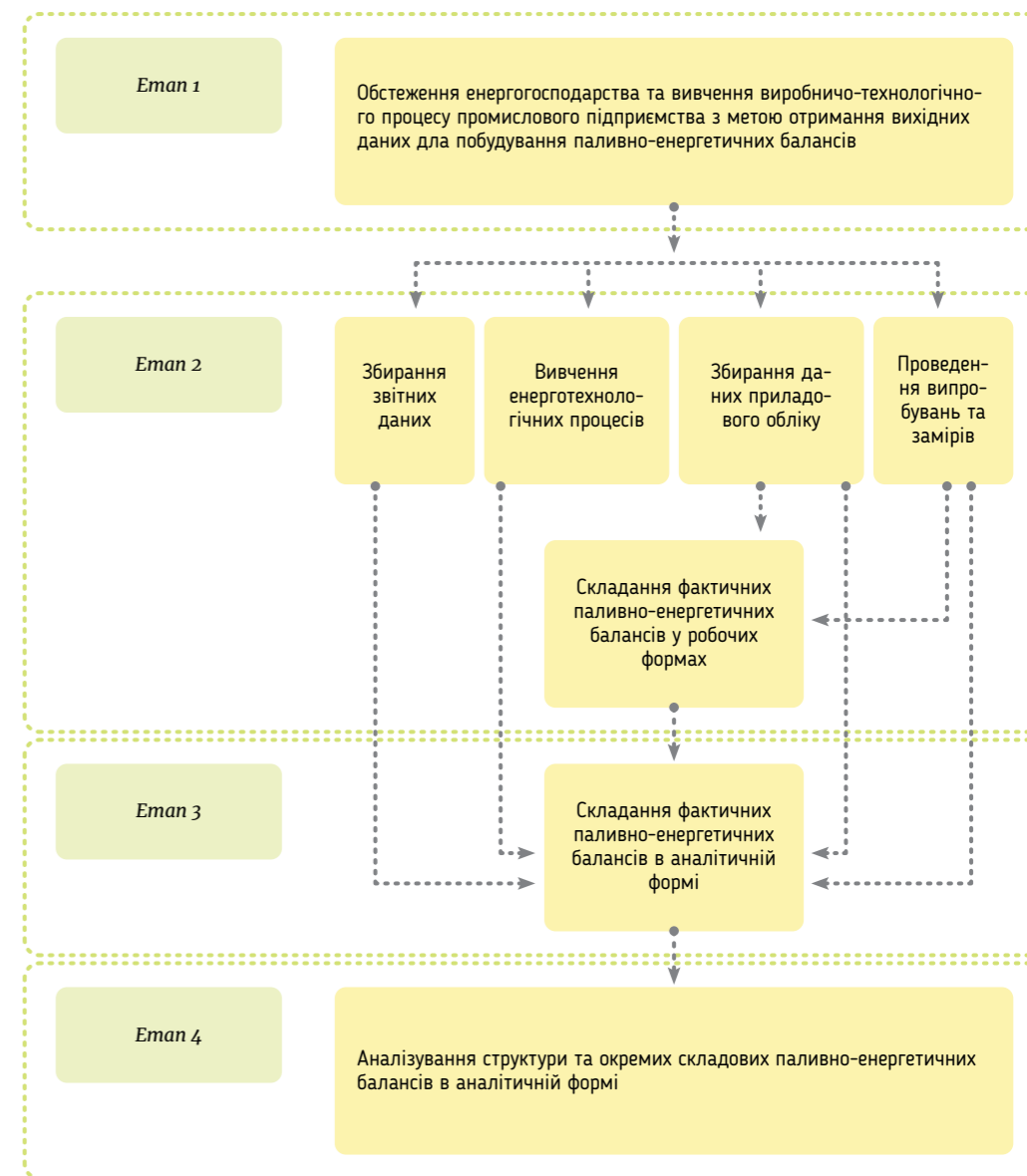
В загальному випадку алгоритм складання ПЕБ передбачає послідовність робіт, яка включає чотири етапи (див. рисунок 8.5).

Розглянемо більш детально цю послідовність на прикладі складання річного ПЕБ промислового підприємства.

На **Етапі 1** необхідно враховувати, що фактичні показники ефективності використання ПЕР і характеристики технологічних процесів можуть бути виявлені лише шляхом аналізу даних про роботу обладнання за визначений період часу – повний календарний рік. Обстеження підприємства має проводитися за період, що охоплює весь цикл основних виробничих і сезонних змін у режимі роботи обладнання. Обстеження має бути комплексним, тобто повинні збиратися не тільки дані обліку і звітності, але й результати вимірювань параметрів технологічних процесів. Параметри технологічних процесів дозволяють встановити фактичне завантаження обладнання, витрати ПЕР і пускові витрати.

Для одержання вихідної інформації необхідно використовувати дослідно-розрахунковий спосіб, яким визначають змінні і пускові витрати. Розрахунковим методом визначають корисну складову витрат і постійні втрати. Дані цих методів формують основу для складання часткових ПЕБ, які в подальшому поєднуються у зведений ПЕБ.

Рисунок 8.5 – Послідовність складання паливно-енергетичних балансів промислових підприємств



Проведення вимірювань є найбільш трудомісткою частиною етапу 1, тому, у випадку наявності достатньої кількості звітних даних та даних обліку ПЕР, допускається скорочення обсягу таких вимірювань.

Досвід складання ПЕБ показує, що детальне обстеження доцільно проводити на енергоємному обладнанні, для якого також можуть складатися окремі часткові баланси. Для групи обладнання, де окрема її одиниця споживає ПЕР на рівні менше ніж 10 % від загального обсягу споживання ПЕР всієї групи, варто обмежитися проведенням вимірювань на одній типовій одиниці обладнання з наступним поширенням результатів вимірювань на всю групу.

Етап 2. На основі отриманої вихідної інформації з першого етапу та на підставі даних приладового обліку витрат і вироблення ПЕР для всього підприємства складаються часткові ПЕБ у робочих формах по кожному виду ПЕР.

Для більшості промислових підприємств характерно, що деякі цехи і дільниці, які виділені в окрему статтю балансу, не мають окремих приладів обліку витрат ПЕР. У зв'язку з цим, виникають складнощі, пов'язані з наближеним розподілом фактичних витрат ПЕР між цехами. На практиці, щоб враховувати питому вагу окремих цехів у загальних витратах, застосовуються постійні коефіцієнти. Це дозволяє визначити оціночно (приблизно) частку витрат ПЕР по кожному з цехів. Однак, при застосуванні такого підходу необхідно врахувати, що співвідношення у витратах ПЕР через зміну виробничої програми по цехах та дільницях у різні періоди не залишається однаковим. Саме тому, на практиці рекомендується для розподілу фактичних витрат ПЕР використовувати енергетичні характеристики, визначені на

основі вимірювань або розрахунковим шляхом, питомі витрати ПЕР, періодичні вимірювання споживаної потужності і добових витрат ПЕР.

Під час складання ПЕБ у робочій формі, як для окремих об'єктів (цехів, дільниць, енергоємного обладнання), так й підприємства в цілому, важливим є розрахунок складових балансу, які не можуть бути точно визначені на основі вимірювань (наприклад, втрати енергії в мережах та трансформаторах).

Якщо у групі обладнання наявна одиниця, що споживає незначну частку ПЕР (до 5 % від загального споживання ПЕР цією групою) і вона не має окремого обліку, в той час як всі інші одиниці групи його мають, то недоцільно визначати витрати ПЕР для одиниці обладнання без обліку як різницю між показником приладу обліку всієї групи обладнання і сумою показань приладів обліку для тих одиниць обладнання, на яких вони встановлені. Це пов'язано з тим, що такі розрахунки можуть призвести до великих помилок через похибки приладів обліку. В цьому випадку доцільно визначати витрати ПЕР розрахунковим шляхом на основі підключеної потужності обладнання, коефіцієнтів завантаження і тривалості його роботи в звітному періоді.

Під час складання фактичного ПЕБ мають місце так звані небаланси, які в обов'язковому порядку повинні бути рознесені на всі витратні складові балансу пропорційно їх питомій вазі у загальних витратах ПЕР або зазначатися в спеціальній статті «небаланс».

Етап 3. Для складання фактичних ПЕБ в аналітичній формі, у першу чергу, необхідно скласти ПЕБ окремих установок і цехів.

Етап 4. Необхідною умовою одержання достовірних результатів розрахунків потенціалу енергозбереження є забезпечення порівняння аналізованих ПЕБ. Це досягається шляхом складання нормалізованого і фактичного ПЕБ на той самий період часу (або обсяг робіт, випуску продукції однакового складу і якості).

Складання зведеного нормалізованого ПЕБ підприємства є завершальним етапом аналізу фактичного балансу підприємства. Аналогічно з фактичним ПЕБ підприємства нормалізований баланс будується як сума взаємопов'язаних індивідуальних балансів окремих установок і процесів.

Форми фактичного і нормалізованого ПЕБ однакові, однак порядок їхнього складання різний. Складання нормалізованого ПЕБ завжди здійснюється «знизу-вверх». У першу чергу заповнюється стаття «корисне використання ПЕР». Величина нормативних втрат по кожній групі обладнання і процесів визначається як їх сума для кожного окремого обладнання. Після цього варто перейти до визначення нормативних втрат ПЕР під час їх розподілу.

Більш детально з методикою складання паливно-енергетичних балансів можна ознайомитися в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу.

Показником достовірності складання ПЕБ є величина нев'язки між прибутковою та витратною частинами. Під час складання ПЕБ окремих об'єктів (цехів, дільниць, енергоємного обладнання) величина нев'язки повинна бути не більше 3 %, а для підприємства в цілому – 5 %.

Періодичність складання ПЕБ визначається ДСТУ 2804-94 Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення.

Типовий склад витрат ПЕР для промислового підприємства охоплює наступні складові.

1) **Технологічні витрати ПЕР (див. таблицю 8.4), що містять у собі:**

- корисні витрати ПЕР на забезпечення функціонування технологічних процесів, включаючи витрати на підтримання технологічних агрегатів у гарячому резерві, та на їх розігрівання під час пусків (мийні ванни для деталей, моторів, частин агрегатів і машин, обладнання електropечей, зварювальних агрегатів, гальванічних покриттів), та роботу установок з виробництва стисненого повітря, насосів, електродвигунів технологічного обладнання тощо);
- втрати ПЕР в технологічних агрегатах і установках.

Таблиця 8.4 –
Приклад основних
складових технологічних
витрат ПЕР для дугової
сталеливарної печі

Складові технологічних витрат ПЕР	Обсяг	
	МВт · год	%
1) На виконання технологічного процесу	56,73	52,85
2) Теплові втрати	27,212	25,35
• через звід печі	1,8	1,677
• через под	0,83	0,773
• через стіни	0,391	0,364
• через вікно	0,025	0,023
• з поверхні металу	0,006	0,006
• з газами, що відходять	10,39	9,679
• з розплавленим шлаком	5,85	5,450
• з охолоджуючою водою	7,92	7,378
3) Акумуляція кладкою	10,18	9,48
4) Електричні втрати	9,88	9,20
• в трансформаторі	1,61	1,50
• в короткій мережі	4,46	4,154
• в електродах	3,81	3,546
5) Нев'язка балансу	3,346	3,12
Разом	107,348	100

2) **Загальноцехові витрати ПЕР містять у собі:**

- витрати ПЕР на допоміжні потреби цеху (дільниці):
 - опалення, вентиляція цехів, майстерень, окремих приміщень;
 - освітлення;
 - робота внутрішньоцехового транспорту;
 - робота цехових ремонтних майстерень;
 - господарсько-побутові і санітарно-гігієнічні потреби цеху або дільниці (душові, умивальники тощо);
- технічно неминучі втрати енергії у внутрішніх цехових мережах і перетворювачах.

3) **Загальновиробничі заводські витрати ПЕР містять в собі:**

- витрати ПЕР на допоміжні потреби підприємства:
 - виробництво стисненого повітря;
 - виробництво кисню та інших газів;
 - водопостачання;
 - робота допоміжних і обслуговуючих цехів, дільниць та служб (ремонтних та інструментальних цехів, заводських лабораторій, складів, харчоблоків тощо), охоплюючи їх освітлення, вентиляцію, опалення, господарсько-побутові і санітарно-гігієнічні потреби;
 - робота внутрішньозаводського транспорту (електрокари, крани, візки, пневмо- і гідротранспорт);
 - зовнішнє освітлення території підприємства;
- технічно неминучі втрати енергії в заводських мережах та перетворювачах до цехових пунктів.

8.2.3

Типовий склад
витрат ПЕР

8.2.4 Аналіз паливно-енергетичного балансу

Головною метою аналізу ПЕБ промислового підприємства є оцінювання потенціалу енергозбереження, розроблення рекомендацій щодо ефективного використання ПЕР, а також формування оптимальних управлінських рішень. Наприклад, в таблиці 8.5 наведено нормалізований та фактичний електричні баланси установок точкового зварювання. Складання нормалізованого балансу здійснено для режиму роботи установки з характеристиками ($t_{зв.н} = 1,08 \text{ с}$, $I_{зв.н} = 25895 \text{ А}$), що отримані за даними технологів цеху, а фактичний – за даними системи моніторингу. При цьому, фактичний режим зварювання відрізняється від нормативного ($t_{зв.ф} = 3 \text{ с}$, $I_{зв.ф} = 20\,000 \text{ А}$). Результати порівняння показників, що визначені у фактичному та нормалізованому балансах, свідчать про перевитрату електричної енергії в чотири рази.

Таблиця 8.5 –
Порівняльний
нормалізований і фактичний
електробаланс зварювання,
кВт·год/точку (%)

Стаття витрат електроенергії установкою точкового зварювання	Електроспоживання, кВт·год (%)	
	Нормалізований баланс	Фактичний баланс
Споживання		
• на плавлення металу	0,001 (5,9)	0,001 (1,4)
• на нагрівання зовнішнього ядра металу	0,0014 (7,6)	0,0052 (7,7)
• на нагрівання електродів	0,0033 (18,7)	0,0044 (6,2)
Втрати		
• у зварювальному трансформаторі	0,008 (45,2)	0,033 46,8)
• у вторинному контурі	0,004 (22,6)	0,0269 (38,2)
Разом	0,0177 (100)	0,0705 (100)

Аналіз ПЕБ може також проводитися за такими напрямками:

- аналіз чинників, які впливають на ефективність використання ПЕР;
- аналіз динаміки та досягнутого рівня ефективності використання ПЕР при порівнянні ПЕБ за суміжні періоди;
- оцінка варіантів забезпечення промислового підприємства ПЕР за фінансовими та екологічними критеріями;
- аналіз норм питомих витрат ПЕР;
- визначення та аналіз основних енерго-економічних показників промислового підприємства;
- аналіз технічних та економічних результатів, досягнутих за рахунок підвищення ефективності використання ПЕР при порівнянні ПЕБ за суміжні періоди.

Залежно від напрямів аналізування для оброблення статистичної інформації та інформації, отриманої за допомогою засобів вимірювальної техніки, слід використовувати такі засоби аналізування інформації (див. таблицю 8.6).

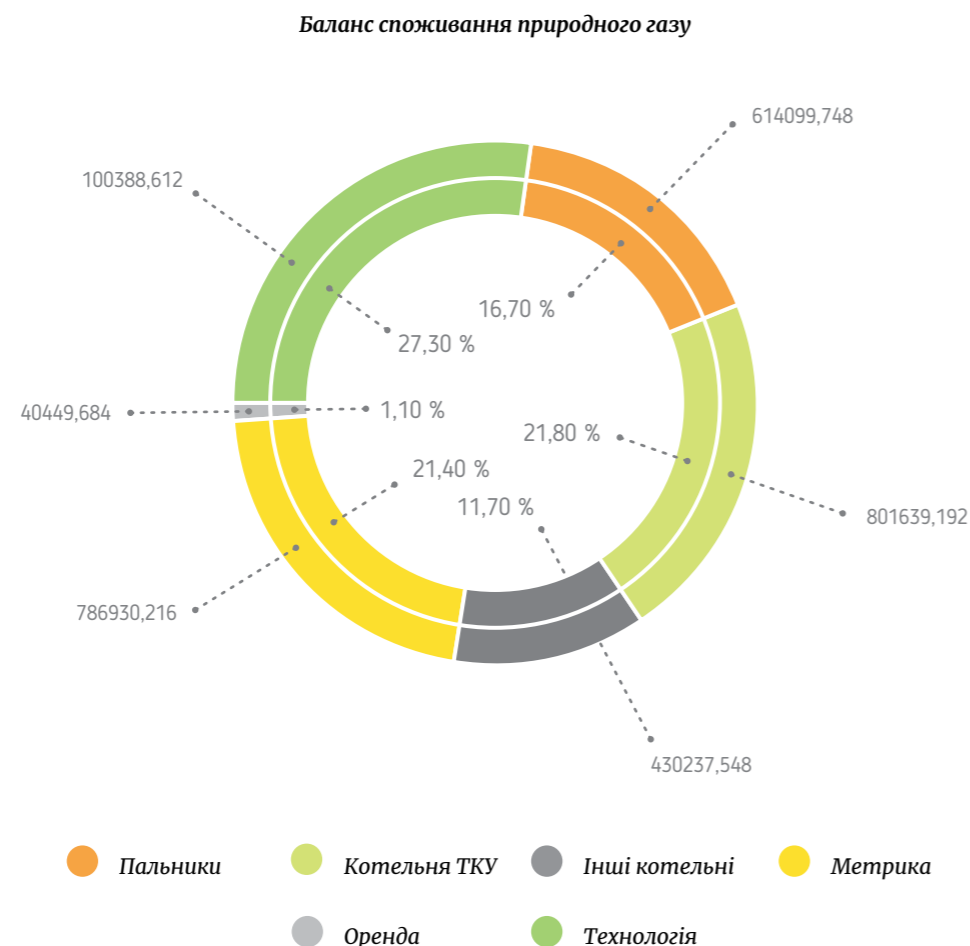
Таблиця 8.6 –
Засоби аналізу інформації
в залежності від напрямів
аналізу ПЕБ

Засоби аналізу	Напрями аналізу					
	Аналіз чинників, які впливають на ефективність використання ПЕР	Аналіз динаміки і досягнутого рівня ефективності використання ПЕР	Аналіз варіантів забезпечення підприємства ПЕР по фінансовим та екологічним критеріям	Аналіз діючих норм і нормативів використання ПЕР	Аналіз основних енерго-економічних показників підприємства	Аналіз технічних та економічних результатів, досягнутих за рахунок підвищення ефективності використання ПЕР
Причинно-наслідкові діаграми	+					
Діаграми Парето	+					
Гістограми	+				+	
Методи кореляційного аналізу	+					
Індексний метод	+				+	+
Методи експертного оцінювання (функціонально-вартісний аналіз, метод аналізу ієрархій, метод парних порівнянь і т. п.)	+					
Методи регресійного аналізу і т. п.	+	+				
Часові ряди		+				
Контрольні карти		+			+	
Діаграми розкиду		+			+	
Енерго-технологічні схеми технологічного процесу			+			
Деревовидні діаграми			+			
Балансові діаграми			+			
Оптимізаційні методи (методи лінійного та нелінійного програмування) тощо.			+			
Методи порівняльного аналізу (методи абсолютних і відносних розходжень) і т. п.				+	+	+

Аналізування ПЕБ повинно здійснюватися у вигляді таблиць, діаграм та графіків.

Приклади застосування діаграм під час аналізу ПЕБ зображено на рисунку 8.6.

Рисунок 8.6 –
Графічне зображення
балансу у вигляді кругової
секторної діаграми



8.2.5 Складання паливно-енергетичного балансу енергоємного обладнання

Для найбільш суттєвих груп споживачів ПЕР, які споживають більше чверті будь-якого з ПЕР, доцільно складати окремі баланси.

Зазвичай на промисловому підприємстві найбільш типовим суттєвим споживачем ПЕР є котельні установки (котли). Тому розглянемо загальні принципи побудови ПЕБ енергоємних установок на прикладі побудови теплового балансу котла.

Тепловий баланс котла є рівнянням, що встановлює зв'язок між теплою, яка надходить у котел, та теплою, яка витрачається. На основі теплового балансу визначається ККД котла, величина якого характеризує енергетичну ефективність роботи котла.

Тепловий баланс котельного агрегата складають на 1 кг твердого чи рідкого палива чи на 1 м³ газоподібного палива.

Загальне рівняння теплового балансу котельного агрегата виглядає наступним чином:

$$Q_{\text{пр}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

де $Q_{\text{пр}}$ – прибуткова частина теплового балансу, без урахування фізичної теплоти, що вноситься з паливом та повітрям на спалювання. Прибуткова частина теплового балансу до-

рівнює нижчій теплоті спалювання палива: $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, кДж/кг (кДж/м³); Q_1 – корисна теплота, тобто, теплота, яку було витрачено на виробництво пари (у паровому котлі) або на підігрів води (у водогрійному котлі), кДж/кг (кДж/м³); Q_2 – втрати теплоти з димовими газами, кДж/кг (кДж/м³); Q_3 – втрати теплоти з хімічною неповнотою згоряння палива, кДж/кг (кДж/м³); Q_4 – втрати теплоти з механічною неповнотою згоряння палива, кДж/кг (кДж/м³) (якщо котельний агрегат працює на природному газі, зазвичай вважають, що $Q_4 \approx 0$); Q_5 – втрати теплоти в навколишнє середовище кДж/кг (кДж/м³); Q_6 – втрати теплоти з фізичним теплом шлаків, кДж/кг (їх визначають для котлів, які працюють на твердому паливі).

Величини Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 і Q_6 , що входять до правої частини теплового балансу, є тепловими втратами котла. Їх відносять до прибуткової частини котла $Q_{\text{пр}}$, виражають у відсотках та позначають q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 .

ККД котельного агрегата може бути визначений за рівнянням прямого або зворотного балансу.

ККД котельного агрегата за рівнянням прямого балансу:

- для парового котла:

$$\eta = \frac{D \cdot (i - i_{\text{жв}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot B} \cdot 100, \%$$

- для водогрійного котла:

$$\eta = \frac{G \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_2 - t_1)}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot B} \cdot 100, \%$$

де D – паропроductивність котла, кг/год; i та $i_{\text{жв}}$ – питомі ентальпії пари та живильної води, кДж/кг; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – теплота згоряння газоподібного палива, кДж/м³; B – витрата палива, м³/с; G – витрата мережевої води через водогрійний котел, кг/с; $c_{\text{в}}$ – теплоємність води, кДж/(кг·град); t_1, t_2 – температури прямої та зворотної мережевої води, °С.

ККД котельного агрегата за рівнянням зворотного балансу:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%$$

Основними втратами тепла котельного агрегата є втрати з димовими газами Q_2 (q_2). Їх величина становить 5–12 % від наявного тепла палива і залежить від обсягу і складу продуктів згоряння, баластних складових палива і від температури димових газів.

Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння Q_3 (q_3) виникають при неповному згорянні палива в межах камери згоряння, при цьому в продуктах згоряння з'являються горючі газоподібні складові. У сучасних топках котельних агрегатів втрати тепла від хімічної неповноти згоряння палива становлять 0–2 %.

Втрати тепла від механічної неповноти згоряння Q_4 (q_4) виникають при спалюванні твердого палива в результаті його недопалу в котельній камері. Частина палива у вигляді твердих горючих частинок, що містять вуглець, вноситься газоподібними продуктами згоряння, частина видаляється разом з шлаком, частина провалюється при спалюванні палива у шарі через прозорі колошникові решітки. Ці втрати можуть бути досить великі і становлять 8–10 %.

Втрати тепла від зовнішнього охолодження Q_5 (q_5) пов'язані з перевищенням температури зовнішньої поверхні котельного агрегата (обмурування, трубопроводів, барабана та ін.) над температурою навколишнього середовища. У промислових котлах втрати з зовнішнім охолодженням зазвичай невеликі і становлять 1–2 %.

Втрати тепла з фізичним теплом шлаків Q_6 (q_6) виникають тільки при спалюванні твердого палива, так як пов'язані з наявністю шлаку, що залишає топку з високою температурою. Ці втрати відносяться насамперед до топків з рідким шлаковидаленням, так як в них температура рідкого шлаку досягає 1200–1300 °С. При роботі котельних агрегатів з сухим (твердим, гранульованим) шлаковидаленням втрати тепла з шлаком невеликі і становлять 0,2–0,3 %, при роботі з рідким шлаковидаленням 1–2 %.

Втрати теплоти з димовими газами

Втрати з теплою димових газів є основними втратами в котельних установках при спалюванні газоподібного палива. Втрати теплоти з димовими газами (q_2) в котлах без хвостових поверхонь, які працюють з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha \neq \alpha_{опт}$ можуть сягати понад 10 %. Заходи, що сприяють зменшенню втрат q_2 , наведено нижче:

- 1) **Зменшення температури димових газів за рахунок встановлення хвостових поверхонь нагріву (економайзера та повітрянагрівача).** При встановленні економайзера живильної води економія природного газу складає 4–7 %, теплофікаційного економайзера – 6–9 %, контактного – 10–15 % в залежності від температури димових газів та коефіцієнта надлишку повітря.

Втрати теплоти з димовими газами спрощено (без урахування теплоти, що вноситься з холодним повітрям) визначаються за наступною формулою:

$$q_2 = \frac{I_{вдх}}{Q_H^P} \cdot 100 = \frac{c_r[V_r^0 + (\alpha - 1)V^0]t_{вдх}}{Q_H^P} \cdot 100, \%$$

де $I_{вдх}$ – ентальпія димових газів, кДж/м³; Q_H^P – теплота згоряння газоподібного палива, кДж/м³; c_r – середня теплоємність продуктів згоряння, кДж/(м³·К); V_r^0 – теоретичний об'єм продуктів згоряння, м³/м³; V^0 – дійсний об'єм продуктів згоряння, м³/м³; α – коефіцієнт надлишку повітря.

Тобто, зміна втрат Δq_2 при збільшенні (зменшенні) температури димових газів на $\Delta t_{вдх}$ визначається, як:

$$\frac{\Delta q_2}{\Delta t_{вдх}} = \frac{c_r[V_r^0 + (\alpha - 1)V^0]}{Q_H^P} \cdot 100\% .$$

Приклад

Для природного газу $V^0 \approx 9,7$ м³/м³; $V_r^0 \approx 10,5$ м³/м³;
 $Q_H^P \approx 36500$ кДж/м³. При середній теплоємності продуктів згоряння $c_r = 1,5$ кДж/(м³·К) та коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,2$ відношення $\Delta q_2 / \Delta t_{вдх} \approx 0,05$.

Таким чином, збільшення (зменшення) температури димових газів призведе до зміни ККД на 1 %. При більшому значенні коефіцієнта надлишку повітря вплив температури димових газів більш істотний.

- 2) **Робота котельного агрегата з оптимальним коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = \alpha_{опт}$.** Збільшення коефіцієнта надлишку повітря в котлі вище оптимального призводить до зниження температури в топці та зменшення температурного напору, крім того, збільшується витрата електроенергії на привод вентилятора та димососа.

При зміні коефіцієнта надлишку повітря на $\Delta \alpha$ втрати тепла з димовими газами змінюються на:

$$\frac{\Delta q_2}{\Delta \alpha} = \frac{c_r \cdot V^0 \cdot t_{вдх}}{Q_H^P} \cdot 100\% ,$$

При температурі димових газів 120–170 °С збільшення $\Delta \alpha$ на 0,1 призводить до збільшення q_2 на 0,5–0,7 %.

- 3) **Збільшення газощільності газоходів** призводить до зниження присосів, тобто, до **зменшення надлишку повітря у димових газах**. Збільшення присосів повітря по газовому тракту котел – димосос на 10 % призводить до перевитрати газоподібного палива на 0,5 %, підвищенню витрати електроенергії на привод димососу на 4–5 %.

Втрати теплоти з хімічною неповнотою згоряння

При спалюванні природного газу втрати повинні бути зведені до нуля за рахунок правильного вибору пальників, якості виготовлення та монтажу, проведення налашки роботи пальників та топкових тунелів.

Втрати теплоти в навколишнє середовище

Для зменшення витрати палива внаслідок втрат теплоти в навколишнє середовище необхідно виконувати та підтримувати в справному стані огорожу котла, ізоляцію обладнання, трубопроводів, засувок та інше.

Робота парового котла в режимі зниженого тиску.

Наслідки роботи котельної установки в режимі зниженого тиску:

- 1) зниження тиску пари в барабані котла призводить до зменшення ступеня сухості пари (особливо при $P_K \leq 0,5 P_H$), підвищення вологості пари може призвести до гідравлічних ударів в мережах та пароспоживаючому обладнанні, збільшенню часу технологічних процесів, а в деяких випадках – і випуску некондиційної продукції;
- 2) зниження тиску пари та зменшення температури насичення підвищує температурний напір та призводить до більш глибокого охолодження продуктів згоряння, що підвищує ККД котла.

Температура живильної води

Температура живильної води має істотний вплив на економність роботи парових котлів. Наприклад, для котлів з $P = 1,4$ МПа підвищення температури води на вході в барабан котла на кожні 10 °С дає економію газу на 1,7–2,2 % за умови збереження постійного значення ККД за рахунок додаткових заходів.

Витрата природного газу на вироблення пари може бути розрахована з рівняння прямого балансу котла:

$$B \cdot Q_H^P \cdot \eta = D(i'' - i_{ЖВ}),$$

$$\frac{B}{D} = \frac{i'' - i_{ЖВ}}{Q_H^P \cdot \eta} = b$$

де B – витрата палива, м³/год; Q_H^P – теплота згоряння газоподібного палива, кДж/м³; D – паропроductивність котла, кг/год; i'' та $i_{ЖВ}$ – питомі ентальпії насиченої пари та живильної води, кДж/кг; b – питома витрата палива на одиницю виробленої пари (1 кг або 1 т), м³/кг(т).

Ентальпія живильної води визначається за формулою:

$$i_{ЖВ} = c_B \cdot t_{ЖВ}, \text{ кДж/кг,}$$

де c_B – теплоємність води, $c_B = 4,19$ кДж/(кг·град); $t_{ЖВ}$ – температура живильної води, °С. Звідси можна визначити вплив підвищення температури живильної води на витрату палива (при умові збереження постійних значень тиску пари, продуктивності та ККД):

$$\Delta b = -\frac{\Delta i_{ЖВ}}{Q_H^P \cdot \eta} = -\frac{c_B(t_2 - t_1)}{Q_H^P \cdot \eta} = -\frac{c_B \cdot \Delta t}{Q_H^P \cdot \eta}$$

Відносна зміна витрати палива визначається наступним чином:

$$\frac{b_2 - b_1}{b_1} \cdot 100 = \frac{\Delta b}{b_1} \cdot 100, \%$$

Приклад

При температурі живильної води 105–110 °С, ККД котла 90 % та ентальпії насиченої пари 2 788 кДж/кг (при тиску $P = 1,4$ МПа) питома витрата природного газу (на вироблення 1 тони пари) складе $b = 70$ м³/т.

Збільшення температури живильної води на 10 °С призводить до зменшення реальної витрати газу на

$$\Delta b = -\frac{4,19 \cdot 10}{36500 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}} = -1,28 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}$$

$$\text{або на } \frac{-1,28}{70} \cdot 100 = -1,8 \%$$

Але необхідно також враховувати, що збільшення температури живильної води призводить до підвищення температури димових газів, особливо коли економайзер є останньою поверхнею відходу газів, в наслідок чого зменшується ККД котла. Тому позитивний ефект від підвищення температури живильної води може бути отриманий тільки при одночасному проведенні заходів зі зниження температури димових газів. Наприклад, сумарний позитивний ефект дає одночасне збільшення температури живильної води та встановлення теплофікаційного економайзера за паровим котлом.

Промислові печі

Основні складові втрат теплової енергії в промислових печах: $Q_{ВІДХ}$ – втрати теплоти з димовими газами; $Q_{ЗОВН}$ – втрати теплоти через склепіння, стіни та под печі; $Q_{ВИПР}$ – втрати теплоти випромінюванням через відчинені отвори; $Q_{ОХОЛ}$ – втрати теплоти з водою, що охолоджує окремі елементи печі; $Q_{ШЛ}$ – втрати теплоти зі шлаком та окалиною.

Тепловий режим роботи та технічний стан промислових печей – головні чинники, які визначають величини цих втрат та коефіцієнт корисного використання теплоти палива.

Визначення найбільш ефективних заходів з енергозбереження проводиться шляхом аналізу розподілу втрат теплової енергії при роботі печі на базі розрахунку теплового балансу.

Втрати теплоти з димовими газами

За відсутності технологічних газів відхідні (димові) гази печей складаються з продуктів згоряння палива. Їх годинна витрата V_D , м³/год, визначається за формулою:

$$V_D = B \cdot v_D$$

де B – витрата палива за годину, м³/год (кг/год); v_D – об'єм продуктів згоряння, віднесений до одиниці палива, м³/м³ (м³/кг).

При повному згорянні палива v_D розраховується за наступним рівнянням:

$$v_D = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{O_2}$$

До правої частини рівняння входять об'єми компонентів продуктів повного згоряння, віднесені до одиниці палива.

Для газоподібного палива, яке зазвичай використовують у промислових печах, об'єми компонентів продуктів повного згоряння визначаються за наведеними нижче формулами:

$$v_{CO_2} = 0,01 (CO + CO_2 + CH_4 + \sum m C_m H_n);$$

$$v_{SO_2} = 0,01H_2S;$$

$$v_{H_2O} = 0,01 \left(H_2 + H_2S + 2CH_4 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + H_2O + 0,124 \cdot v_B \cdot d_B \right);$$

$$v_{N_2} = 0,01(N_2 + 79 \cdot v_B);$$

$$v_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)v_B^0;$$

де C_{O_2} , CO_2 , CH_4 та ін. – об'ємні частки компонентів в паливі, %; d_B – вміст вологи у повітрі, г/м³ сухого повітря; α – коефіцієнт надлишку повітря; v_B^0 , v_B – відповідно теоретична та дійсна витрата повітря на одиницю палива, м³/м³.

Величини v_B^0 та v_B розраховуються наступним чином:

$$v_B^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] (1 + 0,00124d_B)$$

$$v_B = \alpha \cdot v_B^0$$

Втрати теплоти з димовими газами, віднесені до одиниці палива, визначаються за формулою:

$$Q_{\text{ВДХ}} = v_D \cdot i_D,$$

де i_D – ентальпія димових газів, кДж/м³.

Залежність для визначення ентальпії продуктів згоряння деяких газоподібних палив (а саме, природного, доменного та коксового газів) з урахуванням їх теплоти згоряння Q_H^P та коефіцієнту надлишку повітря має наступний вигляд:

$$i_D = 1,29 \cdot t \left(1 + 0,163 \cdot 10^{-3} \cdot t - 0,214 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{0,081}{\alpha} \right) \cdot (1 - 2,05 \cdot 10^{-6} \cdot Q_H^P).$$

Похибка розрахунків ентальпії продуктів згоряння вказаних палив у діапазоні коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1 \div 1,8$ за цією формулою не перевищує ± 2 %, що є достатнім для технічних розрахунків.

Якщо до складу димових газів входять також гази, які утворюються в результаті технологічних процесів в печі, питомі втрати теплоти з димовими газами визначаються наступним чином:

$$Q_{\text{ВДХ}} = \frac{V_{\text{ВДХ}}}{B} \cdot i_{\text{ВДХ}}$$

де $V_{\text{ВДХ}}$ – годинний об'єм димових газів з урахуванням технологічних газів, м³/год; $i_{\text{ВДХ}}$ – ентальпія димових газів, яка визначається по складу газів, кДж/м³.

Використання фізичної теплоти димових газів може бути здійснено за трьома схемами: технологічною, енергетичною та комбінованою.

Технологічна схема передбачає використання цієї теплоти для технологічних процесів, як правило, в тій же технологічній установці. По такій схемі нагрівають повітря, а також,

в деяких випадках, й газоподібні палива, попередньо підігрівають матеріал, що обробляється в печі, та ін. Такі схеми є замкнутими, вони забезпечують економію палива у самому технологічному процесі.

Прикладом реалізації такої схеми може бути встановлення за нагрівальними, термічними печами теплообмінників для підігріву дуттєвого повітря, що подається на горіння в цій же печі. Збільшення температури дуттєвого повітря на кожні 60 °С знижує витрату палива на пічний агрегат на 2 %. Причому, використовуючи такий прийом, можна знизити температуру димових газів до 150 °С.

Також теплоту димових газів можна використовувати й в інших установках з меншим температурним рівнем процесів. Така схема є розімкненою. В цьому випадку паливо заощаджується в установках, що використовують теплоту димових газів.

Застосування замкнутої технологічної схеми підвищує ефективність використання палива в технологічному агрегаті, тобто, зменшує вихід вторинних енергоресурсів (ВЕР).

Енергетична схема передбачає використання теплоти димових газів в енергетичних установках для виробництва будь-яких енергоносіїв (теплоти, холоду, електроенергії та ін.). Найбільш розповсюдженим варіантом є встановлення парових котлів-утилізаторів, які виробляють пару для технологічних потреб, парових турбін, приводу електрогенераторів, компресорів, насосів.

Можливе послідовне розміщення декількох тепловикористовуючих установок, наприклад, котлів-утилізаторів та економайзерів для підігріву мережевої води. Тобто, енергетична схема є розімкнутою і дозволяє заощадити паливо, яке витрачається на виробництво відповідних видів та кількості енергоносіїв за рахунок ВЕР технологічного агрегата.

Комбінована схема поєднує технологічну та енергетичну схеми та забезпечує як зменшення виходу ВЕР, так і більш ефективне їх використання.

Найбільш ефективний шлях покращення використання палива полягає не у максимальному використанні теплових втрат, а у такій організації роботи печі, при котрій ці втрати були б мінімальними. Це у повній мірі відноситься й до втрат теплоти з димовими газами.

В частках від загальної теплової потужності печі $M_{\text{ЗАГ}}$ кВт, втрати теплоти з димовими газами дорівнюють:

$$\frac{B_C \cdot Q_{\text{ВДХ}}}{M_{\text{ЗАГ}}} = \frac{B_C \cdot v_D \cdot i_D}{B_C \cdot Q_H^P} = \frac{v_D}{Q_H^P} \cdot i_D,$$

таким чином їх зниження можливе за рахунок зменшення співвідношення v_D/Q_H^P та i_D . Ентальпія димових газів i_D залежить від температури та може бути знижена за рахунок її зменшення. Але, як правило, такий шлях неприйнятний, тому що тягне за собою зниження продуктивності печі.

Для прохідних нагрівальних печей, наприклад, методичних, кільцевих та інших зі змінними температурами димових газів по довжині робочого простору, можливою є оптимізація температурного режиму печі, що забезпечить мінімальну температуру димових газів при незмінній продуктивності печі.

Співвідношення v_D/Q_H^P і, відповідно, втрати теплоти з димовими газами, істотно зростає при спалюванні палива з низькою теплою згоряння (менш ніж 8 МДж/м³). З іншого боку, істотний вплив на об'єм продуктів згоряння вдосконалює роботу пальникових пристроїв. Так, більш ретельне перемішування палива з окислювачем, яке обумовлює повноту спалювання з мінімальним надлишком повітря, істотно зменшує вихід димових газів, та, відповідно, кількість теплоти, що з ними виноситься. Такий же ефект може бути досягнутий за рахунок збагачення повітря, що йде на спалювання, киснем. Як наслідок, зменшення об'єму продуктів згоряння зменшує енергетичні витрати на їх видалення, підвищує теплову потужність, та, відповідно, і продуктивність печей.

На практиці цього можна досягти за рахунок встановлення регулятора співвідношення «газ – повітря» в систему газопостачання печі. Він дозволяє підтримувати необхідне співвідношення компонентів горючої суміші, яка подається в пальник, що забезпечує якісне спалювання палива на різних режимах роботи печі. Це сприяє підвищенню ефективності використання палива, зменшенню його витрати на 5–10 % і, до того ж, зниженню концентрації в продуктах згоряння CO і NO_x.

У таблиці 8.7 наведені узагальнені показники використання теплоти димових газів в деяких галузях промисловості.

Таблиця 8.7 –
Шляхи підвищення ступе-
ня використання теплоти
димових газів

Агрегат — джерело вторинних енергоресурсів	Захід	Можлива економія палива, енергії
1	2	3
Машинобудування		
Нагрівальні печі (продуктивністю 300–20 000 кг/год)	Утилізація фізичної теплоти димових газів за допомогою котлів-утилізаторів, підігрівачів повітря	Паливо — до 20–25 %
Термічні печі (продуктивністю 150–9 000 кг/год)	Утилізація фізичної теплоти димових газів за допомогою котлів-утилізаторів, підігрівачів повітря	Паливо — до 15–20 %
Нагрівальні та термічні печі	Використання теплоти димових газів для нагріву повітря теплових завіс	До 50 % від тепловитрат на теплові завіси
Промисловість будівельних матеріалів		
Скловарні печі	Застосування термосифонних котлів-утилізаторів (ТКУ) за печами невеликої потужності	50–70 т у. п./рік на один котел
Скловарні печі	Застосування котлів-утилізаторів типу Г-1030Б, Г-345, КУ-16, КУ-40 за великими печами	2–33 тис. т у. п./рік на один котел
Обертвові печі для обпалу керамзиту	Використання теплоти димових газів при зменшенні їх температури з 600 до 300 °С для підігріву дуттьового повітря	Зниження питомої витрати палива на 34 %
Тунельні печі для обпалу глиняної цегли	Використання теплоти димових газів для сушки цегли	Зниження питомої витрати палива на 15–20 %
Щілинні і роликові печі для обпалу	Використання теплоти димових газів для нагріву води	0,3–0,5 кг у. п./м ³

Автоматизація процесів нагріву в печах різного призначення також призводить до економії палива і електроенергії. Оснащення теплових агрегатів автоматизованими системами управління технологічними і теплотехнічними процесами на базі керуючих контролерів дає можливість найбільш економічно вести технологічний процес, оптимізувати роботу печі, термічного обладнання та отримати економію енергоносіїв до 5 – 10 %, а також, досягти високої якості продукції, що випускається при термообробці.

Втрати теплоти через склепіння, стіни та под печі

У загальному випадку втрати тепла скрізь кладку печі $Q_{кл}$, кВт*год, визначаються наступним чином:

$$Q_{кл} = 3,6 \cdot F_{зоб} \cdot \alpha \cdot (t_{зоб.п.} - t_{н.с.}) \cdot \tau_{заг} \cdot 10^{-3}$$

де $F_{зоб}$ – зовнішня поверхня кладки печі, м²; α – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні до навколишнього середовища, Вт/(м²·°С); $t_{зоб.п.}$ – температура зовнішньої поверхні печі, °С; $t_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища, °С; $\tau_{заг}$ – загальний час нагрівання, год.

За наведеною вище залежністю спочатку визначаються втрати у навколишнє середовище окремо для кожного елемента огорожуючих конструкцій печі: склепіння, стіни, под печі, а потім вони підсумовуються для визначення загальних втрат теплоти через кладку печі.

Одним з комплексних напрямків вирішення завдання енергозбереження, що дозволяє істотно знизити втрати в навколишнє середовище при експлуатації печей і термічного обладнання, є застосування волокнистих футеровочних і теплоізоляційних матеріалів. Волокнисті матеріали – це матеріали, які поєднують в собі високотемпературні, вогнетривкі і ізоляційні властивості, низьку теплопровідність і малоінерційність, що дозволяє широко застосовувати їх замість традиційних матеріалів для футерування практично всього парку термічного обладнання.

Ці властивості волокнистих матеріалів дають змогу створювати на їх основі печі з системами радіаційного нагріву. Такі системи включають плоскополум'яні і дискофакельні газові пальники і футерування з волокнистих вогнетривких матеріалів, на розпеченій поверхні якого відбувається повне і ефективне згоряння газу з радіаційним випромінюванням теплової енергії у внутрішній простір печі. Системи радіаційного нагріву забезпечують рівномірний нагрів та значне зниження утворення окалини на виробках з металу, які піддаються термообробці.

Застосування волокнистих високоефективних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів для футерування промислових печей має наступні переваги: економія енергоносіїв до 40 % (в печах періодичної дії) і до 25 % (в печах безперервної дії); зниження габаритів печі за рахунок товщини кладки; зниження маси футеровки печі до 10 разів; скорочення термінів виходу на режим до 1,5–2 годин; збільшення числа теплосмін до 1000–2000; зниження трудомісткості монтажу футеровки в кілька разів.

Втрати теплоти з водою, що охолоджує окремі елементи печі

Промислові печі, як правило, обладнані системою охолодження окремих елементів конструкції, що працюють у важких температурних умовах. Зазвичай охолодження елементів досягається за рахунок пропуску через їх внутрішню порожнину води, яка віднімає тепло, що поглинається конструкцією.

Найбільш доцільним способом використання тепла охолоджуючої води є організація випарного охолодження, при якому в охолоджуваному елементі відбувається часткове випаровування води, що охолоджує.

Кількість пари D , кг/год, що утворюється в системі випарного охолодження, може бути підраховано за формулою:

$$D = \frac{Q}{i_2 - i_1},$$

де Q – кількість теплоти, що відводиться, Дж/год; i_2 – ентальпія насиченої пари, що утворюється, Дж/кг; i_1 – ентальпія живильної води, Дж/кг.

Внаслідок використання прихованої теплоти пароутворення різниця $i_2 - i_1$ зростає до 2 300–2 500 Дж/кг і витрата води скорочується в десятки разів. Пару, що отримується з системи випарного охолодження, значно легше використовувати, ніж гарячу воду. До того ж, різке зменшення витрати охолоджуючої води робить рентабельним живлення системи хімічно очищеною водою, завдяки чому термін служби охолоджувальних елементів печі збільшується в кілька разів.

8.3 Визначення суттєвих споживачів ПЕР

Згідно з ДСТУ ISO 50001:2020²³ під суттєвим використанням енергії (significant energy use) розуміється використання енергії, що є суттєвим споживанням енергії та/або потенційним для поліпшення енергетичної результативності. У разі виявлення сфер суттєвого використання енергії промислове підприємство визначає критерії того, що є значним споживанням енергії та/або що може розглядатися як потенціал для поліпшення енергетичної результативності. Сфери суттєвого використання енергії можуть бути визначені по відношенню до будівель і споруд (наприклад, склад, завод, офіс), процесів або систем (наприклад, освітлення, пар, транспорт, електроліз, приводи на основі двигунів) або обладнання (наприклад, двигун, бойлер).

Зазвичай визначення суттєвих споживачів ПЕР здійснюється за результатами складання ПЕБ.

Для кожної сфери суттєвого використання енергії необхідно:

- 1) визначити визначальні змінні (чинники), що впливають на енергоспоживання;
- 2) визначити поточне значення ПЕЕ;
- 3) встановити особу (осіб), яка(-і) здійснює(-ють) роботу під контролем підприємства, яка впливає на сфери суттєвого використання енергії або негативно позначається на них.

8.4 Визначення переліку основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання

Всі чинники, що впливають на енергоспоживання, можна умовно розділити на статичні чинники та визначальні змінні.

Під **статичним чинником** (static factor) розуміється визначений чинник, який значно впливає на енергетичну результативність та який не змінюється. При цьому критерії значущості встановлює саме підприємство. Такими чинниками, наприклад, можуть бути розміри будівлі, конструкція встановленого обладнання, кількість працюючих змін, асортимент продукції тощо.

Під **визначальною змінною** (relevant variable) розуміється кількісний чинник, який зазвичай впливає на енергетичну результативність і який щоденно змінюється. При цьому критерії значущості також встановлює саме підприємство. Такими чинниками, наприклад, можуть бути погодні умови, умови виробництва (температура всередині, рівень освітленості), робочий час, кількість виробленої продукції тощо.

Визначення переліку основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання, може здійснюватися спочатку методом опитування персоналу (для формування первинного переліку чинників), а вже потім із залученням відповідних математичних методів аналізу даних (наприклад, факторного аналізу).

8.5 Базовий рівень енергоспоживання, показники енергоефективності та енергорезультативності

8.5.1 Поняття, визначення та загальні вимоги

Базовий рівень енергоспоживання (БРЕ) – це кількісний показник для обчислення економії енергії, що застосовується як точка відліку для відображення ситуації до і після впровадження заходів з енергоефективності, шляхом порівняння рівнів досягнутої та досяжної енергоефективності. Його можна визначити, використовуючи показники енергоефективності для виробничих підрозділів, систем, процесів або обладнання та підприємства в цілому. БРЕ встановлюють для певного проміжку часу, що називається періодом дії базового рівня.

Період дії базового рівня має бути досить тривалими для того, щоб врахувати всі можливі варіанти режиму роботи підприємства, а також щоб охопити всі зміни у визначальних змінних, таких як сезонність виробництва, погодні умови тощо. Частота, з якою підприємство отримує дані, також є важливим чинником у визначенні відповідного періоду дії БРЕ.

Зазвичай період дії БРЕ становить 12 місяців (один календарний рік) для узгодження цього періоду з періодом дії цілей з енергоменеджменту та бізнес-цілей підприємства. Також, один рік охоплює повний спектр бізнес-циклів, що змінюються в залежності від ринкового попиту на вироблену продукцію.

Однак може бути також і інша тривалість періоду дії базового рівня.

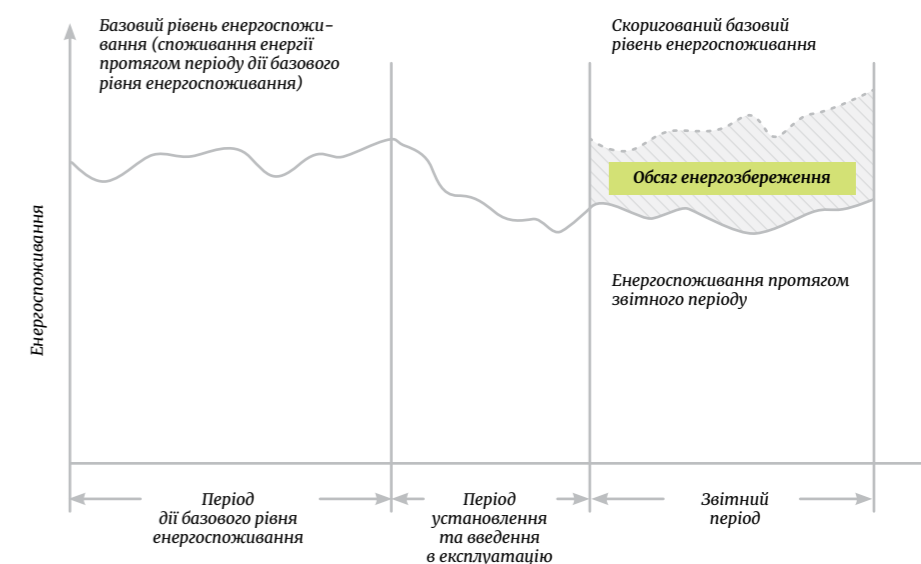
Так, наприклад, БРЕ тривалістю менше одного року можуть визначатися в тих випадках, коли немає сезонності в енергоспоживанні або якщо більш короткий період може охопити всі можливі режими роботи підприємства. БРЕ такої тривалості може бути застосована, коли є недостатня кількість історичних даних, і наявні лише поточні.

У випадках, коли підприємство має дуже короткі річні виробничі цикли, або продукцію виробляють протягом декількох місяців щороку і майже не виробляють протягом решти року застосовуються БРЕ тривалістю понад один рік. Наприклад, для виноробного заводу кожного року необхідно відстежувати рівень досягнутої/досяжної енергоефективності лише під час періоду дроблення та бродіння, однак це можливо здійснювати лише протягом декількох років.

Під час проведення енергоаудитів на більше ніж 60 підприємствах, для встановлення періоду дії БРЕ було зібрано статистичні дані за 3–5 останніх років роботи підприємства. Проаналізувавши отримані дані, було обрано саме той календарний рік, який характеризується найбільш типовими режимами роботи підприємства. Саме такий підхід дозволяє визначити найбільш доцільний період дії БРЕ.

Базовий рівень енергоспоживання має бути унормованим з використанням параметрів, що впливають на енерговикористання та/чи енергоспоживання, наприклад рівень виробництва продукції, кількість градусо-днів тощо (див. рис. 8.7).

Рисунок 8.7 –
Наочне відображення
застосування базового
рівня енергоспоживання



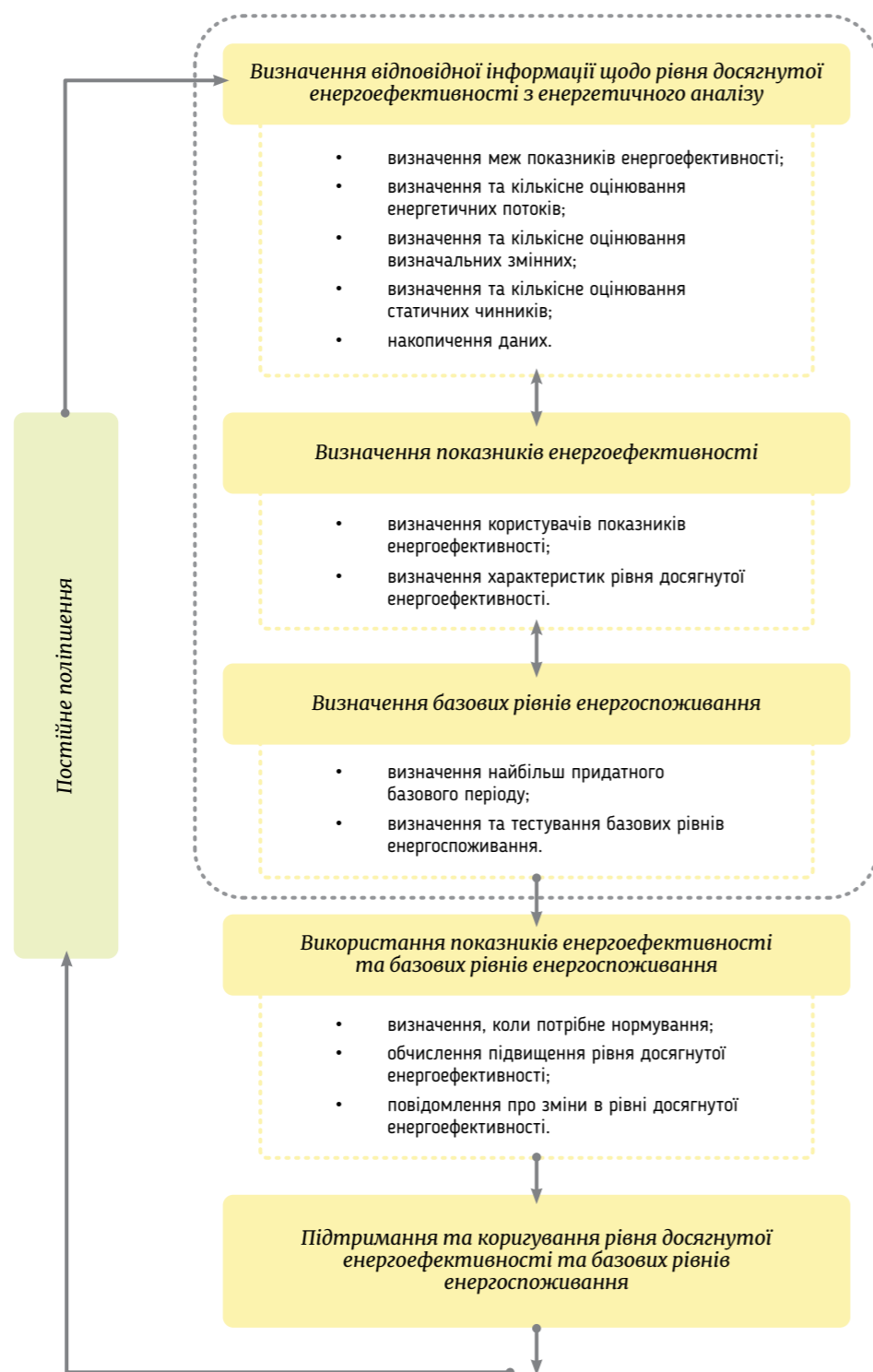
23 ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання.

На рисунку 8.7 під звітним періодом розуміється проміжок часу в майбутньому, за який підприємство планує оцінити зміни показників енергоефективності відносно періоду дії БРЕ.

Рівень досягнутої/досяжної енергоефективності (енергорезультативність) – вимірювані результати щодо існуючого рівня енергоефективності та потенційного, який можливо досягти завдяки впровадженню заходів з енергоефективності. Його може бути виражено в одиницях енергоспоживання (наприклад, ГДж, кВт·год), питомого енергоспоживання, (наприклад, кВт·год/одиницю продукції), пікової потужності (наприклад, кВт), відсоткової зміни в ефективності або безрозмірними величинами тощо.

В загальному випадку рівень досягнутої/досяжної енергоефективності підприємства визначається в послідовності, що відображена на рисунку 8.8.

Рисунок 8.8 –
Узагальнена схема
вимірювання рівня досягнутої/
досяжної енергоефективності



Більш деталізовано послідовність та рекомендації щодо встановлення базових рівнів енергоспоживання описано в ДСТУ ISO 50006:2016.

Для порівняння енергорезультативності за період дії базового рівня енергоспоживання та за звітним періодом, проводять обчислення різниці значень показників енергетичної ефективності за обидва періоди.

Показник енергетичної ефективності (ПЕЕ) – кількісне значення чи міра енергорезультативності, що визначає підприємство. ПЕЕ може бути представлено простою метричною одиницю, коефіцієнтом або складною моделлю.

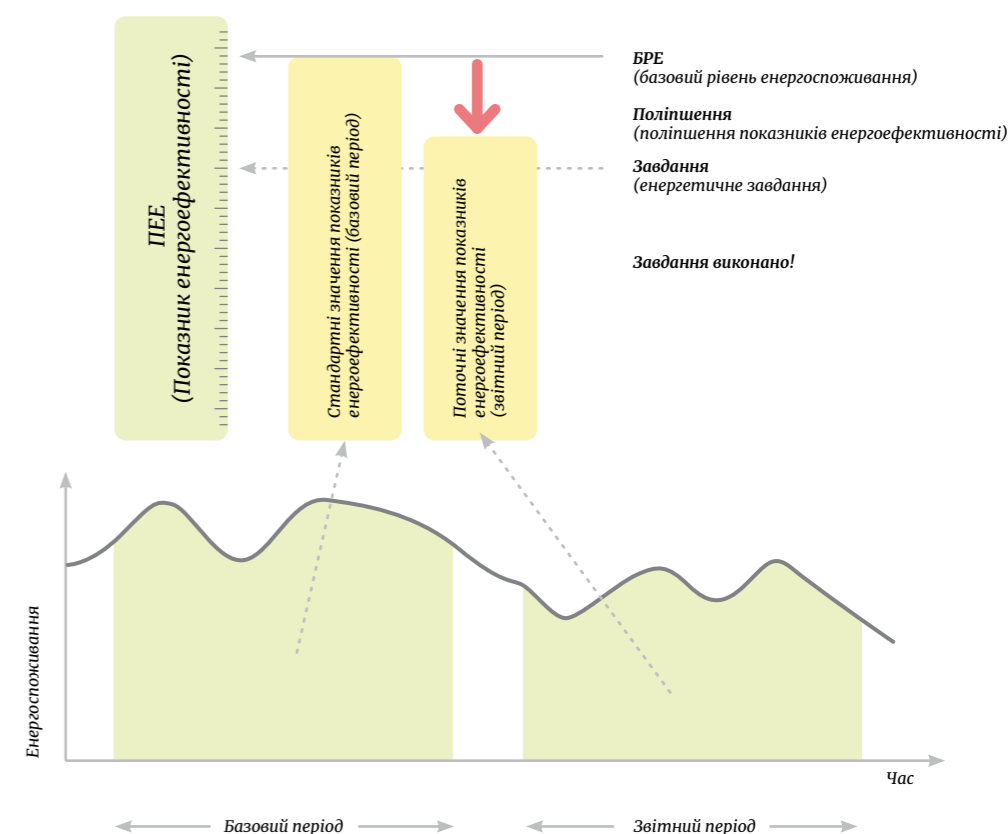
Встановлення базових рівнів енергоспоживання та визначення показників енергетичної ефективності рекомендується виконувати згідно рекомендацій ДСТУ ISO 50001:2020 та ДСТУ ISO 50006:2016.

Для того, щоб забезпечити досягнення безперервного процесу покращення енергорезультативності на підприємстві, необхідно постійно впроваджувати заходи з енергоефективності. Такі заходи розробляються під час проведення енергоаудиту або в межах функціонування системи енергетичного менеджменту. Впровадження заходів з енергоефективності здійснюється в рамках виконання енергетичних завдань підприємства. Показником успішності реалізації цих завдань є досягнення планових ПЕЕ у порівнянні з БРЕ.

Енергетичне завдання – це кількісно виражена ціль щодо поліпшення енергетичної результативності підприємства. Наприклад: зменшення річного споживання електричної енергії цехом №1 на 10 % від споживання електричної енергії в попередньому році.

Зв'язок між енергорезультативністю, енергетичними завданнями, БРЕ та ПЕЕ показано на рисунку 8.9, де проілюстровано простий випадок, коли безпосереднє виміряне енергоспоживання використовують як ПЕЕ, а значення енергорезультативності порівнюють у період дії базового рівня енергоспоживання із звітним періодом.

Рисунок 8.9 –
Взаємозв'язок між
енергорезультативністю,
енергетичними завданнями,
БРЕ та ПЕЕ



У тих випадках, коли підприємство вирішило, що визначальні змінні (погодні умови, виробництво, кількість робочих годин підприємства тощо), впливають на енергорезультативність, необхідно унормувати ПЕЕ та відповідні їм БРЕ. Це дає можливість порівняти рівень досягнутої/досяжної енергоефективності за еквівалентних умов.

8.5.2
Встановлення базового рівня енергоефективності

Відповідно до вимог ISO 50002:2014, енергоаудитори, під час фази аналізування енергетичної ефективності підприємства повинні встановити та оцінити поточний рівень енергоефективності різних видів використання енергії в межах енергоаудиту.

Поточний рівень енергетичної ефективності включає в себе:

- розподіл споживання енергії за способом використання і джерелом;
- типи використання енергії, що зумовлюють значне споживання енергії;
- співставлення з еталонними значеннями аналогічних процесів (де це можливо);
- розуміння щорічної динаміки рівня енергетичної ефективності;
- очікуване підвищення рівня енергетичної ефективності.

В таблиці 8.8 в залежності від типу аудиту наведені вимоги ISO 50002:2016 для оцінки базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності.

Етап аудиту	Аудит типу 1	Аудит типу 2	Аудит типу 3
Збір даних	Дані щодо відповідних змінних (наприклад, дані про виробництво, градусо-добі) для встановлення загальних показників енергетичної ефективності.	Дані щодо відповідних змінних (наприклад, дані про виробництво, градусо-добі) для встановлення показників енергетичної ефективності для суттєвих споживачів. З використанням даних технічного обліку споживання ПЕР.	Дані щодо відповідних змінних (наприклад, дані про виробництво, градусо-добі) для встановлення показників енергетичної ефективності для суттєвих споживачів. З використанням даних технічного обліку споживання ПЕР відповідно до профілю завантаження суттєвих споживачів.
Аналіз даних	Порівняння з доступними орієнтирами. Визначення суттєвих споживачів енергії або показників енергоефективності.	Аналіз показників енергетичної ефективності на рівні підприємства, підрозділу, системи, процесу або на рівні обладнання (де це можливо).	Аналіз показників енергетичної ефективності на рівні підприємства, підрозділу та для суттєвих споживачів енергоресурсів.

Таблиця 8.8 – Вимоги ISO 50002:2016 для оцінки базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності для промислових підприємств

Базові рівні енергоспоживання можуть бути встановлені у вигляді таких типів:

- тип 1 – як константа: $W = const$;
- тип 2 – як однофакторне лінійне рівняння регресії: $W = c_0 + c_1 X$;
- тип 3 – як багатофакторне лінійне рівняння регресії: $W = c_0 + c_1 X_1 + \dots + c_n X_n$;
- тип 4 – як однофакторне або багатофакторне нелінійне рівняння регресії.

У 99 % випадках базові рівні енергоспоживання встановлюються у вигляді перших трьох типів.

Для промислових підприємств БРЕ у вигляді константи може застосовуватися, тільки якщо жоден з наявних виробничих і технологічних чинників суттєво не впливають на обсяг енергоспоживання на підприємстві.

Якщо на енергоспоживання суттєво впливає один або декілька чинників, то БРЕ встановлюється у вигляді рівняння однофакторної чи багатофакторної лінійної регресії (методом регресійного аналізу). В цьому випадку БРЕ описується рівнянням регресії обсягу споживання підприємством палива та/або енергії залежно від чинників, які найбільш суттєво впливають на цю величину.

На початковому етапі регресійного аналізу при встановленні базових рівнів доцільно враховувати якомога більшу кількість чинників. Проте збільшення кількості врахованих чинників не завжди підвищує точність такої моделі.

Для більш поглибленої попередньої оцінки взаємозв'язків між чинниками рекомендується застосовувати кореляційний аналіз. Це дозволить зменшити кількість чинників впливу та скоротити кількість ітераційних розрахунків під час встановлення рівняння регресії для БРЕ.

Наведемо приклад визначення базового рівня споживання електричної енергії у вигляді рівняння статистичної моделі із застосуванням методу регресійного аналізу. Для полегшення обчислень застосуємо пакет MS Excel «Аналіз даних».

Етап 1. Визначення чинників, що впливають на енергоспоживання

Кількість чинників залежить від специфіки підприємства, наявної системи моніторингу, а також бажаного рівня точності математичної моделі БРЕ. У якості таких чинників у прикладі було обрано:

- обсяг виробництва продукції;
- обсяг виробництва суміжної сировини;
- споживання природного газу;
- споживання води;
- градусо-добі охолодження – CDD;
- градусо-добі опалення – HDD.

По кожному із зазначених чинників необхідно зібрати дані за визначений період. Також необхідно отримати від підприємства дані щодо споживання ПЕР.

Всі вхідні дані, необхідні для встановлення БРЕ, у прикладі отримані за місяцями протягом одного року (див. таблицю 8.9).

Таблиця 8.9 – Приклад загального вигляду таблиці заповнення вихідних даних

	Енергоресурс	Чинник 1	Чинник 2	...	Чинник 6
	Електроенергія	Обсяг виробництва продукції	Обсяг виробництва суміжної сировини		Градусо-добі опалення
Період збору статистичних даних	Од. вим. кВт*год	Од. вим. л	Од. вим. кг	...	Од. вим. кількість
Січень 2017	Величина 400 000	Величина 3 000 000	Величина 300 000	...	Величина 600
...
Грудень 2017	Величина 1 000 000	Величина 11 000 000	Величина 1 000 000	...	Величина 400

Етап 2. Використання пакету «Аналіз даних» MS Excel.

Щоб скористатися можливостями, які надає пакет «Аналіз даних» MS Excel, потрібно, перш за все, активувати надбудову «Пакет аналізу» в налаштуваннях Microsoft Excel. Після цього на робочому листі Microsoft Excel вносяться вихідні дані відповідно до форми, запро-

понованої у таблиці 8.8. Після введення даних за допомогою функції «Регресія» буде проведений автоматичний підрахунок, результати якого будуть відображені трьома окремими таблицями.

У таблиці 8.10 «Регресійна статистика» наводяться значення коефіцієнта кореляції множинного та R-квадрат. Якщо дане значення лежить в інтервалі від 1 до 0,9 по модулю, то відзначається дуже сильна кореляційна залежність. У разі якщо значення коефіцієнта кореляції лежить в інтервалі від 0,9 до 0,6, то має місце слабка кореляційна залежність. Якщо значення коефіцієнта кореляції знаходиться в інтервалі від – 0,6 до 0, то кореляційна залежність є дуже слабкою або повністю відсутня.

Таблиця 8.10 –
Зведена таблиця
результатів регресійної
статистики
(перша ітерація)

Регресійна статистика	
Множинний R	0,996315104
R-квадрат	0,992643786
Нормований R-квадрат	0,983816329
Стандартна похибка	24306,81359
Спостереження	12

Таблиця 8.11 «Дисперсійний аналіз» призначена для перевірки гіпотези щодо адекватності регресійної моделі. Найбільш інформативними стовпчиками цієї таблиці є: «Значимість F», і «F-критерій». Для оцінки адекватності регресійній моделі використовується «F-критерій», в той час, як «значимість F» показує рівень значущості моделі. Якщо «значимість F» не значна (менше 0,1), то побудована модель значуща.

Таблиця 8.11 –
Зведена таблиця
результатів дисперсійного
аналізу (перша ітерація)

Дисперсійний аналіз					
	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	6	3,98626E+11	66437590959	112,4495743	3,61669E-05
Залишок	5	2954105934	590821186,8		
Разом	11	4,0158E+11			

Таблиця 8.12 –
Зведена таблиця коефіцієнтів
рівняння регресійної моделі
споживання електричної
енергії (перша ітерація)

В таблиці 8.12 «Коефіцієнти рівняння регресійної моделі» інформативними є «P-значення» і стовпчик «коефіцієнти». Якщо «P-значення» чинника є менше 0,1, то такий чинник є впливовим. Якщо «P-значення» більше 0,1, то чинник не впливає на модель, або він корелюється з іншими чинниками. Якщо «значимість F» та «P-значення» не задовольняють необхідним умовам, то чинник із найбільшим значенням «P-значення» відкидається, і регресійний аналіз проводиться знову з виключенням чинника, який не впливає на модель. Такі ітерації роблять до тих пір, поки не досягнемо умови, щоб всі «P-значення» чинників були меншими за 0,1.

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	364413,06	0,002922736
Виробництво продукції, л	0,004455152	0,607153032
Виробництво напівфабрикатів, кг	-0,026451139	0,36952068
Споживання природного газу, м ³ /міс	2,4853186	0,006928746
Споживання води, м ³ /міс	1,019654209	0,484173066
HDD 18 °C	-461,9144929	0,003092944
CDD 18 °C	-221,0936784	0,384091666

За результатами першої ітерації, не впливовим чинником було визначено «споживання води». Саме тому дані щодо споживання води не були враховані при проведенні другої ітерації. Отримані результати другої ітерації наведені у таблиці 8.13.

Таблиця 8.13 –
Зведені таблиці
результатів регресійного
аналізу (друга ітерація)

Множинний R	0,995893939
R-квадрат	0,991804737
Нормований R-квадрат	0,984975351
Стандартна похибка	23420,25799
Спостереження	12

	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	5	3,98289E+11	79657720156	145,2260492	3,57884E-06
Залишок	6	3291050907	548508484,5		
Разом	11	4,0158E+11			

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	354788,8286	0,001425946
Виробництво продукції, л	0,006708523	0,392583586
Виробництво напівфабрикатів, кг	-0,023804708	0,388895299
Споживання природного газу, м³/міс	2,689215705	0,00131991
HDD 18 °C	-470,1118639	0,001278845
CDD 18 °C	-209,0047271	0,384547356

За результатами другої ітерації, не впливовим чинником було визначено «градусо-доби охолодження при 18 °C». Тому дані щодо градусо-діб охолодження не були враховані при проведенні третьої ітерації. Отримані результати третьої ітерації наведені у таблиці 8.14.

Таблиця 8.14 –
Зведені таблиці
результатів регресійного
аналізу (третья ітерація)

Множинний R	0,995290664
R-квадрат	0,990603506
Нормований R-квадрат	0,985234081
Стандартна похибка	23217,72961
Спостереження	12

	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	4	3,97806E+11	99451552728	184,4896768	3,59259E-07
Залишок	7	3773440776	539062968,1		
Разом	11	4,0158E+11			

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	317632,0817	0,000362006
Виробництво продукції, л	0,011343141	0,069811775
Виробництво напівфабрикатів, кг	-0,012261025	0,599373515
Споживання природного газу, м³/міс	2,505750246	0,000647288
HDD 18 °C	-400,3432724	1,02451E-05

За результатами третьої ітерації, не впливовим чинником було визначено «виробництво напівфабрикатів». Тому дані щодо виробництва напівфабрикатів не були враховані при проведенні четвертої ітерації. Результати отримані під час проведення четвертої ітерації, наведено в таблиці 8.15.

Таблиця 8.15 –
Зведені таблиці
результатів регресійного
аналізу (четверта ітерація)

Множинний R	0,995086597
R-квадрат	0,990197335
Нормований R-квадрат	0,986521336
Стандартна похибка	22182,62457
Спостереження	12

	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	3	3,97643E+11	1,32548E+11	269,3682093	2,26343E-08
Залишок	8	3936550662	492068832,8		
Разом	11	4,0158E+11			

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	337196,5575	7,07632E-06
Виробництво продукції, л	0,013610225	0,002741934
Споживання природного газу, м ³ /міс	2,281948053	1,40352E-07
HDD 18 °C	-393,4205169	1,80278E-06

Оскільки, після проведення четвертої ітерації всі показники задовольняють умовам щодо достовірності моделі проведення ітерацій припиняється.

Етап 3. Отримання результатів регресійного аналізу

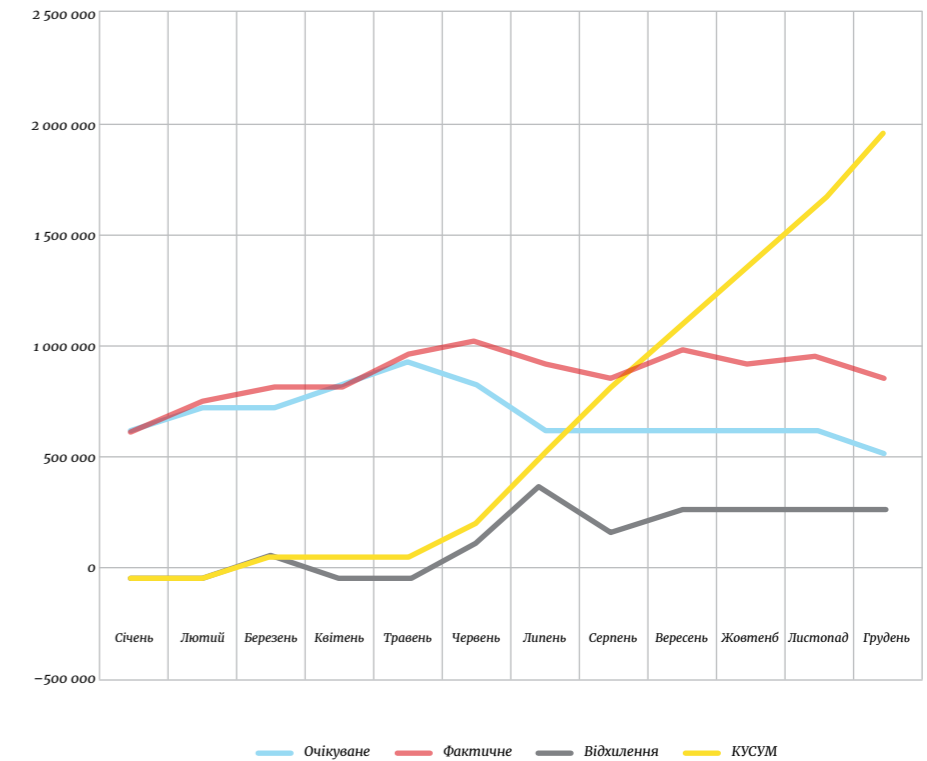
Отримання результатів регресійного аналізу може проводитись трьома різними шляхами:

- створення окремого файлу MS Excel;
- створення окремого робочого листа в MS Excel;
- виведення результатів на той самий робочий лист, що містить вхідні дані.

Таким чином, відповідно до стовпчика «Коефіцієнти» таблиці 8.15 було отримано рівняння базового рівня споживання електричної енергії:

$$\text{Споживання електроенергії} = 337196 + \text{Виробництво продукції} \cdot 0,01361 + \text{Споживання природного газу} \cdot 2,28195 + \text{HDD}18 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (-393,42)$$

Рисунок 8.10 –
Графік фактичного та прогнозного (відповідно до регресійної моделі) споживання електроенергії, його відхилення та кумулятивної суми (КУСУМ)



Для більш інформативного представлення отриманої інформації використовують метод «КУСУМ», який графічно може показати досягнуту економію або перевитрати енергії за обраний період (місяць, рік). Графік «КУСУМ» для наведеного прикладу показано на рисунку 8.10. Відповідно до рисунку протягом року підприємство ефективно споживало електроенергію лише у січні, а допустимо – в лютому, квітні та травні. Всі інші місяці мають значні відхилення від очікуваного рівня споживання електроенергії, а отже мають місце перевитрати електроенергії, які на кінець року складають близько 2 млн. кВт*год (див. на графіці криву КУСУМ). Можливими причинами цієї перевитрати є не оптимальне завантаження технологічного обладнання та відсутність оперативного контролю за відхиленнями фактичного споживання по відношенню до його очікуваного значення, а також не своєчасне реагування персоналу на ці відхилення.

8.5.3 Визначення та аналіз показників енергоефективності

Для оцінки енергетичної результативності будь-якого промислового об'єкта необхідно застосовувати кількісні показники, що дають можливість визначити наскільки ефективно використовуються ПЕР. Узагальнено вони називаються показниками енергоефективності. Визначення фактичних значень таких показників дозволяє зіставляти їх з аналогічними величинами, досягнутими на подібних вітчизняних або закордонних підприємствах (бенчмаркінг енергоефективності), а також здійснювати їх порівняння для одного й того ж підприємства

в різні часові періоди. Навіть таке спрощене порівняння дозволяє в першому наближенні зробити висновок про наявний на підприємстві потенціал енергозбереження.

Основним стандартом, який регламентує визначення показників енергоефективності є ISO 50006:2014. Відповідно до положень стандарту існує три основні рівні, на яких рекомендується розглядати ПЕЕ, а саме:

- індивідуальний (виробничий об'єкт, обладнання, процес);
- системний (група виробничих об'єктів, обладнання, процесів);
- організаційний (підрозділ, підприємство в цілому).

Основні типи та приклади застосування ПЕЕ відповідно до ISO 50006:2014 показано в таблиці 8.16

Таблиця 8.16 –
Типи та приклади
застосування ПЕЕ

Тип ПЕЕ	Випадки застосування	Приклади застосування	Недоліки даного типу ПЕЕ	Найбільш поширені помилки під час застосування на практиці
Виміряне значення енергії	<ul style="list-style-type: none"> • Вимірювання зменшення енергії в абсолютному використанні чи споживанні • Виконання нормативних вимог щодо абсолютної економії енергії • Моніторинг та контроль запасів і витрат енергії • Розуміння тенденцій в енергоспоживанні • Вимірювання споживання енергії, отримане безпосередньо за допомогою лічильника з/або без використання коефіцієнта перетворення 	<ul style="list-style-type: none"> • Енергоспоживання системою освітлення в кВт·год • Споживання палива котлами в ГДж • Споживання електроенергії під час годин пікового навантаження в кВт·год • Загальна економія енергії від програм, пов'язаних з енергоефективністю в ГДж 	<ul style="list-style-type: none"> • Не враховує вплив визначальних змінних, що призводить до отримання некоректних результатів для більшості випадків наведених застосувань • Не вимірює енергоефективність 	<ul style="list-style-type: none"> • Нечітко визначені межі ПЕЕ; • Не проводиться перевірка лічильників, що ведуть облік енергоспоживання; • Не проводиться коригування БРЕ та ПЕЕ після модернізації технологічного процесу або обладнання.
Співвідношення вимірних значень	<ul style="list-style-type: none"> • Моніторинг енергоефективності енергоспоживчих систем, які мають лише одну визначальну змінну • Системи моніторингу, де незначне або відсутнє базове навантаження • Порівняння декількох об'єктів або промислових підприємств (бенчмаркінг) • Оцінка дотримання нормативних вимог щодо енергоефективності • Аналіз динаміки рівня енергоефективності • Оцінка рівня енергоефективності частини обладнання або системи 	<ul style="list-style-type: none"> • кВт·год/т продукції • ГДж/одинаця продукту • кВт·год /м² площі • ГДж/людино-діб • літрів палива на пасажиро-кілометр • Ефективність перетворення котла (%) • Вхідна енергія/вихідна енергія (наприклад, «теплова потужність» в генерувальних об'єктах) • кВт·год /МДж для систем охолодження • кВт/Н·м³ для компресорного устаткування • л/100 км • кВт·год/одинаця товару 	<ul style="list-style-type: none"> • Не враховує базового навантаження і нелінійний характер енерговикористання • Призводить до отримання не коректних результатів для об'єктів з великою часткою базового навантаження 	<ul style="list-style-type: none"> • Невідповідність між межами ПЕЕ та наявними системами обліку ПЕР (коли облік ПЕР встановлено на більш вищих рівнях ієрархії підприємства ніж визначається ПЕЕ); • Не враховано базове навантаження; • Вибір окремого обладнання або установок (суттєвих споживачів), що не має власної системи моніторингу енергоспоживання; • Не наведена методика визначення показників енергоефективності та базового рівня енергоспоживання; • Не проводиться коригування БРЕ та ПЕЕ після модернізації технологічного процесу або обладнання.

Продовження таблиці 8.16

Тип ПЕЕ	Випадки застосування	Приклади застосування	Недоліки даного типу ПЕЕ	Найбільш поширені помилки під час застосування на практиці
Статистична модель	<ul style="list-style-type: none"> Система з декількома визначальними змінними Енергоспоживання під час базового навантаження Якщо порівняння потребує унормування При моделюванні складних систем, коли може бути кількісно визначено зв'язок між енергорезультативністю та визначальними змінними При використанні енергорезультативності з кількома визначальними змінними для підприємства в цілому При визначенні взаємозв'язку між енергоспоживанням та визначальними змінними 	<ul style="list-style-type: none"> Енергорезультативність виробничого об'єкта з двома чи більше видами продукції Енергорезультативність об'єкта з базовим навантаженням Зв'язок між енергоспоживанням насоса/вентилятора та швидкістю потоку 	<ul style="list-style-type: none"> Для моделювання із різними змінними може бути важко визначити зв'язки, а саме моделювання є ресурсоємним і таким, для якого важко забезпечити точність Важко визначити джерело залишкової похибки: вона може бути викликана помилками при моделюванні або при моніторингу енергоспоживання Може бути неточним, якщо не підтверджується статистичними випробуваннями Потребує детального розуміння системи, щоб визначити правильну робочу форму або очікувані характеристики, якщо дані не є лінійними Потребує актуалізації моделі для забезпечення достовірних результатів 	<ul style="list-style-type: none"> Не наведена методика визначення показників енерго-ефективності та базового рівня споживання; Обирається недостатня кількість впливових чинників; Не враховується кореляція між впливовими чинниками; Не проводиться коригування моделі після модернізації технологічного процесу або обладнання.
Проектна модель	<ul style="list-style-type: none"> Оцінювання енергорезультативності від операційних змін з численними визначальними змінними Перехідні процеси та/або системи за участю динамічних зворотних зв'язків Для систем із взаємозалежними визначальними змінними (наприклад температури та тиску) Оцінювання енергорезультативності на етапі проєктування 	<ul style="list-style-type: none"> Промислові або генеруючі системи, де інженерні розрахунки або моделі дають змогу врахувати зміни у визначальних змінних та їхню взаємодію Модель енергоспоживання охолоджувача, температура зовнішнього повітря (температура конденсації) і температура всередині (температура випаровування) Модель всієї будівлі, що розрахована для годин роботи, централізованої розподільчої системи вентиляції та кондиціювання, а також потреби різних споживачів 	<ul style="list-style-type: none"> Потребує актуалізації моделі для забезпечення достовірних результатів 	<ul style="list-style-type: none"> Не наведена методика визначення показників енерго-ефективності та базового рівня енергоспоживання; В моделі враховуються паспортні, а не фактичні параметри технологічного процесу або обладнання; Не проводиться коригування моделі після модернізації технологічного процесу або обладнання.

Вибір рівнів та типів показників енергетичної ефективності є добровільним для кожного підприємства і, як правило, базується на можливості підприємства проводити моніторинг енергоспоживання обраного обладнання, виробничого об'єкта, процесу чи їх груп.

На даний час найбільш популярним в Україні ПЕЕ є питоме енергоспоживання, що передбачає встановлення на початку планового року відповідної норми – планового показника питомих витрат ПЕР за характерними товарними групами.

Питомі витрати ПЕР можуть бути визначені за допомогою таких методів:

- розрахунково-аналітичний;
- експериментальний (дослідний);
- розрахунково-статистичний;
- комбінований.

Розглянемо їх більш детально.

Розрахунково-аналітичний метод базується на виконанні поелементних розрахунків обсягів споживання ПЕР за даними проектно-конструкторської, технологічної та іншої технічної документації з урахуванням експериментально встановлених нормативних характеристик енергоспоживаючих агрегатів, установок, обладнання тощо. Він дозволяє визначити науково-обґрунтований обсяг витрат ПЕР, так як в ньому поєднуються техніко-економічні розрахунки з аналізом конкретних виробничих умов. В основу цього методу покладено необхідність складання ПЕБ на тому рівні (установка, технологічна лінія, цех, тощо), де планується визначення питомих витрат ПЕР. Цей метод є найбільш поширеним у застосуванні.

Експериментальний (дослідний) метод полягає у визначенні питомих витрат ПЕР на підставі даних, отриманих у результаті випробувань технологічного та енергетичного обладнання (експериментальних вимірювань) з урахуванням запланованих заходів з енергоефективності. Обмеження його застосування – умови, при яких результати випробування є коректними, а саме: обладнання повинно знаходитися в технічно справному стані, а технологічний процес повинен проводитись згідно з відповідними технологічними інструкціями (регламентами) та режимними картами. Випробування повинні бути повними, тобто одночасно охоплювати як основне обладнання, так і допоміжні механізми, режими роботи яких повинні відповідати оптимальним, а параметри підведеної енергії – нормативним.

Розрахунково-статистичний метод базується на аналізі даних статистичної (бухгалтерської, оперативної) звітності про фактичні витрати ПЕР на одиницю продукції (робіт) за минулий період і їх інтерполяції на розрахунковий період з урахуванням чинників, що впливають на величину їх питомих витрат у виробництві, прогресивних показників ефективності використання ПЕР, досягнутих на подібних виробництвах, а також запланованих заходів з енергоефективності.

В цьому методі використовуються **аналітична модель** витрат ПЕР і модель базового періоду. Аналітична модель є функцією, яка має залежність між витратами ПЕР E і чинниками впливу $X_{енл1}$, які зумовлюють зміну величини питомих витрат ПЕР:

$$E = f(X_{енл1}, X_{енл2}, \dots, X_{енлN}), \quad (8.2)$$

Перелік чинників, що впливають на величину витрат ПЕР на одиницю продукції (робіт, послуг), для типових напрямків енерговикористання наведено у таблиці 8.17.

Таблиця 8.17 – Головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР на одиницю продукції (робіт, послуг)

Напрямок енерговикористання	Теплоспоживання	Електроспоживання
Опалення будівель, споруд, окремих приміщень	Призначення об'єкта, тип, конструктивні рішення, габарити, етажність, місце розташування, кліматичні умови, температурний режим, режим вологості, організація виробництва, організація ремонтних робіт	Потужність приводу, режим роботи системи, технічна характеристика обладнання, умови та вимоги до експлуатації, організація виробництва, організація ремонтних робіт
Вентиляція будівель, споруд, окремих приміщень	Призначення, тип, конструктивні рішення, габарити, місце розташування, кліматичні умови, тепловий режим, технологічні вимоги, організація виробництва, організація ремонтних робіт	Потужність приводу, режим роботи системи, технічна характеристика обладнання, умови та вимоги до експлуатації, організація виробництва, організація ремонтних робіт

Продовження таблиці 8.17

Напрямок енерговикористання	Теплоспоживання	Електроспоживання
Гаряче водопостачання виробничих, підсобних та адміністративних приміщень	Призначення, конструктивні рішення, норми споживання гарячої води, кількість споживачів, температурна характеристика водопостачання, режим витрат води, період функціонування, організаційна структура виробництва, організація ремонтних робіт	—
Повітряно-теплові завіси	Конструктивні рішення, потужність теплової завіси, температурний режим, кліматичні умови, режим роботи	—
Зовнішнє освітлення	—	Призначення, вимоги до освітленості, режим роботи, технічна характеристика світильників, організація виробництва, організація ремонтних робіт
Внутрішньозаводський (внутрішньоцеховий) транспорт	—	Призначення та тип транспорту, технічна характеристика, вид та обсяг транспортних робіт, режим роботи, конструктивні рішення, організація виробництва, організація ремонтних робіт
Електропривод обладнання	—	Тип обладнання (верстатне, нестандартизоване, технологічне, кувально-пресове тощо), конструктивна та технічна характеристика приводів, режим роботи (час, завантаженість, вид роботи тощо), організація виробництва; технологічні вимоги, технічний рівень обладнання, організація ремонтних робіт
Зварювальне обладнання	—	Вид зварювальних робіт, характеристика обладнання, призначення, технічні та технологічні вимоги, режим роботи обладнання
	—	Вид витрат електроенергії (активна, реактивна), режим роботи обладнання, тип обладнання, характеристика обладнання, характеристика мереж

Аналітична модель величини витрат ПЕР є універсальною, тому може бути використана для будь-якого підприємства.

На практиці часто застосовують однофакторну модель величини питомих витрат ПЕР. Тоді в розрахунках враховують лише один чинник впливу – завантаження обладнання, установки, технологічної лінії тощо. Однак, така модель дає гарні результати тільки в тому випадку, коли інші невраховані чинники (наприклад, температура навколишнього повітря, підприємство працює на сировині з постійним складом і отримує енергоносії заявленої якості, технічний стан і склад обладнання однакові протягом аналізованого і розрахункового періодів тощо) не змінюються. Тому, більш доцільно використовувати багатофакторні моделі величини питомих витрат ПЕР, в яких враховувати й інші впливові чинники. В цьому випадку, в багатофакторних моделях величини питомих витрат ПЕР на рівні всього підприємства найбільш поширеними впливовими чинниками, що враховують в моделі, є завантаження обладнання, установки, технологічної лінії тощо і температура навколишнього повітря або градусо-добі опалення та/або охолодження. Інші чинники (склад сировини, якість використовуваних енергоресурсів, стан технологічного обладнання тощо) до уваги не беруться.

Модель витрат ПЕР базового періоду – математична модель, розрахунок енергоспоживання в якій здійснюється шляхом уточнення значення енергоспоживання за будь-який попередній (базовий) період часу з використанням коефіцієнтів спеціального виду:

$$E_{енер} = E_{баз} + \Delta_1 (X_{баз2}, \dots, X_{базm}) (X_1 - X_{баз1}) + \dots + \Delta_m (X_{баз1}, \dots, X_{базm-1}) (X_m - X_{базm}),$$

де $X_{баз1}, \dots, X_{базm}$ і $X_{енл1}, \dots, X_{енлm}$ – чинники впливу, що враховуються в базовому і розрахунковому періодах;

$E_{баз}$ – енергоспоживання за базовий період.

У даній моделі витрат ПЕР усунена похибка, пов'язана з трендом за часом (ця похибка враховується в базовому періоді). Якщо відомі чинники впливу й маємо невеликий період прогнозування, то ця модель забезпечує досить високу точність результатів. Однак, зі зростанням часу між спостереженнями похибка розрахунку збільшується. Крім того, в цій моделі проблематично зробити вибір базового періоду, а для визначення енергоспоживання потрібна велика кількість статистичних даних про роботу підприємства.

Комбінований метод поєднує у собі експериментальний та розрахунково-аналітичний методи визначення норм питомих витрат ПЕР.

Одним із найважливіших питань є вибір одиниці виміру питомих витрат ПЕР на виробництво продукції (роботу, послугу).

Технологічні питомі витрати ПЕР в усіх випадках визначаються тільки по відношенню до натуральної одиниці продукції одного виду (наприклад: шт., м, кг, т). В основу визначення технологічних питомих витрат ПЕР мають бути покладені ПЕБ, у витратній частині яких визначаються складові витрат та складові втрат ПЕР. Це дозволяє визначити конкретні заходи зі скорочення втрат та скласти нормалізований ПЕБ агрегата.

Технологічні питомі витрати ПЕР можуть бути визначені таким чином:

$$H_m = (W_{кор} + \Delta W_{втр}) / П,$$

де $W_{кор}$ – корисна складова витрат ПЕР;

$\Delta W_{втр}$ – втрати ПЕР в технологічному процесі;

$П$ – обсяг випуску продукції у натуральному виразі.

Загальновиробничі питомі витрати ПЕР можуть також визначатися по відношенню до натуральної одиниці продукції, проте лише за умови випуску однорідної продукції. В деяких випадках витрати ПЕР доцільно відносити не до одиниці готової продукції, а до одиниці вихідної сировини (наприклад, на молочних заводах тощо).

У випадку виробництва однорідної продукції різного типорозміру (продукція прокатних та ковальсько-пресових цехів, багатьох цехів будіндустрії, харчової промисловості тощо) доцільно встановлювати питомі витрати ПЕР на одиницю приведеної (умовної) продукції, тобто вираженої в натуральних одиницях, але приведеної до певного типорозміру.

Загальновиробничі цехові питомі витрати можуть бути визначені за формулою:

$$H_u = (W_m + W_d + \Delta W_u) / П_u,$$

де W_m і W_d – витрати ПЕР на технологічні та допоміжні потреби (опалення, вентиляція, освітлення);

ΔW_u – втрати ПЕР в цехових мережах і перетворювальних установках;

$П_u$ – план випуску продукції цехом.

Загальновиробничі заводські питомі витрати визначаються:

$$H_z = (W_u + W_{зо} + \Delta W_z) / П_z,$$

де W_u – сумарні витрати ПЕР в основних і допоміжних цехах;

$W_{зо}$ – загальнозаводські витрати ПЕР на опалення, вентиляцію, освітлення, гаряче водопостачання;

ΔW_z – втрати ПЕР в заводських мережах і перетворювальних установках;

$П_z$ – план випуску продукції по заводу.

У випадку визначення диференційованих питомих витрат ПЕР окремо для кожної виду готової продукції обсяг виробництва визначається у натуральних одиницях.

У випадку визначення укрупнених питомих витрат ПЕР для груп продукції одного виду, але різних сортів (типорозмірів) або для груп робіт, наданих послуг різного виду, використовуються умовні (зведені) одиниці виміру обсягів продукції (робіт, послуг) (наприклад: умовна банка консервів, умовна пара взуття тощо).

Для енергоємних процесів виробництва (ливарне виробництво, кування, термообробка, електрозварювання, виробництво стисненого повітря, кисню, водопостачання, опалення, вентиляція тощо) повинні визначатися норми питомих витрат ПЕР на одиницю виробництва продукції (роботи, послуги) у натуральному виразі.

На виробництвах, що випускають продукцію широкого та нестійкого асортименту, у будівництві, на ремонтних та експериментальних виробництвах, а також на рівні об'єднань, регіону, коли практично неможливо вибрати єдиний показник обсягу виробництва продукції (робіт, послуг) у натуральних чи умовних одиницях, норми витрат ПЕР можуть встановлюватися на одиницю вартості чистої продукції, що виражається у вартісному вимірі (приведеному до незмінних цін).

У випадку, якщо підприємство, крім основної продукції, випускає іншу продукцію або напівфабрикати для постачання іншим підприємствам (литво, ковальські покови, штампівки, товари народного споживання), то витрати палива, теплової та електричної енергії на їх виробництво не включаються у питомі витрати ПЕР на виробництво основної продукції (роботи, послуги).

На підприємствах можуть встановлюватися окремо питомі витрати теплової та електричної енергії на опалення, вентиляцію, освітлення, гаряче водопостачання, виробництво стисненого повітря, холоду, кисню, подавання холодної води й інші допоміжні потреби, а також питомі втрати енергії у мережах і перетворювальних установках.

8.6 Оцінка ефективності використання енергії електричними генераторами в системі електропостачання

Об'єкти для обстеження

- головні понижувальні підстанції, розподільні пристрої;
- трансформаторні підстанції;
- електричні мережі напругою до 1 000 В та вище;
- електричні генератори;
- режим електроспоживання;
- система обліку споживання та генерації електричної енергії.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в елементах системи електропостачання (див. п. 6.6.4 Посібника);
- визначити планову величину електроспоживання (див. п. 8.2 та 8.5 Посібника);

- визначити технологічну й аварійну броню (див. Інструкцію про порядок складання акта екологічної, аварійної та технологічної броні електропостачання споживача, затверджену наказом Мінпаливенерго України від 19.01.2004 N 26);
- скласти баланс електроспоживання за технологіями, по підрозділам і об'єкта в цілому з урахуванням видів навантаження (освітлення, силові і електротехнологічні споживачі до 1000 В і вище) (див. п. 8.2 Посібника);
- оцінити показники енергоефективності (див. п. 8.5.3 Посібника);
- визначити потенціал енергозбереження (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17, 9.1–9.4 Посібника).

Документальна інформація

- проектні рішення по знижувальним підстанціям і електричним мережам об'єкта, перспективи розвитку;
- звітна документація;
- однолінійна схема підстанції із зазначенням параметрів трансформаторів, комутаційної апаратури, пристроїв компенсації реактивної потужності і приладів обліку електроенергії;
- однолінійна схема розподілу електроенергії об'єкта, що споживає ПЕР із зазначенням на ній параметрів ліній живлення (тип, переріз, довжина, спосіб прокладки);
- добові графіки активного і реактивного електричного навантаження;
- графік коефіцієнта потужності;
- кабельні журнали;
- експлуатаційна документація;
- документація на контрольно-вимірну апаратуру підстанцій і цехів.

Параметри, що вимірюються

Напруга, струм, опір, частота, активна і реактивна потужність, витрати активної і реактивної енергії за визначений період, коефіцієнт потужності, показники якості електроенергії.

Приклад

- напруга, струм, опір, активна і реактивна потужність, коефіцієнт потужності електричних навантажень на відгалужувальних лініях підстанцій;
- напруга, струм, опір, активна і реактивна потужність, коефіцієнт потужності по окремим трансформаторам і відгалужувальним лініям;
- показники якості електроенергії.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- провести зовнішній огляд системи електропостачання;
- визначити:
 - наявність проектної документації і ознайомитися з нею;
 - величину електроспоживання і випуск продукції за технологіями, по цехах і об'єкта в цілому;
- побудувати:
 - схему електропостачання об'єкта, що споживає ПЕР із зазначенням її параметрів і точок передбачуваних вимірів;
 - карту електроспоживання;
 - добові графіки навантаження (осінньо-зимові і весняно-літні);
 - річний графік споживання активної і реактивної енергії;
 - балансовий графік фінансових витрат з урахуванням зонної оплати за споживання активної енергії;
- здійснити вимірювання:
 - електричних навантажень на відгалужувальних лініях підстанцій для побудови добових графіків активної і реактивної енергії;
 - напруги, струмів, активної і реактивної потужності по окремим трансформаторам і відгалужувальним лініям;
 - показників якості електроенергії;
 - температури контактних з'єднань і шин;
- розрахувати:
 - величину питомого електроспоживання;
 - втрати електроенергії в елементах системи електропостачання;
 - показники графіків електричних навантажень;
 - ємнісні струми витіку в мережах 6–10 кВ;
- проаналізувати:
 - нерівномірність графіків електричних навантажень;
 - питома електроспоживання;
 - баланси електроспоживання;
 - рівень компенсації реактивної потужності;
 - завантаження трансформаторів і кабелів;
 - необхідність компенсації ємнісних струмів витіку;
 - перехід на прогресивні тарифи на електроенергію;
 - показники якості електроенергії.

8.7 Оцінка ефективності використання енергії у котельні та системі розподілу тепла

Об'єкти для обстеження

- котельні (котли, бойлери, теплообмінники);
- теплові розподільні пункти;
- елементи системи паропостачання;
- елементи системи гарячого водопостачання;
- розподільні теплові мережі;
- режим теплоспоживання;
- система керування тепlopостачанням;
- система обліку і контролю тепlopостачання.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в елементах системи постачання гарячої води та пари (див. п. 6.6.2 Посібника);
- визначити планову величину теплоспоживання (див. п. 8.2 та 8.5.2 Посібника);
- скласти баланс теплоспоживання за технологіями, по підрозділам і об'єкта в цілому (див. п. 8.2 Посібника);
- оцінити ефективність використання гарячої води і пари (див. п. 6.6.1 Посібника);
- визначити потенціал економії тепла (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 та 9 Посібника).

Документальна інформація

Котли

- проектна документація;
- експлуатаційна документація;
- звітна документація;
- режимні параметри;
- характеристика електроприводу насосів, вентиляторів і димососів.

Бойлери, теплообмінники

- проектна документація;
- експлуатаційна документація;
- звітна документація.

Парові системи

- проектна документація;
- експлуатаційна документація;
- звітна документація.

Параметри, що вимірюються

Температура, тиск, витрата, рН, вміст у димових газах кисню, вуглекислого газу, оксиду сірки, хлору, метану, оксиду азоту тощо.

Приклад

Котли

- склад димових газів у різних точках;
- тиск у топці і тракті котла;
- температура води в різних точках;
- температура повітря;
- параметри пару;
- якість живильної і продувної води;
- температура зовнішніх поверхонь по всьому тракту;
- стан ізоляції;
- коефіцієнт корисної дії;
- втрати тепла.

Бойлери, теплообмінники

- вхідна і вихідна температури теплоносіїв;
- витрати і перепади тиску;
- зовнішня температура поверхні;
- стан ізоляції;
- коефіцієнт корисної дії;
- втрати тепла.

Парові системи

- температура і тиск пари;
- наявність і стан конденсатовідвідників;
- стан ізоляції;
- наявність витіків;
- наявність повітря, неконденсованих газів, повернення конденсата.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- провести зовнішній огляд елементів системи тепlopостачання;
- визначити наявність:
 - проектної документації і ознайомитися з нею;
 - підігрівача сирого води перед хімічним водоочищенням (температура сирого води перед хімічним водоочищенням повинна бути в межах 20–30 °С);
 - експлуатаційно-ремонтної документації (паспорт на кожен котел, змінний і ремонтний журнали, виробничі інструкції, посадові інструкції по

- кожному робочому місцю, режимні карти по котлах, водопідготовці, інструкції з експлуатації приладів автоматики, захисту і сигналізації, комплект теплових схем по котельні та ін. матеріали, плану по підготовці персоналу в галузі енергозбереження і журнал з перевірки знань);
- підігрівачів хімічно очищеної води перед деаератором (деаераторами);
- розширювачів безперервної продувки;
- насосної вихідної води;
- баків-акумуляторів сиріої води, хімічно очищеної і мережної води;
- редуційно-охолоджувальних установок;
- редуційних установок;
- гідравлічного графіка парової і водяної мережі (п'єзометричний графік);
- системи обліку приходу і витрати палива із зазначенням сертифіката на паливо, що надходить;
- визначити:
 - фактичні параметри та показники установок і технологій, що споживають гарячу воду та пар;
 - параметри та показники котельні (тип, установлену потужність, число годин і коефіцієнт використання установленої теплової потужності котельної, коефіцієнти навантаження котлів; наявність низькотемпературної сірчано-кислотної корозії в хвостових поверхнях водогрійних котлів);
 - характеристики мережевих насосів (кількість робочих і резервних насосів, відповідність параметрам теплової мережі, категорійність електроживлення);
 - тип застосованих мазутних форсунок (механічні, паро-мазутні і т. п.);
 - параметри пари, що відпускається, і конденсата, що повертається, відсоток повернення конденсата;
 - спосіб регулювання тиску в зворотній тепловій мережі і наявність резерву підживлюючих насосів;
 - спосіб регулювання температури мережевої води;
 - вироблену кількість теплоти і пари;
 - витрати теплоти на технологію, опалення, гаряче водопостачання;
 - втрати теплоти в котельні, мережах розподілу;
 - витрати теплоти для об'єкта, що споживає ПЕР в цілому;
 - витрату теплоносіїв на теплових пунктах і температуру зворотної мережевої води;
- побудувати:
 - технологічну схему котельні, системи гарячого водопостачання й опалення, системи паропостачання; намітити місця проведення вимірів;
 - схему підігрівання мазуту і визначити температуру підігрівання мазуту;
 - карту теплоспоживання;
 - добовий графік вироблення тепла²⁴ котельнею;
 - річний графік споживання теплоти;
 - загальний тепловий баланс;
- розрахувати:
 - кількість пари, що виробляється в котельні;
 - величину питомого теплоспоживання;
 - витрати теплоти на водопідготовку;

²⁴ *Під терміном «тепло» слід розуміти воду, що використовується для опалення та гарячого водопостачання, а також пару.

- величину споживання тепла в системі гарячого водопостачання;
- втрати теплоти з димовими газами, через стінки, з продувкою, в розподільній мережі в середині котельні, в розподільних мережах;
- показники графіків теплового навантаження;
- проаналізувати:
 - стан і характеристики насосного господарства котельні (тип і параметри насосів, наявність резерву);
 - стан трубопроводів у тепловій схемі;
 - стан ізоляції;
 - якість і кількість палива, що приймається (зважування палива чи облік за накладними; наявність лабораторії з технічного аналізу палива чи використання послуг іншого об'єкта, що споживає ПЕР; частота аналізу палива);
 - відповідність вироблення котельнею тепла тепловим навантаженням;
 - надлишки повітря в топці;
 - загальний тепловий баланс;
 - фактичний ККД;
 - втрати теплоти випромінюванням;
 - втрати теплоти з димовими газами;
 - присоси повітря по тракту котла;
 - рівень атмосферних викидів;
 - функціонування системи автоматичного керування горінням і режимами роботи котельні.

8.8 Оцінка ефективності використання енергії у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря

Об'єкти для обстеження

- компресорні установки;
- системи охолодження повітря;
- масло-, вологовидальвачі;
- трубопровідні мережі й арматура;
- повітрязбірники;
- градирні;
- електропривод;
- режим вироблення стисненого повітря;
- система обліку стисненого повітря.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в елементах системи стисненого повітря (див. п. 6.6.3 Посібника);
- визначити планову величину споживання стисненого повітря (див. п. 6.6.3 Посібника);
- оцінити ефективність споживання стисненого повітря (див. п. 8.5 Посібника);
- визначити потенціал збереження стисненого повітря (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 та 9 Посібника).

Документальна інформація

- проєктні рішення по компресорних станціях, перспективи розвитку;
- схема виробництва і розподілу стисненого повітря (параметри, спосіб і особливості прокладки міжцехових, магістральних, внутрішньоцехових повітропроводів; режими споживання стисненого повітря; тип, кількість, характеристики пневмоприймачів; вимоги споживачів до якості стисненого повітря);
- технічні характеристики основного і допоміжного устаткування, графіки тиску, графіки роботи і т. п.;
- документація по контрольно-вимірювальним приладам і засобам автоматичного регулювання і захисту, обліку вироблення і витрати стисненого повітря;
- експлуатаційна документація.

Параметри, що вимірюються

Тиск, витрата, температура, рівень шуму та ін.

Приклад

- завантаження компресорів;
- витрата і тиск повітря на вході в систему;
- витрата і тиск повітря у споживача;
- наявність конденсата, його об'єм;
- величина витіків повітря;
- витрата і температура охолодженої води на вході і виході системи охолодження компресора;
- обсяг підживлення системи охолодження компресора;
- величина витіку в системі охолодження компресора.
- техніко-економічні показники роботи.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності**використання енергії системою**

- провести зовнішній огляд системи стисненого повітря;
- визначити:
 - наявність проєктної документації і ознайомитися з нею;
 - витрати стисненого повітря і випуск продукції за технологіями, цехами і об'єктом в цілому;
 - місця витіків стисненого повітря і їхній обсяг;

- скласти список споживачів стисненого повітря;
- побудувати:
 - схему розподілу стисненого повітря із зазначенням параметрів трубопроводної мережі і стисненого повітря, а також намітити точки передбачуваних вимірів;
 - добовий графік споживання стисненого повітря споживачами і об'єктом в цілому;
 - річний графік вироблення стисненого повітря;
- здійснити вимірювання параметрів всмоктуваного і стисненого повітря;
- розрахувати:
 - величину питомого споживання стисненого повітря за технологіями, цехами і об'єктом в цілому;
 - втрати стисненого повітря в елементах системи постачання стисненим повітрям;
- проаналізувати:
 - обсяг витіків;
 - втрати тиску стисненого повітря;
 - питоме споживання стисненого повітря;
 - відповідність параметрів повітропроводів витраті повітря;
 - графіки вироблення і споживання стисненого повітря;
 - параметри повітря, що подається до споживачів;
 - систему регулювання вироблення стисненого повітря;
 - схему розподілу стисненого повітря;
 - режим роботи електроприводу компресора;
 - доцільність використання стисненого повітря.

8.9 Оцінка ефективності використання енергії електричними двигунами

Об'єкти для обстеження

- електродвигун;
- перетворювач;
- регулюючий пристрій;
- режим роботи електроприводу.

Задачі енергоаудитора

- визначити витрати електроприводом (див. п. 6.6.5 та 8.2 Посібника);
- оцінити ефективність електроспоживання електроприводом (див. п. 8.5 Посібника);
- визначити потенціал енергозбереження (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 та 9 Посібника).

Документальна інформація

- технічні параметри електроприводів;
- експлуатаційна документація.

Параметри, що вимірюються

Швидкість обертання, частота, час, струм, напруга, потужність, $\cos\varphi$, показники якості електроенергії.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності**використання енергії системою**

- провести зовнішній огляд електроприводу;
- визначити:
 - перелік технологічних процесів, у яких використовується електропривод потужністю понад 100 кВт;
 - наявність проєктної документації і ознайомитися з нею;
 - тривалість холостого ходу;
- розрахувати:
 - втрати в електроприводах;
 - коефіцієнти завантаження електроприводів;
 - коефіцієнти корисної дії електроприводів;
- проаналізувати:
 - втрат електроенергії в електроприводі;
 - коефіцієнт завантаження;
 - тривалість холостого ходу;
 - відповідність встановленої потужності електроприводу продуктивності робочого механізму;
 - доцільність використання регульованого електроприводу.

8.10

Оцінка ефективності використання енергії системою опалення, вентиляції та кондиціонування

Об'єкти для обстеження

- вентиляційні установки;
- вентиляційні мережі;
- теплообмінники;
- калорифери;
- кондиціонери;
- режим роботи перелічених вище установок.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в елементах системи вентиляції;
- визначити планову величину споживання повітря;
- оцінити ефективність режиму роботи системи вентиляції, підігріву повітря і кондиціонування;
- визначити потенціал енергозбереження;
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності.

Документальна інформація

- проєктні рішення системи і перспективи розвитку;
- експлуатаційна документація;
- добовий графік роботи;
- архітектурно-будівельні креслення.

Параметри, що вимірюються

Температура, вологість, швидкість, витрата повітря, час, лінійні розміри приміщень.

Приклад

- характеристики системи (фактичні коефіцієнти завантаження і включення, температура повітря в приміщенні, середня температура зовнішнього повітря, кратність повітрообміну, температури, відносної вологості, швидкості повітря, літньої та зимової температури повітря, що надходить до приміщення, температури зовнішнього повітря, повітрообміну і інфільтрації повітря);
- розміри приміщень.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності**використання енергії системою**

- провести зовнішній огляд систем примусової вентиляції, підігріву повітря і кондиціонування;
- визначити:
 - наявність проєктної документації і ознайомитися з нею;
 - параметри системи кондиціонування і їх розрахункових характеристик (із проєкту будівлі);
 - параметри і характеристики приміщень (розміри приміщення; температура, відносна вологість, швидкість повітря в приміщенні; літня та зимова температура повітря, що надходить до приміщення; повітрообмін; інфільтрація повітря);
- побудувати:
 - схему системи вентиляції із зазначенням параметрів вентиляційної мережі і вентиляторів і точок передбачуваних вимірів;

- добовий графік електричного навантаження системи вентиляції і кондиціонування;
- річний графік середньодобової температури зовнішнього повітря;
- здійснити вимірювання параметрів повітря, що надходить до споживачів;
- розрахувати питоме споживання повітря за технологіями, цехами і об'єктом в цілому;
- проаналізувати:
 - режим роботи і відповідність обраної системи кондиціонування характеристикам приміщення;
 - розрахункове навантаження установок;
 - добовий графік роботи установок;
 - обсяг витіків;
 - можливості регулювання продуктивності систем;
 - параметри повітря, що надходить до споживачів;
 - ефективність розподілу повітря.

8.11 Оцінка ефективності використання енергії системою освітлення

Об'єкти для обстеження

- система зовнішнього освітлення;
- система внутрішнього освітлення;
- електричні освітлювальні пристрої;
- освітлювальна мережа.

Задачі енергоаудитора

- оцінити втрати електроенергії в освітлювальній мережі (див. п. 6.6.4 Посібника);
- визначити планову величину електроспоживання освітлювальними установками (див. п. 8.2 Посібника);
- скласти баланс електроспоживання освітлювальними установками (див. п. 8.2 Посібника);
- оцінити ефективність режиму роботи освітлювальних установок (див. п. 6.6.7 Посібника);
- визначити потенціал енергозбереження (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 та 9 Посібника).

Документальна інформація

- проектні рішення по системі освітлення;
- експлуатаційна документація.

Параметри, що вимірюються

Розміри території та приміщень, висота підвісу світильників, відстань між рядами світильників, освітленість, активна потужність, напруга.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- провести зовнішній огляд елементів системи освітлення;
- визначити:
 - наявність проектної документації і ознайомитися з нею;
 - режим роботи системи освітлення;
 - рік встановлення світильників;
 - нормований рівень освітленості на робочій поверхні;
 - періодичність чищення світильників;
 - побудувати:
 - план розміщення і схему живлення освітлювальних установок;
 - добові графіки напруги на вводах щитів живлення освітлення;
 - здійснити вимірювання:
 - рівнів освітленості на робочих місцях, проходах і місцях загального користування;
 - рівнів напруги на затискачах світильників;
- розрахувати:
 - втрати напруги в системі освітлення;
 - річне електроспоживання освітлювальними установками об'єкта в цілому;
- проаналізувати:
 - фактичний стан світильників (забруднення, технічний знос);
 - рівні фактичного освітлення;
 - необхідність переходу на інші типи світильників;
 - надійність живлення робочого і аварійного освітлення;
 - ефективність використання встановлених освітлювальних установок;
 - способів автоматизації системи освітлення.

Об'єкти для обстеження

- насосні установки;
- нагнітальний і всмоктувальний трубопроводи та запірна арматура;
- насос;
- басейни, танки, ємності для накопичення рідин (водозбірники, резервуари);
- режим роботи системи водопостачання;
- туалети та душові приміщення;
- система обліку води.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в елементах системи водопостачання;
- визначити планове значення споживання води;
- скласти баланс споживання води за технологіями, по підрозділам і об'єкта в цілому;

- оцінити ефективність водовикористання;
- визначити потенціал енергозбереження;
- розробити рекомендації з впровадження заходів по економії води.

Документальна інформація

- проектні рішення по насосних станціях, перспективи розвитку;
- звітна документація;
- схема водопостачання і каналізації;
- технічні характеристики основного і допоміжного устаткування;
- експлуатаційна документація;
- звітна інформація з витрати води на господарські, побутові і пожежні потреби;
- перелік і кількість водоспоживаючого і водовідвідного устаткування;
- характеристики електроприводу насоса;
- оснащеність устаткування контрольно-вимірювальними приладами і засобами автоматичного регулювання витрати води.

Параметри, що вимірюються

Тиск, витрата, температура, рівень вібрації, електрична потужність, напруга.

Приклад

- техніко-економічні показники роботи системи;
- час роботи водоспоживаючого і водовідвідного устаткування;
- витіки і непродуктивні втрати;
- показники якості води та її витрата.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- визначити наявність:
 - проектної документації по системі водопостачання, очисних споруд, вторинного використання води;
 - акумулюючих ємностей і періодичність зміни води в них;
- провести зовнішній огляд насосної установки і трубопровідної мережі;
- скласти:
 - схеми водопостачання і каналізації підприємства із зазначенням її параметрів і точок передбачуваних вимірів;
 - технологічну схему насосної станції з указаними на ній параметрами насосних установок;
- визначити:
 - технічні характеристики і параметри мереж водопостачання і каналізації;
 - відповідність діаметрів (типорозмірів) устаткування витратам води і стоків;
 - місця витіків води і їхній обсяг;
 - можливість роботи насосних установок як споживачів-регуляторів електричного навантаження;
 - наявність і типи приладів обліку, контролю і регулювання витрати води в цілому для об'єкта і по підрозділах, документація по їх метрологічній атестації і перевірці;
- виміряти добову витрату води об'єктом, що споживає ПЕР;
- побудувати добовий графік споживання води об'єктом, що споживає ПЕР;
- оцінити режим роботи електроприводу кожної насосної установки;
- проаналізувати:
 - графіки споживання води;
 - обсяги витіків води;
 - можливість використання системи водопостачання як регулятора режиму електроспоживання;
 - баланс водоспоживання;
 - питомі витрати води;
 - режим роботи системи водопостачання і каналізації об'єкта;
 - невідповідності розрахункових і фактичних витрат води;
 - ефективність системи обліку водоспоживання.

8.13

Оцінка ефективності використання енергії системою технологічного охолодження

Об'єкти для обстеження

- холодильні установки;
- трубопроводи;
- дроселі;
- конденсатори;
- випарувачі;
- градирні;
- електропривод;
- режим роботи системи;
- автоматизована система керування.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати в системі холодопостачання;
- визначити планову величину споживання холоду;
- скласти баланс споживання холоду за технологіями, по підрозділам і об'єкта в цілому;
- оцінити ефективність споживання холоду;
- визначити потенціал енергозбереження;
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності.

Документальна інформація

- проектні рішення по системі холодопостачання, перспективи її розвитку;
- експлуатаційна документація;
- схема системи холодопостачання, ємність системи, тип тепловідвідного пристрою, холодоагент, що використовується, наявність проміжного холодоагенту і його характеристика.

Параметри, що вимірюються

Температура, витрата, рівень вібрації, тиск.

Приклад

- температура холоагента на виході/вході з випарника;
- стан градирень, трубопроводів і камер, обмерзання поверхні;
- величина підживлення охолоджувальної води;
- часова витрата лід-води установкою (процесом).

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- визначити наявність проектної документації і ознайомитися з нею;
- провести зовнішній огляд трубопроводів і холодильних установок;
- скласти:
 - список споживачів холоду;
 - схему транспортування холодоагенту із зазначенням її параметрів і точок передбачуваних вимірів;
 - схему обмінних процесів;
- побудувати добовий графік споживання холоду;
- визначити:
 - місця витіків холодоагенту і їхній обсяг;
 - питома споживання холоду;
- проаналізувати:
 - робочі параметри холодильних установок, їхні режими роботи і завантаження;
 - характеристики електроприводів компресорів, вентиляторів і насосів;
 - обсяги витіків;
 - питома споживання холоду;
 - графіки вироблення холоду;
 - режим роботи системи споживання холоду;
 - характеристики електроприводів компресорів, вентиляторів і насосів, системи регулювання температури у споживача;
 - дотримання параметрів холодильного циклу (настроювання дроселів), рівня рідини в конденсаторі і випарувачі;
 - наявність повітря в холодильному контурі;
 - температури на вході і виході і витрати охолоджувальної води;
 - стан градирень, трубопроводів і камер, обмерзання поверхні;
 - величини підживлення охолоджувальної води.

8.14

Оцінка ефективності використання енергії в технологічних процесах

Об'єкти для обстеження

- дугові установки;
- установки нагрівання опором;
- індукційні установки;
- режим електроспоживання.

Задачі енергоаудитора

- визначити втрати електроенергії та тепла (див. п. 8.2 Посібника);
- скласти баланс енергоспоживання (див. п. 8.2 Посібника);
- оцінити ефективність енергоспоживання;
- визначити потенціал енергозбереження (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 Посібника).

Документальна інформація

- проєктні рішення по електротермічним установкам;
- експлуатаційна документація;
- режимні карти;
- графік активного і реактивного навантаження;
- вплив електротермічного устаткування на показники якості електроенергії.

Параметри, що вимірюються

Напруга; струм; активна і реактивна потужність та електроенергія; частота; коефіцієнт потужності; показники якості електроенергії; швидкість; час; температура; маса; витрата.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності**використання енергії системою**

- провести зовнішній огляд об'єкта;
- визначити:
 - наявність проєктної документації і ознайомитися з нею;
 - перелік електротермічного устаткування, використаного в технологічних процесах;
 - стан ізоляції (футеровки);
 - величину електроспоживання і випуск продукції об'єктом за рік;
- побудувати:
 - графік роботи установки;
 - добові графіки навантаження активної та реактивної потужності;
 - добовий графік випуску продукції об'єктом;
 - енергетичний баланс об'єкта;
- здійснити вимірювання:
 - активної та реактивної потужності;
 - теплових втрат об'єктом;
 - показників якості електроенергії;
- розрахувати:
 - величину питомого електроспоживання;
 - параметри оптимального режиму роботи установки;
- проаналізувати:
 - величину питомого електроспоживання;
 - теплові втрати;
 - баланс електроспоживання;
 - вплив роботи печі на якість електроенергії;
 - можливість роботи установок як споживачів-регуляторів електричного навантаження;
 - відповідність режиму роботи установки паспортним характеристикам;
 - рівень механізації й автоматизації роботи печі.

8.15

Оцінка рівня енергоефективності будівель та споруд

Об'єкти для обстеження

- будинки;
- споруди;
- будівельні конструкції;
- інженерні системи будинків і споруд;
- режим експлуатації інженерних систем будинків і споруд.

Задачі енергоаудитора

- визначити теплові втрати через огорожувальні конструкції будівель (див. п. 6.6.6 Посібника);
- скласти тепловий баланс будівель та споруд (див. п. 8.2 Посібника);
- оцінити ефективність споживання теплової енергії будівель і споруд;
- визначити потенціал енергозбереження теплової енергії будівель і споруд (див. п. 8.17 Посібника);
- розробити рекомендації з впровадження заходів з енергоефективності (див. п. 8.17 Посібника).

Документальна інформація

- перелік будинків і споруд на об'єкті; їх призначення і технічна характеристика;
- проєктна документація і внесені до неї зміни;
- паспорт будівлі;
- звіт про стан огорожувальних конструкцій наявних будинків і споруд;
- звіт про стан підлог, покриттів, перекриттів;
- дані про рівень опору теплопередачі матеріалів огорожувальних конструкцій і теплозахисту світлових прорізів;
- середньомісячна кількість працюючих в будівлі та графік їх роботи;
- дані про комфортність праці в холодну пору року;
- дані про використання опалювальних приміщень не за призначенням;
- метеорологічна інформація.

Параметри, що вимірюються

- Лінійні розміри, швидкість, час, вологість, об'єм, температура, витрата, напруга, освітленість, сонячне випромінювання.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності**використання енергії системою**

- провести зовнішній огляд будівельних конструкцій будинків і споруд (віконні прорізи, засклення, перекриття та ін.);
- визначити:
 - наявність проєктної документації по будинках і спорудах і ознайомитися з нею;
 - категорію будинку (цех, адміністративний будинок і т. п.);
 - рік будівництва будівлі;

- кліматичні характеристики району;
- тривалість опалювального періоду;
- дані про системи забезпечення мікроклімату приміщень і способах їх регулювання;
- характеристики теплозахисту будинку;
- якість ізоляції огорожувальних конструкцій, заклення, ущільнення дверних і віконних прорізів;
- побудувати:
 - генеральний план об'єкта;
 - річний графік споживання ПЕР;
 - баланс споживання ПЕР;
- здійснити вимірювання:
 - розмірів та орієнтації будинку, поверховості, площі зовнішніх огорожувальних конструкцій;
 - площі вікон, середньої кратності повітрообміну за опалювальний період;
 - площі підлоги опалювальних приміщень;
 - фактичної температури зовнішнього повітря і приміщень;
 - витрат ПЕР за добу;
 - теплових втрат;
- розрахувати:
 - коефіцієнти теплопередачі стін, перекриттів, віконних прорізів;
 - розрахункову температуру внутрішнього і зовнішнього повітря;
 - втрати ПЕР;
 - питомих споживання ПЕР;
- проаналізувати:
 - баланс споживання ПЕР;
 - питомих споживання ПЕР;
 - відповідність теплозахисту й енергетичних параметрів будинку нормативним вимогам;
 - дані про систему освітлення будинку (якщо окремо система освітлення не обстежувалася).

Об'єкти для обстеження

- політика та програма енергозбереження та енергоменеджменту;
- структура СЕНМ;
- внутрішні нормативно-розпорядчі документи в сфері енергозбереження;
- система обліку та контролю ПЕР;
- матеріально-технічне забезпечення СЕНМ;
- навчально-методичне забезпечення.

Задачі енергоаудитора

- розробити рекомендації до впровадження та функціонування СЕНМ;
- розробити вимоги до контролю СЕНМ з боку керівництва;
- розробити рекомендації з організації навчання, перепідготовки і підвищення кваліфікації співробітників об'єкта, що споживає ПЕР в сфері енергозбереження;
- розробити рекомендації з мотивації та інформування співробітників об'єкта щодо раціонального використання ПЕР;

- визначити джерела фінансування функціонування СЕНМ;
- визначити достатність людських, технічних та фінансових ресурсів для функціонування СЕНМ.

Документальна інформація

- політика та програма енергозбереження та енергоменеджменту;
- внутрішні нормативно-розпорядчі документи в сфері енергозбереження;
- посадові інструкції керівників та співробітників об'єкта, що споживає ПЕР;
- проєктні рішення по створенню СЕНМ об'єкта, що споживає ПЕР;
- звітна документація;
- експлуатаційна документація;
- документація на контрольно-вимірювальну апаратуру;
- програми навчання, підготовки та перепідготовки співробітників об'єкта, що споживає ПЕР;
- положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників об'єктів, організацій та установ за економію ПЕР на виробництві;
- програмне та технічне забезпечення СЕНМ.

Дії енергоаудитора під час проведення оцінки ефективності

використання енергії системою

- визначити наявність:
 - проєктної документації на СЕНМ і ознайомитися з нею;
 - політики та програми енергозбереження та енергоменеджменту;
 - плану аудиту СЕНМ;
 - навчального плану в сфері енергоефективності;
 - положення про стимулювання працівників об'єкта за економію ПЕР на виробництві;
 - програмного та технічного забезпечення СЕНМ;
 - вимог до закупівель та проєктування в сфері енергоефективності;
- проаналізувати:
 - політику та програму енергозбереження та енергоменеджменту;
 - стан внутрішніх нормативно-розпорядчих документів в сфері енергозбереження та відповідність їх законодавству України;
 - ефективність структури СЕНМ;
 - посадові інструкції керівників та співробітників об'єкта, що споживає ПЕР;
 - рівень забезпеченості об'єкта, що споживає ПЕР, спеціалістами з метрологічного забезпечення системи обліку та контролю;
 - стан матеріально-технічного забезпечення СЕНМ;
 - стан системи обліку та контролю ПЕР;
 - стан навчально-методичного забезпечення;
 - програму навчання, підготовки та перепідготовки співробітників об'єкта, що споживає ПЕР;
 - положення про стимулювання окремих працівників об'єкта, що споживає ПЕР, за економію ПЕР на виробництві;
 - рівень забезпеченості СЕНМ людськими, технічними та фінансовими ресурсами;
- здійснити аналіз та оцінку переліку заходів з енергозбереження, впроваджених на об'єкті, що споживає ПЕР;
- здійснити аналіз та оцінку закупівель та проєктування в сфері енергоефективності.

8.17 Визначення можливостей для підвищення рів- ня енергетичної ефективності та оцінка потенціалу енергозбережен- ня промислового підприємства

8.17.1 Загальні положення



Згідно з ISO 50002:

Енергетичний аудитор повинен визначити можливості для підвищення рівня енергетичної ефективності на основі аналізу та:

- 1) власної компетентності та досвіду;
- 2) оцінки проєктних рішень і параметрів конфігурації для задоволення потреб системи;

Примітка 1. Мінімальне енергоспоживання для вироблення продукції або надання послуги системою.

- 3) періоду експлуатації, стану, роботи та рівня обслуговування перевірених об'єктів;
- 4) технології існуючих видів використання енергії у порівнянні з найбільш ефективними на ринку;
- 5) кращих практик, у тому числі, оперативного контролю та поведінки;
- 6) подальшого використання енергії та змін у роботі.

Примітка 2. Окрім можливостей для покращення рівня енергетичної ефективності можна також запропонувати альтернативні джерела енергії, перехід на альтернативні види палива, когенерацію, поновлювані джерела енергії тощо.

Виявлення під час енергетичного аудиту того чи іншого заходу з енергоефективності, незалежно від його специфіки, вказує на наявність на підприємстві потенціалу енергозбереження – розрахункової величини, що характеризує розмір зменшення споживання ПЕР, за умови реалізації цього заходу.

За видом впливу на сукупний потенціал енергозбереження заходи з енергоефективності поділяються на:

- взаємонезалежні – прийняття або відмова від одного з них ніяк не впливає на можливість або доцільність прийняття інших і на їх ефективність. Величина потенціалу енергозбереження групи взаємонезалежних заходів з енергоефективності має дорівнювати арифметичній сумі потенціалу енергозбереження окремих заходів;
- взаємовиключні – здійснення одного з них робить неможливим або недоцільним здійснення інших. Потенціал енергозбереження групи взаємовиключних заходів при виборі з цієї групи конкретного заходу дорівнює потенціалу енергозбереження обраного заходу;
- взаємодоповнюючі – можуть бути прийняті або відкинуті тільки одночасно. Взаємодоповнюючі заходи з енергоефективності необхідно попередньо об'єднати в групу заходів і згодом розглядати як єдиний захід;
- взаємовпливові – при їх спільній реалізації виникають додаткові (системні) позитивні або негативні ефекти, що не виявляються під час реалізації кожного із заходів окремо. При спільному виконанні взаємовпливових заходів потенціал енергозбереження групи заходів буде арифметичною сумою величин потенціалу енергозбереження зазначених заходів, реалізованих незалежно один від одного.

Потенціал енергозбереження можна розглядати за різними кваліфікаційними ознаками (див. таблицю 8.18):

- вид паливно-енергетичного ресурсу;
- рівень можливості реалізації заходів з енергоефективності;
- рівень використання потенціалу енергозбереження;
- період часу, для якого визначається потенціал енергозбереження;
- межі об'єкта, для якого визначається потенціал енергозбереження;
- одиниця виміру;
- міра можливого ефекту від енергозбереження.

Таблиця 8.18 –
Морфологічна матриця
класифікації потенціалів
енергозбереження

Класифікаційна ознака потенціалу		Вид потенціалу енергозбереження				
Позначення	Назва	1	2	3	4	5
A	Вид ПЕР	Електричний	Тепловий	Паливний	Енергетичний	Загальний
B	Рівень можливості реалізації	Теоретичний	Технологічно доступний	Економічно доцільний	Практичний	
C	Період часу	Річний	Сезонний	Квартальний	Місячний	Добовий
D	Межі об'єкта	Промислове підприємство	Розподільна мережа	Цех	Відділення	Установка, агрегат (апарат)
E	Одиниця виміру	Натуральна	Грошова	Відносна		
F	Міра можливого ефекту від енергозбереження	Технічний	Економічний	Екологічний	Поведінковий	

Користуючись цією матрицею, можна охарактеризувати будь-який із видів потенціалу енергозбереження.

Потенціал енергозбереження, в залежності від **виду ПЕР**, розділяється на електричний, тепловий, паливний, енергетичний і загальний потенціал енергозбереження.

Залежно від **рівня можливості реалізації заходів з енергоефективності**, спрямованих на усунення всіх можливих видів нераціонального використання ПЕР, виділяють такі види потенціалів енергозбереження: теоретичний, технологічно доступний, економічно доцільний і практичний. Розглянемо більш докладно кожний з них.

Теоретичний потенціал енергозбереження – це максимальний обсяг енергозбереження, що може бути досягнутий внаслідок усунення усіх видів нераціональних витрат ПЕР.

Технологічно доступний потенціал енергозбереження – це максимальний обсяг енергозбереження, що може бути отриманий внаслідок використання технічних і технологічних інновацій, що сприяють зменшенню споживання ПЕР.

Економічно доцільний потенціал енергозбереження – це максимальний обсяг енергозбереження, доцільність отримання якого на всіх ділянках промислового підприємства підтверджується відповідними економічними розрахунками.

Практичний потенціал енергозбереження – це максимальний обсяг енергозбереження, що може бути отриманий на діючому обладнанні, з урахуванням коефіцієнтів використання, зносу, завантаження, забезпечення сировиною, економічного і фінансового стану промислового підприємства.

Залежно від **періоду часу**, за який необхідно оцінити потенціал енергозбереження, можна виділити: річний, сезонний, квартальний, місячний і добовий.

В залежності від **меж об'єкта** доцільно виділити потенціал енергозбереження: підприємства, розподільних мереж підприємства, цеху, відділення, установки, агрегата (апарата) тощо.

Для оцінки **міри можливого ефекту від енергозбереження** виділяють технічний, економічний, екологічний і поведінковий потенціал енергозбереження. Розглянемо більш докладно кожний із них.

Технічний потенціал енергозбереження визначає максимальні технічні можливості енергозбереження, що можуть бути реалізовані за фіксований період часу, і залежить від темпів та досягнень науково-технічного прогресу.

Економічний потенціал енергозбереження визначається тільки рентабельною частиною технічного потенціалу, освоєння якої залежить від наявності інвестицій. Таким чином, величина економічного потенціалу менше технічного й обмежується вимогами, що висуваються до окупності капіталовкладень в енергоефективність.

Екологічний потенціал енергозбереження визначається максимально можливим зниженням навантаження на довкілля, що здійснюється підприємством завдяки впровадженню заходів з енергоефективності. До такого навантаження відносяться викиди парникових газів (CO₂, N₂O, CH₄, SF₆, ГФВ, ПФВ) та шкідливих речовин (CO, NO_x, SO₂ тощо), забруднення води, ґрунтів тощо.

Поведінковий потенціал енергозбереження визначається мірою усвідомлення актуальності проблеми енергоефективності всіма співробітниками підприємства, а також узгодженістю їхніх дій щодо реалізації комплексу заходів з енергоефективності.

Всі зазначені ефекти від заходів з енергоефективності в значній мірі взаємопов'язані. Сумарний ефект заходів складається із сукупності окремих ефектів, і в ряді випадків додаткові часткові ефекти можуть бути більш важливими і значущими для підприємства. З прийнятною точністю можна визначити тільки технічний (енергетичний) ефект, інші визначаються або на його основі, або іншими способами і методами. У зв'язку з цим, будь-який розрахунок ефективності заходу починається з визначення саме енергетичних ефектів від реалізації заходів.

8.17.2

Виявлення можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності та розроблення заходів з енергоефективності

Зазвичай **заходи з енергоефективності**²⁵ – це дії, що сприяють зменшенню обсягів витрат та нераціонального використання ПЕР виробничими і допоміжними підрозділами, технологічними процесами та окремими споживачами, або більш раціонального їх використання. В загальному випадку ці заходи можуть бути спрямовані як на збільшення можливого обсягу енергозбереження в загальному (наприклад, заходи щодо популяризації енергоефективності), так і на економію окремих видів ПЕР або на економію ПЕР на різні потреби, наприклад, опалення або освітлення.

Під розробленням заходів з енергоефективності в цьому Посібнику будемо розуміти виконання таких завдань:

- оцінка варіантів проєктування та конфігурації для вирішення системних потреб;
- оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності, пов'язаної зі змінами обладнання, системи чи технології;
- розрахунок економії та ефектів (включаючи неенергетичні ефекти);
- розрахунок простого терміну окупності;
- розрахунок NPV;
- розрахунок IRR.

Всі можливі заходи з енергоефективності умовно можуть бути поділені на:

- «пасивні» – заходи, що дозволяють знижувати необхідну розрахункову потужність інженерних систем освітлення, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря;
- «активні» – заходи, що забезпечують зниження споживання енергоресурсів в процесі експлуатації за допомогою регулювання тепло-, електро- або водоспоживання;
- додаткові технічні заходи, що забезпечують економію енергоресурсів за рахунок використання відходів, вторинних, поновлюваних енергоресурсів;
- організаційно-інформаційні та нетехнічні заходи стимулювання енергозбереження.

Під час розроблення заходів з енергоефективності необхідно:

- розрахунковим шляхом визначити фактичні показники енергоефективності виробництва (робіт, послуг) споживача енергетичних ресурсів;
- визначити технічну суть передбачуваного удосконалення (варіантів) і принципи отримання економії;
- визначити розрахунковим способом для кожного з заходів з енергоефективності (для кожного із запропонованих варіантів) прогнозні показники енергоефективності, які планується отримати за рахунок впровадження заходів з енергоефективності;
- розрахувати критерії ефективності і відносний потенціал енергозбереження для кожного енергозберігаючого заходу;
- вибрати найбільш ефективний варіант енергозберігаючого заходу на підставі отриманих критеріїв ефективності і величинах відносного по потенціалу енергозбереження.
- розрахувати величину абсолютного потенціалу енергозбереження запропонованих заходів з енергоефективності.

Потенціал енергозбереження визначається розрахунковим способом, на підставі розроблених за результатами енергетичного аудиту заходів з енергоефективності, що спрямовані на зменшення обсягів споживання ПЕР або більш раціональне їх використання.

Розрахунок енергетичних ефектів від реалізації заходів з енергоефективності може здійснюватися за допомогою таких методів:

- 1) з використанням даних про отримані ефекти при реалізації подібних проєктів і заходів на інших об'єктах²⁶;
- 2) за допомогою балансових методик, питомих показників та інших фізичних законів;

²⁵ В ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення» та ДСТУ ISO 50047:2011 (ISO 50047:2016, IDT) «Енергозбереження. Визначення обсягів енергозбереження в організаціях» замість терміну «заходи з енергоефективності» застосовано термін «заходи з поліпшення енергорезультативності», під яким розуміють дії або заходи, реалізовані чи заплановані в межах підприємства, призначені для поліпшення енергорезультативності завдяки реалізації технологічних, управлінських, поведінкових, економічно вигідних або інших змін.

²⁶ Для енергоаудитора корисно самостійно накопичувати інформацію щодо результатів попередніх проєктів, що були реалізовані власними силами, так й іншими спеціалістами.

- по вимірвальним методикам (в тому числі наведеними в ДСТУ ISO 50015:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня досягнутої/досяжної енергоефективності організацій. Загальні принципи та настанова (ISO 50015:2014, IDT).

Перший спосіб доступний для широкого застосування, другий – застосовується в основному фахівцями при розрахунку проектів і підборі необхідних заходів, третій – для енерго-сервісних компаній, яким необхідний точний розрахунок обсягів енергозбереження. Точний вибір параметрів ефективності перспективних проектів з енергоефективності, як правило, неможливий, оскільки завжди є ризики погіршення фактичних показників у порівнянні з запланованими їх значеннями у зв'язку з неякісним монтажем, неоптимальними режимами експлуатації обладнання тощо. З метою отримання гарантованих ефектів рекомендується обирати найбільш песимістичні значення з можливих діапазонів підвищення ефективності.

Визначення досягнутого ефекту від реалізації заходів (економія, потенціал енергозбереження) необхідно для розрахунку терміну окупності заходів з енергоефективності, для порівняння планових показників енергоефективності з фактичними.

8.17.3 Виявлення можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності та розроблення заходів з енергоефективності

Відповідно до ДСТУ ISO 50047:2020 (ISO 50047:2016, IDT) «Енергозбереження. Визначення обсягів енергозбереження в організаціях» Існують два підходи до визначення обсягів (потенціалу) енергозбереження:

- підхід на основі цілей підприємства: зміна загального енергоспоживання підприємства або її складових частин («висхідний» підхід);
- підхід на основі заходів з енергоефективності: поєднання обсягів енергозбереження від визначених заходів («спадний» підхід).

На рисунку 8.11 показано блок-схему процесу визначення обсягів енергозбереження за методикою, наведеною в стандарті ДСТУ ISO 50047:2020.

Підхід на основі цілей підприємства зазвичай використовують у таких випадках:

- для періодичної звітності щодо обсягів енергозбереження підприємства в її межах відповідно до законодавчих або інших вимог;
- для оцінювання обсягів енергозбереження підприємства як частини системи енергетичного менеджменту.

Підхід на основі заходів з енергоефективності зазвичай використовують для визначення впливу одного або декількох заходів на обсяги енергозбереження підприємства. Підприємство повинно враховувати всі заходи, які позитивно або негативно впливають на енергорезультативність в межах цього підприємства. Заходи з енергоефективності можуть також охоплювати дії з поліпшення експлуатаційних характеристик та реконструкції. Підприємство може прагнути визначити всі дії, які впливають на енергорезультативність.

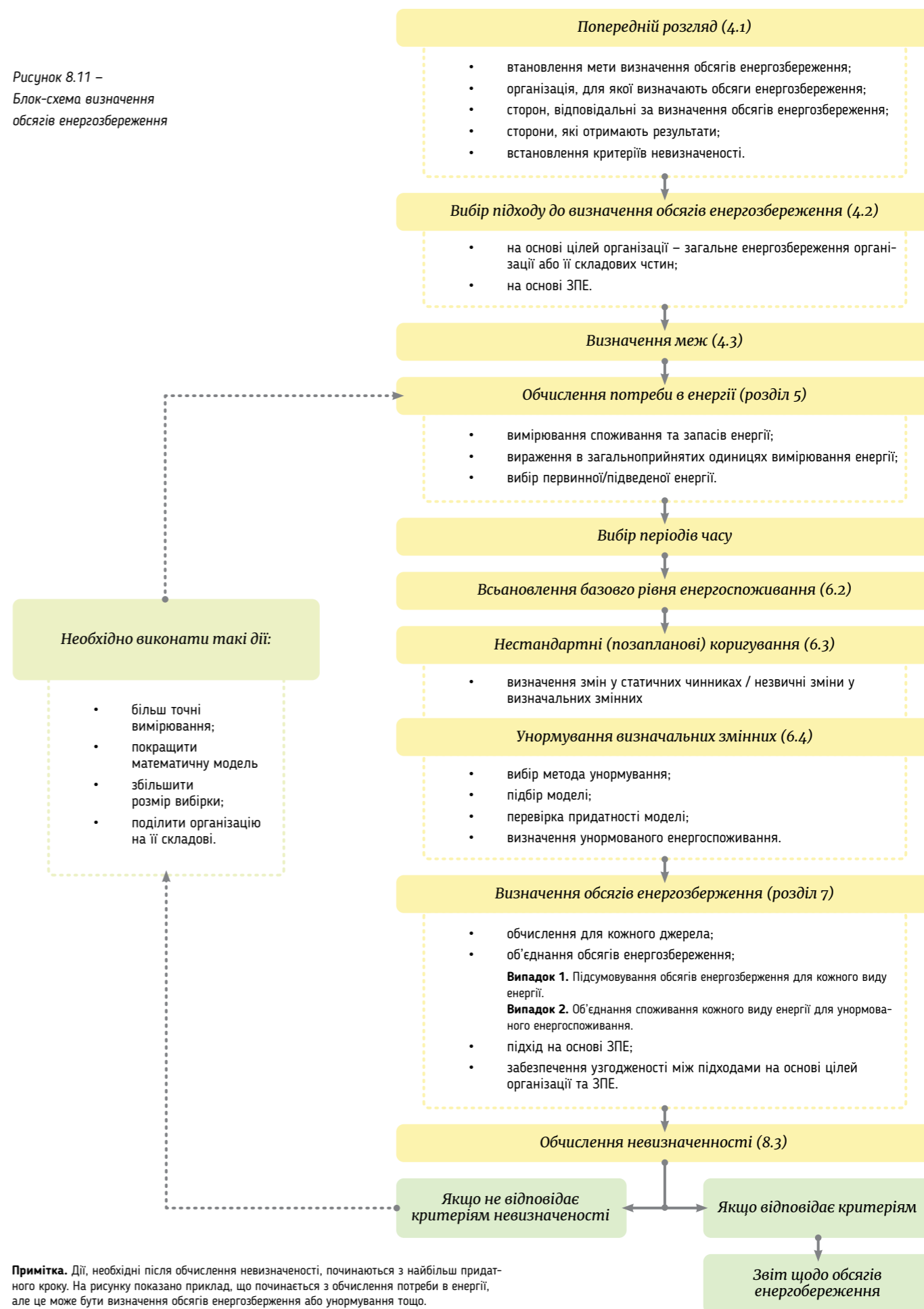
Не завжди доцільним є вимірювання обсягу енергозбереження від кожного окремого заходу з енергоефективності. У таких випадках можна використати обсяг енергозбереження на основі репрезентативної вибірки. Вибірку можна здійснювати такими методами:

- у часовому сенсі (часі), наприклад, вимірювання відбувається протягом певного часу;
- у фізичному сенсі.

Обсяг енергозбереження визначається різницею в споживанні енергії між двома порівнянними періодами часу (базовий період і наступний звітний період), які є еквівалентними за тривалістю. Між базовим та звітним періодами організація може вжити або не вжити один чи більше заходів.

Якщо підхід на основі заходів з енергоефективності використовують для визначення обсягів енергозбереження підприємства, то для кожного з заходів з енергоефективності може знадобитися окремий базовий рівень енергоспоживання.

Рисунок 8.11 –
Блок-схема визначення обсягів енергозбереження



Базовий рівень енергоспоживання можна визначити:

- використовуючи фіксований період (зазвичай репрезентативний рік);
- використовуючи середню кількість періодів (якщо окремий період не є репрезентативним).

При визначенні можливого обсягу енергозбереження, досягнутого в результаті реалізації заходів з енергоефективності, повинні враховуватися наступні чинники:

- 1) зміна режимів функціонування та (або) функціонального призначення енергоспоживаючих установок, обладнання та процесів;
- 2) зміна кількості споживачів енергоресурсів (наприклад, зміна чисельності персоналу);
- 3) зміна площі і обсягів приміщень (наприклад, при введенні в експлуатацію нових або реконструйованих будівель і виведення з експлуатації старих та аварійних будівель);
- 4) суттєва зміна погодних умов – середньодобової температури зовнішнього повітря, середньодобової температури зовнішнього повітря в опалювальний період, градусо-добу на опалення та охолодження тощо.

8.17.4
Коригування базового рівня енергоспоживання та унормування визначальних змінних під час визначення потенціалу енергозбереження окремих структурних одиниць промислового підприємства

Нижче розглянуто основні види коригування базового рівня енергоспоживання та унормування визначальних змінних під час визначення потенціалу енергозбереження, які детально описано в ДСТУ ISO 50047:2020 (ISO 50047:2016, IDT) «Енергозбереження. Визначення обсягів енергозбереження в організаціях».

Нестандартні (позапланові) коригування

Протягом базового та звітних періодів на споживання енергії можуть впливати визначальні змінні та статичні чинники. Для врахування змін у визначальних змінних застосовують унормування.

Нестандартні (позапланові) коригування щодо споживання енергії виконують в базовому та/або звітному періодах, якщо:

- між двома періодами змінилися статичні чинники;
- визначальні змінні були предметом незвичайних змін принаймні в одному з двох періодів.

Звичайне нестандартне (позапланове) коригування базового рівня енергоспоживання є результатом змін меж, наприклад, внаслідок продажу або купівлі дочірніх компаній, розширення, відкриття або закриття фабрик, заводів або інших приміщень організацією, або аутсорсинг чи інсорсинг діяльності.

Приклад

У базовому періоді компанія володіє парком транспортних засобів. Протягом звітних періодів вона передала цю діяльність зовнішній компанії-постачальнику. Щоб бути послідовними, необхідно або не враховувати паливо, яке компанія використовує для транспортування в базовому періоді, або враховувати енергоспоживання компанії-постачальника.

Статичні чинники контролюють щодо зміни протягом усього звітних періоду. Причини, методи і припущення, використані під час виконання нестандартних (позапланових) коригувань, треба документувати.

Унормування визначальних змінних

На споживання енергії впливають визначальні змінні. Унормування застосовують так, щоб вплив аномальних значень визначальних змінних можна було вилучити з енергоспоживання для порівняння між базовим періодом та звітними періодами.

Приклад

Для мінливих погодних умов можна використовувати градусо-добу як визначальну змінну для унормування споживання енергії в будівлях, де значна частина енергії, що використовується в будівлі, – для опалення або охолодження приміщення.

Статистичні випробування (наприклад, критерій р-значення) можуть бути корисними під час вирішення, які визначальні змінні (якщо такі є) суттєво впливають на споживання енергії і повинні використовуватися для унормування.

В залежності від мети визначення обсягів енергозбереження може бути доцільним унормувати:

- споживання енергії за базовий період (див. прогнозне унормування);
- споживання енергії за звітний період (див. ретроспективне унормування);
- споживання енергії за базовий період та звітний період (див. унормування відповідно до вихідних умов).

У таблиці 8.19 наведено стислий виклад методів унормування.

Таблиця 8.19 –
Стислий виклад
методів унормування

Критерії	Метод унормування		
	Прогнозний	Ретроспективний	Відповідно до вихідних умов
Енергоспоживання звітного періоду	Фактичне енергоспоживання звітного періоду	Модель для звітного періоду з урахуванням умов базового періоду	Модель для звітного періоду з урахуванням вихідних умов
Енергоспоживання базового періоду	Модель для базового періоду з урахуванням умов звітного періоду	Фактичне енергоспоживання базового періоду	Модель для базового періоду з урахуванням вихідних умов
Припущення щодо режимів та результатів роботи обладнання	Режими та результати роботи обладнання в базовому періоді	Режими та результати роботи обладнання в звітному періоді	Режими та результати роботи обладнання в базовому та звітному періодах з урахуванням вихідних умов

Три різні методи не дадуть однакових результатів. Якщо визначення обсягів енергозбереження повторюється з часом, то метод унормування не повинен змінюватися. Обраний метод має бути задокументовано, і якщо він змінюється, то причини потрібно зафіксувати документально.

У деяких випадках складно унормувати загальну енергію, спожиту промисловим підприємством, за допомогою єдиної моделі.

Ситуації, в яких унормування до підсумовування обсягів енергоспоживання може бути прийнятним підходом, включають таке:

- відмінності в умовах базового та звітного періодів;
- кількість, складність і взаємодія змінних, що впливають на енергоспоживання;
- відмінності в продукції, що виробляється складовими частинами промислового підприємства;
- відмінності в системах використання енергії;
- відмінності у видах використовуваної енергії;
- умови, що відрізняються за місцем розташування виробничого майданчика (наприклад, кількість градусо-днів).

У цих випадках поділ підприємства на складові частини на основі систем енерговикористання, організаційних вимог або виробничих майданчиків та роздільне унормування енергоспоживання перед визначенням обсягів енергозбереження в сукупності спростить модель і допоможе зменшити невизначеність визначення обсягів енергозбереження.

Приклад

Організація, що виробляє та продає меблі, може унормувати споживання енергії на своїх виробничих підприємствах щодо кількості вироблених одиниць, а її салони можуть унормувати споживання енергії щодо погоди (кількість градусо-днів).

Якщо прийнято рішення не проводити унормування під час визначення обсягів енергозбереження, то це необхідно документувати та використовувати послідовно.

Якщо потрібні нескориговані обсяги енергозбереження, то унормування для визначальних змінних може бути не дозволено. Будь-яка така вимога має бути задокументована і представлена у звіті.

Прогнозне унормування (звітний період)

Метод прогнозного унормування порівнює фактичне енергоспоживання звітного періоду з унормованим енергоспоживанням базового періоду. Унормованим енергоспоживанням базового періоду є розрахункове енергоспоживання з використанням визначальних змінних звітного періоду, обладнання, що працює, та відповідні практики базового періоду.

Примітка. Терміни «розрахункове», «очікуване» і «передбачене» часто використовують як взаємозамінні. У цьому Посібнику термін «розрахункове енергоспоживання» стосується значення, яке можна очікувати або передбачити.

Цей метод вимагає розроблення моделі, яка описує споживання енергії як функцію визначальних змінних для базового періоду. Цю модель потім використовують для обчислення розрахункового енергоспоживання за базовий період в умовах звітного періоду.

Ретроспективне унормування (базовий період)

Метод ретроспективного унормування порівнює фактичне енергоспоживання базового періоду з унормованим енергоспоживанням звітного періоду. Унормованим енергоспоживанням звітного періоду є розрахункове енергоспоживання з використанням рівнів визначальних змінних базового періоду так, ніби у базовому періоді використовувалось би обладнання, що працює, та практики звітного періоду.

Як і у випадку прогнозного унормування, цей метод вимагає розроблення моделі, яка описує споживання енергії як функцію визначальних змінних, але в цьому разі для звітного періоду. Цю модель потім використовують для обчислення розрахункового енергоспоживання за звітний період в умовах базового періоду.

Ретроспективне унормування може бути корисним, якщо об'єкт має обмежені дані щодо споживання енергії та відповідних визначальних змінних для базового періоду, і в той же час докладні дані щодо споживання енергії та відповідних визначальних змінних для звітного періоду.

Приклад 1

Ретроспективне унормування можна застосовувати, якщо є щомісячні або більш детальні дані, які відповідають даним енергоспоживання за звітний період, але за базовий період є тільки дані щодо річного енергоспоживання та виробництва.

Приклад 2

Ретроспективне унормування може бути необхідним, якщо базовий період був зафіксований законодавчими або іншими вимогами (наприклад, уряд, який вимагає, щоб складали звіти про всі обсяги енергозбереження, отримані компаніями, відносно базового 1990 року).

Унормування відповідно до вихідних умов

Цей метод унормує споживання енергії як для базового періоду, так і для звітного періоду, використовуючи набір контрольних умов, і порівнює їх.

Для цього методу необхідно встановити вихідні умови, які відображають типові попередні та ймовірні майбутні умови. Вихідні умови, які можна розглянути, охоплюють таке:

- рівні виробництва;
- погода: використання типового метеорологічного року.

Приклад

Цей підхід корисний, якщо на енергозбереження впливають погодні умови, які можуть бути м'якими, екстремальними або типовими. Прогнозне або ретроспективне унормування дають змогу обчислити обсяги енергозбереження, використовуючи погодні умови у базовому або звітному періоді, відповідно. Такої погодної залежності обсягів енергозбереження можна уникнути, використовуючи метод вихідних умов та унормування відповідно до типового метеорологічного року або інших вихідних умов.

Метод вихідних умов є корисним для безперервного відстеження обсягів енергозбереження, оскільки він не залежить від умов базового періоду.

Вибір вихідних умов треба обґрунтувати, задокументувати і представляти у звіті.

8.17.5
Оцінка технологічно доступного потенціалу енергозбереження промислового підприємства

Під оцінкою технологічно доступного потенціалу енергозбереження²⁷ промислового підприємства будемо розуміти визначення величини максимально можливого обсягу енергозбереження, отриманого за встановлений проміжок часу, за умови оптимального використання найкращих доступних технологій та методів управління (BAT – best available techniques²⁸), виконання технічних і технологічних вимог, а також вимог до якості продукції, охорони праці та екологічних вимог.

Може бути економічно неефективним контролювати обсяги енергозбереження (наприклад, встановленням додаткового вимірювання) від усіх одиниць подібного обладнання, якщо модернізації підлягає значна їх кількість. У такому випадку можна взяти вибірку меншої кількості подібного обладнання. Якщо дані з вибірки виявляються репрезентативними, то обсяг енергозбереження репрезентативної вибірки обладнання може бути екстрапольовано для отримання загального обсягу енергозбереження.

Одним із перших завдань, які необхідно вирішити під час оцінки потенціалу енергозбереження, є уніфікація одиниці його виміру.

На практиці найбільш поширеним є оцінка потенціалу в натуральному вираженні, тобто за допомогою можливої кількості заощаджених ПЕР. Такий підхід дозволяє визначити величину потенціалу енергозбереження за показником, що найбільшою мірою відображає накопичення обсягів енергозбереження в певних виробничих межах.

Однак, в цьому випадку можливі такі ситуації, коли обсяг енергозбереження однієї дільниці підприємства виміряний у тоннах умовного палива (т у. п.), а іншої – у кіловат-годинах (кВт·год) або гікалоріях (Гкал). У цьому випадку виключається можливість безпосереднього порівняння потенціалів енергозбереження між окремими їхніми підрозділами.

Тому обсяги енергозбереження мають бути виражені в загальноприйнятих одиницях вимірювання енергії (наприклад, кВт·год). Тоді основні формули для підсумовування обсягів енергозбереження одного і-го виду енергії, наведено в таблиці 8.20.

Таблиця 8.20 – Формули для визначення обсягів енергозбереження одного виду ПЕР

	Метод унормування		
	Прогнозний	Ретроспективний	Відповідно до вихідних умов
Обсяги енергозбереження	$E_{(b,i,n)} - E_{(r,i)}$	$E_{(b,i)} - E_{(r,i,n)}$	$E_{(b,i,n)} - E_{(r,i,n)}$

Умовні позначки:

$E_{(b,i)}$ — споживання ПЕР *i*-го виду в базовому періоді

$E_{(r,i)}$ — споживання ПЕР *i*-го виду у звітному періоді

$E_{(b,i,n)}$ — унормоване споживання ПЕР *i*-го виду в базовому періоді

$E_{(r,i,n)}$ — унормоване споживання ПЕР *i*-го виду у звітному періоді

Примітка. Якщо у звітний період використано більше ПЕР, ніж у період дії базового рівня енергоспоживання, то обчислення покаже від'ємний обсяг енергозбереження.

Якщо є декілька видів ПЕР, то обсяги енергозбереження можна визначити одним з двох способів:

- **Спосіб 1:** Визначити обсяг енергозбереження кожного виду ПЕР після унормування, представити їх у загальноприйнятих одиницях і підсумувати їх для отримання загальних обсягів енергозбереження;
- **Спосіб 2:** Після вираження в загальноприйнятих одиницях об'єднати споживання кожного виду ПЕР, унормувати його, щоб визначити обсяги енергозбереження.

²⁷ Тут і далі буде йти мова саме про технологічно доступний потенціал енергозбереження, тому далі по тексту словосполучення «технологічно доступний» опустимо.

²⁸ The list of the Best Available Techniques (BAT) reference documents (<https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>).

У будь-якому разі унормування можна здійснити, використовуючи будь-який з методів, описаних у стандарті ДСТУ ISO 50047:2020. Обидва способи можна також застосовувати у разі використання або первинної, або підведеної енергії.

Для способу 1 застосовують методи унормування з таблиці 8.21.

Таблиця 8.21 –
Формули для визначення
обсягів енергозбереження
для декількох видів енергії:
Спосіб 1

	Метод унормування		
	Прогнозний	Ретроспективний	Відповідно до вихідних умов
Обсяги енергозбереження	$\sum(E_{(b,i,n)} - E_{(r,i)})$	$\sum(E_{(b,i)} - E_{(r,i,n)})$	$\sum(E_{(b,i,n)} - E_{(r,i,n)})$

Приклад

В адміністративній будівлі газ використовують тільки на потреби опалення, а електроенергію використовують для всіх інших потреб. Може бути доцільним унормувати споживання газу, використовуючи градусо-доби опалення як в базовому, так і в звітному періодах. При цьому споживання електроенергії не нормується, а споживання газу та електроенергії буде виражено в загальноприйнятих одиницях вимірювання ПЕР.

Для способу 2 застосовують методи унормування з таблиці 8.22.

Таблиця 8.22 –
Формули для визначення
обсягів енергозбереження
для декількох видів енергії:
Спосіб 2

	Метод унормування		
	Прогнозний	Ретроспективний	Відповідно до вихідних умов
Обсяги енергозбереження	$(\sum E_{(b,i)})_n - \sum E_{(r,i)}$	$\sum E_{(b,i)} - (\sum E_{(r,i)})_n$	$(\sum E_{(b,i)})_n - (\sum E_{(r,i)})_n$

Крім того, оцінку потенціалу енергозбереження можна здійснювати у відносному і вартісному вираженні.

Приклад

Для виробництва продукції на підприємстві одночасно використовується як газ (печами, котлом тощо), так і електроенергія (для охолодження та використання в електроприводах технологічного обладнання). У цьому випадку доцільним буде виразити в загальноприйнятих одиницях обсяги енергоспоживання для електроенергії та газу, а потім унормувати загальне енергоспоживання (сумарне енергоспоживання газу і електроенергії).

Оцінка у **відносному вираженні** передбачає використання питомої ваги обсягів енергозбереження в загальному споживанні ПЕР (тобто частки, що становлять резерви енергозбереження в загальному споживанні ПЕР).

Оцінка потенціалу енергозбереження у **вартісному вираженні** припускає використання вартісних еквівалентів одиниці обсягів енергозбереження (наприклад, тарифів на ПЕР).

Для цілей енергоаудиту найбільш поширеною є оцінка потенціалу енергозбереження на основі заходів з енергоефективності. Тому розглянемо цей підхід більш детально.

Потенціал енергозбереження промислового підприємства в деякий момент часу t – це сукупність обсягів енергозбереження окремих його елементів. Очевидно, що величина загального потенціалу енергозбереження промислового підприємства в певний момент часу²⁹ t визначається як сума фізичних значень обсягів його складових елементів.

Основні формули для визначення сумарного обсягу енергозбереження від декількох заходів з енергоефективності окремих елементів промислового підприємства наведено в таблиці 8.23.

Таблиця 8.23 –
Формули для визначення
обсягів енергозбереження
від декількох заходів
з енергоефективності

	Метод унормування		
	Прогнозний	Ретроспективний	Відповідно до вихідних умов
Обсяги енергозбереження	$\sum(E_{(b,j)} - E_{(r,j)})$	$\sum(E_{(b,j)} - E_{(r,j,n)})$	$\sum(E_{(b,j,n)} - E_{(r,j,n)})$

Умовні позначки:

$E_{(b,j)}$ — споживання енергії в межах j -го заходу з енергоефективності у базовому періоді

$E_{(r,j)}$ — споживання енергії в межах j -го заходу з енергоефективності у звітному періоді

$E_{(b,j,n)}$ — унормоване енергоспоживання в межах j -го заходу з енергоефективності в базовому періоді

$E_{(r,j,n)}$ — унормоване енергоспоживання в межах j -го заходу з енергоефективності у звітному періоді

²⁹ Для виключення надмірного ускладнення математичних виразів далі по тексту індекс t буде опущений, а всі виклади будуть приводитися для певного конкретного моменту часу.

Формули, наведені в таблиці 8.23, можна використовувати без коригування тільки якщо один з заходів з енергоефективності не впливає на енергоспоживання в межах іншого заходу і навпаки. В іншому випадку необхідно внести поправки для врахування непрямих енергетичних ефектів та виправлення подвійного обліку.

Більш детально порядок врахування непрямих енергетичних ефектів та виправлення подвійного обліку описано в ДСТУ ISO 50047:2020 (ISO 50047:2016, IDT) «Енергозбереження. Визначення обсягів енергозбереження в організаціях».

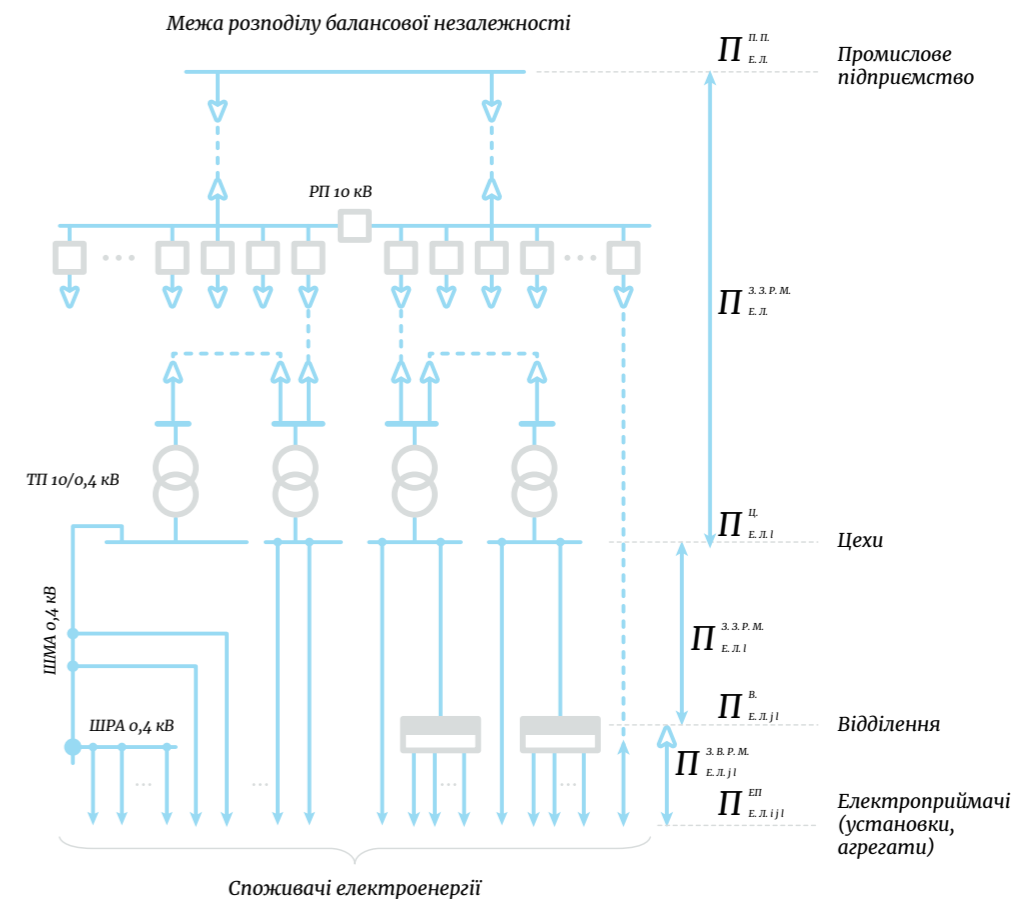
У загальному вигляді ієрархічна схема оцінки потенціалу енергозбереження на різних рівнях функціонування системи енергопостачання промислового підприємства зображена на рисунку 8.12.



Рисунок 8.12 – Ієрархічна схема оцінки потенціалу енергозбереження на різних рівнях функціонування системи енергопостачання промислового підприємства

Розглянемо приклад оцінки сумарного електричного потенціалу енергозбереження промислового підприємства для узагальненої схеми електропостачання, представленої на рисунку 8.13.

Рисунок 8.13 – Узагальнена ієрархічна схема оцінки електричного потенціалу енергозбереження на різних рівнях системи електропостачання промислового підприємства



Відповідно до ієрархічної схеми, наведеної на рисунку 8.13, сумарний електричний потенціал енергозбереження промислового підприємства визначається за виразом:

$$P_{ел. сум.}^{п.п.} = P_{ел. сум.}^{з.з.р.м.} + \sum_{l=1}^L \left[P_{ел.1}^{ц.} + P_{ел.1}^{з.з.р.м.} + \sum_{j=1}^J \left(P_{ел.1}^{в.} + P_{ел.1}^{з.в.р.м.} + \sum_{i=1}^I P_{ел.1}^{еп.} \right) \right]$$

де $P_{ел. сум.}^{п.п.}$ – сумарний електричний потенціал енергозбереження промислового підприємства;

$P_{ел. сум.}^{з.з.р.м.}$ – сумарний обсяг енергозбереження (для електроенергії) загальнозаводської розподільної мережі промислового підприємства;

$P_{ел. l}^ч$ – обсяг енергозбереження (для електроенергії) l -го цеху промислового підприємства;
 $P_{ел. l}^{з.ч.р.м.}$ – обсяг енергозбереження (для електроенергії) загальноцехової розподільної мережі l -го цеху промислового підприємства;
 $P_{ел. j. l}^в$ – обсяг енергозбереження (для електроенергії) j -го відділення l -го цеху;
 $P_{ел. j. l}^{з.в.р.м.}$ – обсяг енергозбереження (для електроенергії) загальних розподільних мереж j -го відділення l -го цеху;
 $P_{ел. i. j. l}^{еп.}$ – обсяг енергозбереження (для електроенергії) i -го електроприймача (установки, агрегата, апарата), розташованого у j -му відділенні l -го цеху.
 Приклад визначення обсягу енергозбереження (для електроенергії) типових електроприймачів промислових підприємств показано в таблиці 8.24.

Таблиця 8.24 –
 Приклад визначення
 електричного потенціалу
 енергозбереження для типових
 споживачів електроенергії

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Компресорні установки	
Компресор — загальна повітряна мережа. Споживачі забезпечуються стисненим повітрям різного тиску. Споживання стисненого повітря з тиском, вищим за необхідний, призводить до непродуктивних витрат електроенергії	Пониження тиску стисненого повітря у тих споживачів, де він вищий за необхідний, може виконуватись за допомогою редуктора, інжектора, дроселя або регуляторів тиску. Втрати енергії при використанні стисненого повітря з тиском, вищим за номінальний, становлять, кВт*год/рік: $\Delta E = \frac{1,1(A_1 - A_2)60Qt}{367200\eta_e\eta_{ep}\eta_m\eta_i}$ <p>де 1,1 — коефіцієнт, який враховує витрати електроенергії, що були витрачені з врахуванням спрацювання обладнання і на освітлення компресорної; $A_1 - A_2$ — робота, яка необхідна для стиснення 1 м³ повітря, Дж/м³ (визначається з характеристики компресора); Q — подача компресора, м³/хв; t — час роботи за рік, год; $\eta_e, \eta_{ep}, \eta_m, \eta_i$ — ККД відповідно електричної мережі, електродвигуна і передачі (0,8–0,9); η_m — механічний (0,85–0,95) та η_e — індикаторний (0,83–0,87) ККД компресора. Економія електроенергії дорівнює величині її втрат.</p>
Поршневі компресор. У всмоктувальній системі виникають коливання повітря внаслідок швидкості поршня, яка змінюється (від нуля до максимуму і навпаки)	Встановлення резонаторів на всмоктувальному трубопроводі підвищує тиск повітря біля клапанів у кінці ходу всмоктування, завдяки чому наповнення циліндра збільшується, і продуктивність компресора підвищується. Система резонаторів включає в себе (за ходом руху повітря) ємність великої місткості, трубопровід, ємність малої місткості, трубопровід. Оптимальна місткість резонаторів визначається дослідним шляхом. Скорочення питомих витрат електроенергії на 3–5 % при одночасному підвищенні подачі на 5–8 %.
Поршневі компресор з кільцевими або дисковими клапанами	Площі прохідних перерізів клапанів недостатні, в результаті знижується подача компресора. Недолік усувається встановленням прямооточних клапанів замість кільцевих (пластинчастих). Питомі витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря знижуються на 13–15 %, подача збільшується на 10 %.

Продовження таблиці 8.24

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Теплова ізоляція повітряної мережі	Теплова ізоляція повітропроводу дозволяє подати споживачу стиснене повітря з підвищеною температурою. При цьому зменшуються витрати повітря, а внаслідок цього і витрати електроенергії. Зменшення витрат повітря зумовлено фізичним процесом, який пов'язаний з температурним розширенням повітря. Економія електроенергії, кВт*год $\Delta E = 0,22 \cdot Q \cdot \Delta t^0 \cdot \omega \cdot t$ <p>де Q — витрати повітря, м³/хв; Δt^0 — різниця температур до і після теплової ізоляції; ω — питомі витрати електроенергії, кВт*год/м³; t — тривалість роботи компресора за рік, год.</p>
Заміна стисненого повітря іншими енергоносіями	Заміна пневматичного інструмента, який має низький ККД, на електричний інструмент; середня економія електроенергії — 7–10 %.
Заміна стисненого повітря вентиляторним дуттям	Для окремих процесів (обдувки, барботажу тощо) стиснене повітря для технологічних потреб замінюється роботою вентиляторів або повітродувок. Витрати електроенергії знижуються в 4–6 разів.
Заміна компресорів застарілої конструкції новими з більш високим ККД	Підвищення ККД компресора залежить від зменшення потужності, яка потрібна електроприводу. Економія електроенергії тис. кВт*год/рік: $\Delta E = (P_1 - P_2) \cdot t \cdot 10^{-3}$ <p>де P_1, P_2 — потужність електродвигуна компресора відповідно старої і нової конструкції, кВт; t — тривалість роботи за рік, год</p>
Підвищення ККД компресора шляхом зниження потужності, що споживається	Потужність, що споживається, знижується зі зменшенням температури повітря, що всмоктується і нагнітається в циліндр високого тиску. У зв'язку з цим всмоктувальний повітропровід необхідно розміщувати в затіненому місці, подалі від паропроводу і печей. Ефективним є використання тепла, що відходить (печей, вагранок, пару та ін.), для охолодження повітря, що всмоктується компресором, за допомогою абсорбційних холодильників. Скорочуються питомі витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря.

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Насосні установки	
Загальні положення	<p>Питомі витрати електроенергії для роботи насоса у будь-якому режимі ω, кВт*год/м³,</p> $\Delta E = \frac{H \cdot 1000}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_d \cdot \eta_n} = 0,00272 \frac{H}{\eta_d \cdot \eta_n} \quad (1)$ <p>де H — фактичний напір, який розвиває насос при даному режимі, мм вод. ст.; η_d, η_n — ККД електродвигуна і насоса при даному режимі.</p>
Заміна насоса застарілої конструкції насосом з більш високим ККД	<p>Підвищення ККД насоса залежить від зменшення потужності електропривода. Економія електроенергії ΔE, кВт*год/рік, визначається за формулою</p> $\Delta E = 0,00272 \frac{H}{\eta_d} \cdot \frac{1}{\eta_2 - \eta_1} Q \cdot t \quad (2)$ <p>де H — напір, мм вод. ст.; η_d — ККД електродвигуна; η_1, η_2 — ККД нового і насоса, що замінюється; Q — дійсна продуктивність насоса, м³/год; t — тривалість роботи за рік, год.</p>
Підвищення ККД насосів до паспортних значень	<p>Ремонт насосів, який здійснюється відповідно до технічних умов, точне балансування робочих коліс, регулярна заміна ущільнень. Економія електроенергії визначається за формулою (2) цієї таблиці.</p>
Покращення завантаженості насосів	<p>Максимальна подача насоса забезпечує найменші питомі витрати електроенергії. Для забезпечення максимальної подачі необхідно зіставити опір за паспортними даними насоса і трубопроводів системи водопостачання. Економія електроенергії визначається за формулою (2) цієї таблиці.</p>
Вдосконалення регулювання роботи насосів	<p>Раціональне регулювання режиму роботи насоса здійснюється поворотом напорної або приймальної засувки; зміною кількості насосів, що працюють; зміною частоти обертання двигуна. Економія електроенергії визначається за формулою (2) цієї таблиці.</p>

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Зменшення опору трубопроводів	<p>Надання трубопроводам конфігурації, що не має різких поворотів, справне утримання засувок; недопущення засміченості всмоктувальних пристроїв, усунення з трубопроводу зайвої арматури. Втрата напору в трубопроводі на прямій ділянці</p> $\Delta H = \frac{0,083 \cdot \lambda \cdot L \cdot Q^2}{d^5} ;$ <p>для місцевих опорів</p> $\Delta H = \frac{0,083 \cdot f \cdot Q^2}{d^4} ,$ <p>де λ — коефіцієнт тертя води об стінки труб (0,02–0,03); L — довжина ділянки трубопроводу, м; Q — дійсні витрати, м³/с; d — діаметр трубопроводу, м; f — коефіцієнт місцевого опору (для засувок $f = 0,5$, для загнутого під кутом 90° коліна $f = 0,3$, для зворотного клапана $f = 5$). Економія електроенергії визначається за формулою (1) цієї таблиці.</p>
Системи водопостачання	
Запровадження системи об'єктного водопостачання	<p>Вода для охолодження різноманітних технологічних установок використовується багатократно по замкнутому циклу, економія електроенергії — 15–20 %. Витрати первинної води скорочуються у два рази</p>
Скорочення витрат води шляхом вдосконалення систем охолодження	<p>Рекомендується: пристрій системи випарного охолодження металургійних і термообробних печей; застосування циркуляційних систем охолодження зварювальних апаратів та високочастотних установок; дотримання встановленої температури води, що охолоджує різноманітні технологічні агрегати. Перепад температури прямої і зворотної води, що охолоджує, повинен бути не менше 10–15 °С; застосування системи послідовного охолодження окремих технологічних установок або їх частин; застосування схем автоматичного управління подачею води на охолодження. Зниження подачі води в два-три рази. Економію електроенергії визначають за формулою (2) цієї таблиці і за даними про зниження витрат води за рік, тис. кВт*год/рік:</p> $\Delta E = \omega \cdot (Q_1 - Q_2) \cdot t \cdot 10^{-3} ,$ <p>де ω — питомі витрати електроенергії на подачу води, що визначаються за формулою (1), кВт*год/м³; Q_1, Q_2 — витрати води до і після запровадження заходів, м³/год; t — тривалість роботи насосів, год.</p>

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Дотримання перепаду температур між прямою і зворотною водою мережі, що встановлений графіком	Чітке виконання графіка при рівних витратах тепла на опалення шляхом регулювання опалювальних систем і правильного підбору характеристик сіткового насоса та електродвигуна до нього скорочує витрати електроенергії на циркуляцію води пропорційно кубу відношення різниці температур у подавальному і зворотному трубопроводах. Наприклад, при забезпеченні температурного режиму 95–70 °С замість режиму 95–80 °С витрати електроенергії знижуються у 1,65 рази.
Вентиляційні установки	
Загальні дані	Витрати електроенергії на привід вентиляторів визначається за встановленою потужністю електродвигунів $E_{вент}$, кВт*год/рік $E_{вент} = \sum_{i=1}^n K_{в} \cdot P_{н} \cdot t$ де n — кількість вентиляційних установок; $K_{в}$ — коефіцієнт використання вентиляторів (0,6–0,8); $P_{н}$ — номінальна потужність електродвигуна, кВт; t — тривалість роботи за рік, год.
Заміна вентилятора застарілої конструкції вентилятором з більш високим ККД	Заміна вентилятора з низьким ККД. Економія електроенергії ΔE , кВт*год, визначається за формулою $\Delta E = \frac{H \cdot Q \cdot (\eta_2 - \eta_1) \cdot t}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_e \cdot \eta_c}$ де H — тиск, мм. вод. ст.; Q — продуктивність, м ³ /с; η_1, η_2 — ККД вентиляторів, що замінюється і встановлюється; η_e, η_c — ККД електродвигуна і мережі в межах 0,52–0,7.
Запровадження економічних способів регулювання продуктивності вентиляторів (повітродувок)	Застосування швидкісних електродвигунів замість регулювання шиберами, економія електроенергії — 20–30 %. Регулювання витяжної вентиляції шиберами на робочих місцях і на ділянках нагнітання, економія — до 10 %. Регулювання подачі повітродувок шиберами при заборі повітря і на ділянках нагнітання, економія — до 15 %. Регулювання подачі димососа за допомогою циліндричних направляючих апаратів замість дросельних, економія — до 25 %

Установка, технічні умови	Технічне рішення і техніко-економічна ефективність
Блокування вентиляторів теплових завіс із пристроями відкривання та закривання воріт	Під час відкривання воріт тепла завіса автоматично вмикається, а при закриванні відмикається, економія електроенергії — до 20 %. Встановлення на теплові завіси двошвидкісних електродвигунів, економія — 15 %.
Вдосконалення режиму роботи вентилятора і вентиляційної установки	Зміна частоти обертання вала та кута встановлення лопаток на робочому колесі; поворот лопаток направляючого апарата. Економія електроенергії ΔE , кВт*год, визначається за формулою $\Delta E = \frac{Q_1 \cdot h_1 \cdot \eta_2 - Q_2 \cdot h_2 \cdot \eta_1}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_e \cdot \eta_m \cdot \eta_{np}}$ де Q_1, Q_2 — подача вентилятора до і після зміни режиму роботи, м ³ /с; h_1, h_2 — тиск до і після зміни режиму, мм вод. ст.; η_1, η_2 — ККД вентилятора до і після зміни режиму роботи вентилятора; $\eta_e, \eta_m, \eta_{np}$ — ККД відповідно електродвигуна, мережі, передачі
<p>Аналогічно визначають і інші види часткових потенціалів енергозбереження (тепловий, паливний).</p> <p>При визначенні енергетичного та загального потенціалів енергозбереження в натуральних одиницях виміру необхідно привести часткові потенціали енергозбереження (електричний, тепловий, паливний) до єдиної уніфікованої одиниці (наприклад, т у. п., кВт·год).</p> <p>Якщо за таку єдину уніфіковану одиницю обрати тони умовного палива, то для визначення енергетичного потенціалу енергозбереження доцільно скористатися виразом:</p> $П_{ен. сум.}^{n. n.} = K_{ел.} П_{ел. сум.}^{n. n.} + K_{т.п.} П_{т.п. сум.}^{n. n.}$ <p>де $K_{ел.}, K_{т.п.}$ — тепловий еквівалент переведення в т у. п. відповідно електричної і теплової енергії, т у. п./тис. кВт·год і т у. п./ГДж (т у. п./Гкал);</p> <p>$П_{т.п. сум.}^{n. n.}$ — сумарний тепловий потенціал енергозбереження промислового підприємства, ГДж (Гкал);</p> <p>Визначення загального потенціалу енергозбереження підприємства в цьому випадку має здійснюватися за виразом:</p> $П_{ен. сум.}^{n. n.} = K_{ел.} П_{ел. сум.}^{n. n.} + K_{т.п.} П_{т.п. сум.}^{n. n.} + \sum_{S=1}^S K_{n.s} П_{n.s сум.}^{n. n.}$ <p>де $K_{n.s}$ — еквівалент переведення палива S-го виду в умовне паливо (т у. п.);</p> <p>$П_{n.s сум.}^{n. n.}$ — сумарний паливний потенціал енергозбереження промислового підприємства для палива S-го виду.</p>	

9. Фінансова оцінка ефективності інвестицій в заходи та проекти з енергоефективності: приклади, шаблони та інструменти

9.1 Загальні положення

В залежності від типів та мети енергоаудиту, які описані у розділі 1 цього Посібника, енергоаудитори проводять техніко-економічну оцінку заходів з енергоефективності (енергоаудит типу 1 та типу 2) або готують техніко-економічне обґрунтування реалізації проекту(-ів) з енергоефективності (енергоаудит типу 3). Розглянемо відмінності у проведенні фінансової оцінки заходів з енергоефективності в залежності від типу енергоаудиту відповідно до ДСТУ ISO 50002:2016 (див. таблицю 9.1).

Таблиця 9.1 – Особливості проведення фінансової оцінки заходів з енергоефективності в залежності від типу енергоаудиту

Основні властивості	Тип енергоаудиту		
	1	2	3
Спосіб ідентифікації заходів з енергоефективності	Ідентифікуються типові заходи, що не потребують додаткових вимірювань та залучення галузевих спеціалістів.	Ідентифікуються всі можливі заходи.	Ідентифікуються всі можливі заходи. Для окремих з них (за узгодженням із замовником) готується техніко-економічне обґрунтування із врахуванням енергетичних та неенергетичних переваг, попередньої специфікації обладнання або покращення процесу.

Продовження таблиці 9.1

Основні властивості	Тип енергоаудиту		
	1	2	3
Спосіб визначення обсягів енергозбереження та витрат	Індикативні або типові заощадження (економія) енергії розраховуються з використанням загальних правил, узгоджених з базовим рівнем енергоспоживання. Витрати включають вартість обладнання та матеріалів. Для визначення цих витрат використовується загальнодоступна інформація від постачальників обладнання. Цінові пропозиції від постачальників не обов'язкові.	Комплексний розрахунок заощаджень енергії та попередніх капітальних витрат для кожного ідентифікованого заходу. Заощадження (економія) енергії, розраховані з використанням можливостей з поліпшення енергорезультативності, узгоджених з детальним ПЕБ. Витрати включають вартість обладнання та матеріалів, а також витрати на проектні, монтажні та пусконаладжувальні роботи. Для визначення цих витрат використовується загальнодоступна інформація від постачальників обладнання та послуг. Цінові пропозиції від постачальників не обов'язкові.	Комплексний розрахунок заощаджень енергії та капітальних витрат для кожного ідентифікованого заходу. Заощадження (економія) енергії, розраховані з використанням можливостей з поліпшення енергорезультативності, узгоджених з детальним ПЕБ, а також з урахуванням взаємодії різних енергетичних систем. Витрати включають вартість обладнання та матеріалів, а також витрати на проектні, монтажні та пусконаладжувальні роботи. Для визначення цих витрат використовуються цінові пропозиції від постачальників для конкретного замовника. Також слід врахувати «неенергетичні» вигоди від реалізації кожного з заходів.
Результати фінансової оцінки заходів з енергоефективності	Представлення спрощеної фінансової оцінки, включаючи розрахунок простого періоду окупності	Представлення узгодженої фінансової оцінки, як правило, включаючи розрахунок простого періоду окупності. Ця оцінка може також включати визначення таких показників, як IRR (внутрішня норма прибутку) або NPV (чиста приведена вартість).	Представлення узгодженої фінансової оцінки, як правило, включаючи розрахунок IRR, NPV, а також простого та дисконтованого періоду окупності, а також індексу прибутковості інвестицій.

Міжнародний гармонізований стандарт ДСТУ ISO 17741:2016 «Загальні технічні правила вимірювання, розрахунку та верифікації обсягів енергозбереження в проєктах» встановлює відмінність між термінами «захід з енергоефективності» та «проєкт з енергоефективності».

Під **заходом з енергоефективності**³⁰ розуміється дія чи захід, реалізовані або заплановані в межах проєкту (з енергоефективності) і призначені для поліпшення енергорезультативності завдяки реалізації технологічних, управлінських, поведінкових, економічних або інших змін.

В той же час під **проєктом з енергоефективності** в цьому ж стандарті мається на увазі процес, що складається із сукупності скоординованих дій з датами початку та за-

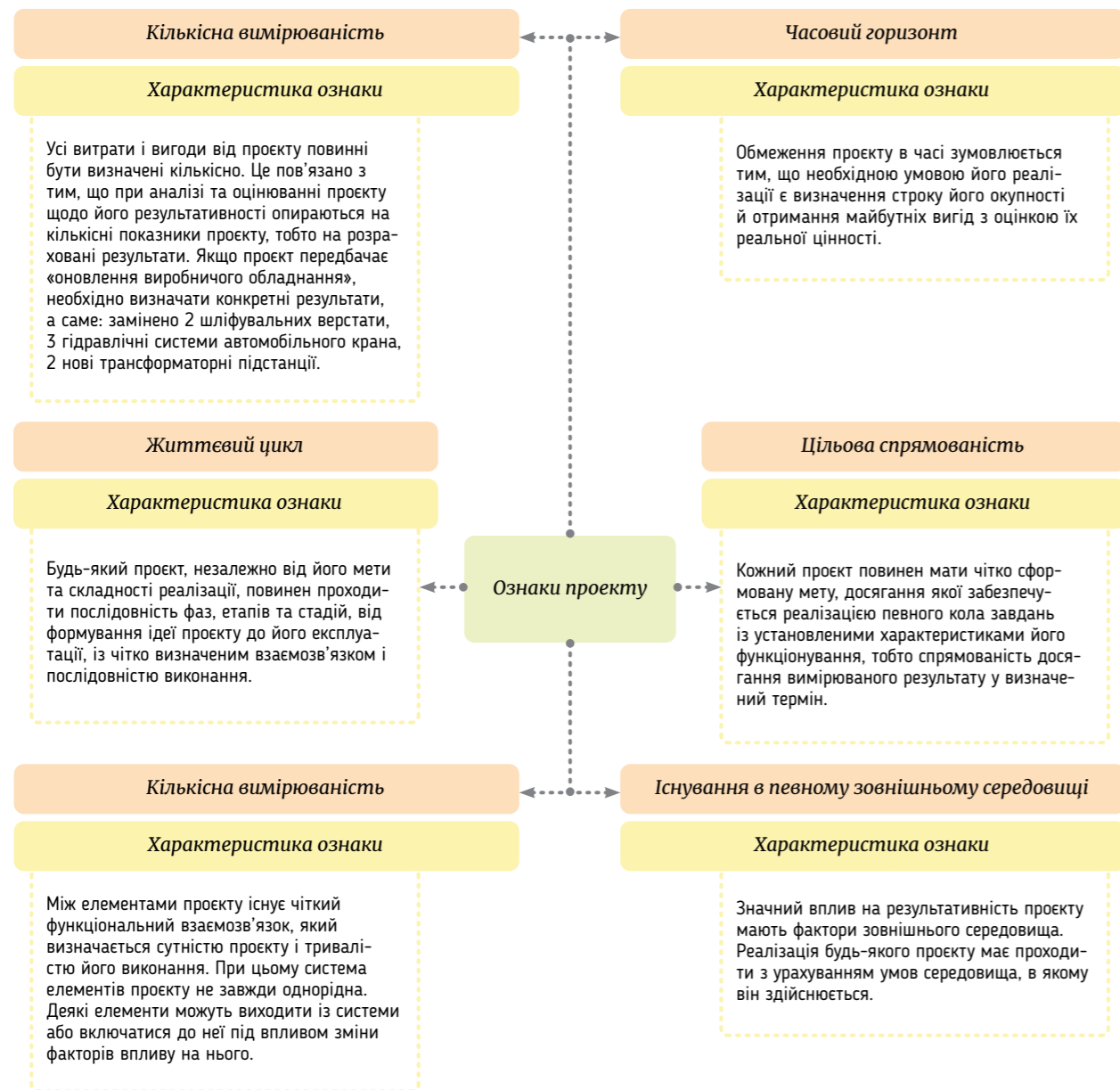
³⁰ В ДСТУ замість терміну «захід з енергоефективності» застосовується термін «захід, спрямований на підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності (ЗПЕ) (energy performance improvement action; EPIA)».

кінчення і реалізований задля досягнення мети у відповідності з конкретними вимогами, включаючи обмеження щодо термінів, вартості та ресурсів. Кількісним результатом проекту з енергоефективності є обсяг енергозбереження. Розроблення проекту зазвичай проводиться в рамках енергоаудиту типу 3. Один проект може об'єднувати один або декілька заходів з енергоефективності.

В загальному випадку розрізняють новий проект та проект з модернізації. Новий проект – це проект, що включає систему використання енергії, яка не була встановлена або введена в експлуатацію, таким чином проект не можна розглядати і трактувати як модернізацію. Проект з модернізації – це проект, який виконують на вже існуючій системі використання енергії.

Для більш чіткого розуміння поняття проекту з енергоефективності на рисунку 9.1 показано його основні ознаки.

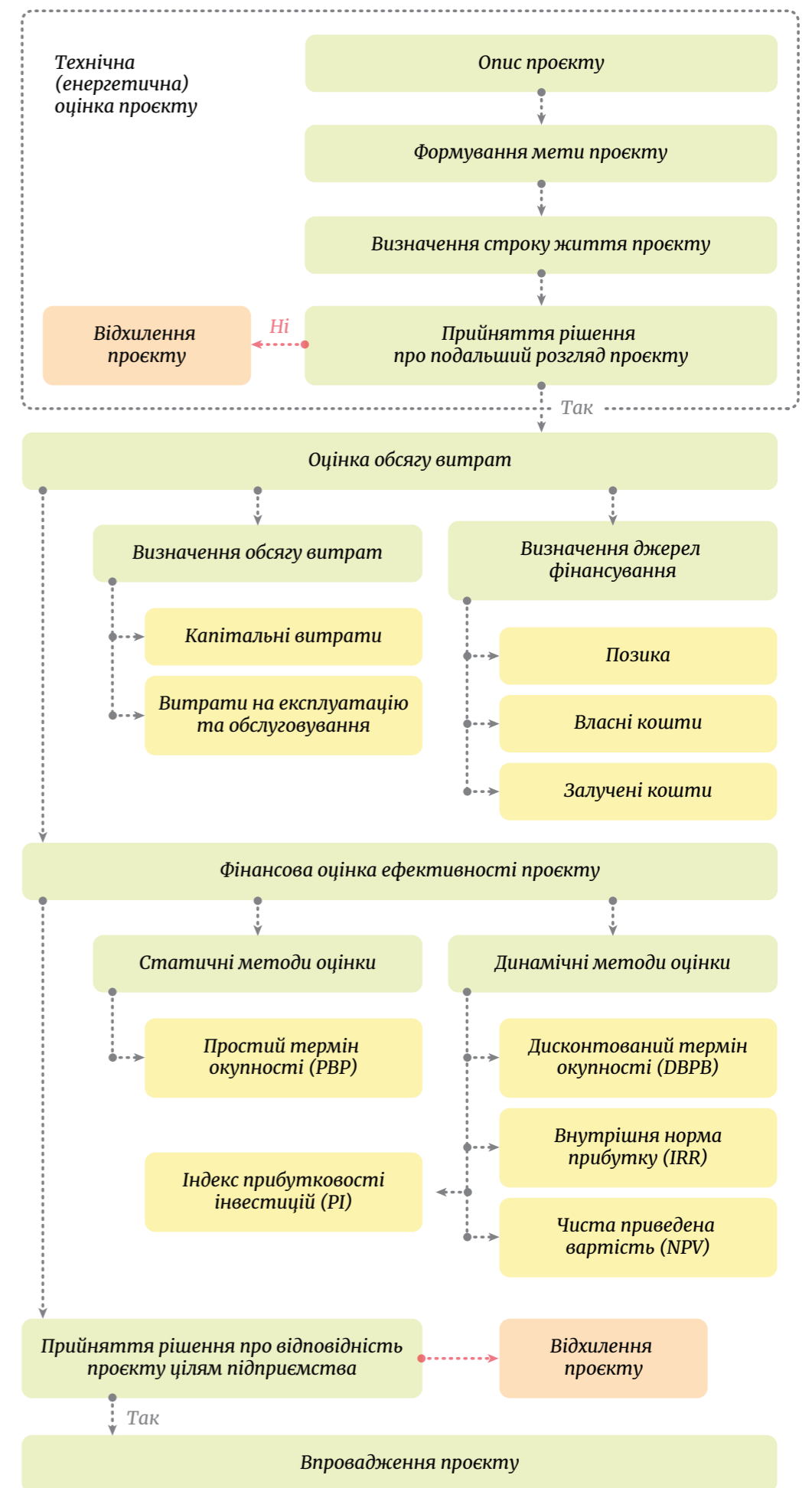
Рисунок 9.1 – Основні ознаки проекту з енергоефективності



Зазначені на рисунку 9.1 ознаки проекту з енергоефективності є основою для проведення фінансової оцінки ефективності інвестицій та прийняття рішення щодо впровадження проекту.

Узагальнений алгоритм проведення фінансової оцінки ефективності проекту показано на рисунку 9.2. Фінансова оцінка окремих заходів є аналогічною до фінансової оцінки проекту.

Рисунок 9.2 – Узагальнений алгоритм проведення фінансової оцінки ефективності проектів з енергоефективності



В основу фінансової оцінки проєкту з енергоефективності покладено декілька базових принципів.

- Аналіз і розрахунок проводиться по всьому життєвому циклу від початку інвестування в проєктно-конструкторські роботи до утилізації обладнання.
- Для коректного порівняння різних проєктів, їх приводять у відповідні умови. Аналіз виконується з розбиттям життєвого циклу проєкту на етапи, в межах яких здійснюються розрахунки витрат і отриманих заощаджень коштів. Для зручності етапи приймаються рівні з тривалістю в один рік. При порівнянні декількох різних проєктів встановлюється один і той же «момент початку».
- На кожному етапі життєвого циклу проєкту проводиться моделювання грошових потоків, яке дозволяє отримати дані щодо грошових потоків, що складаються із заощаджених та витрачених коштів.
- При проведенні аналізу, особливо на тривалі періоди (кілька років) необхідно враховувати фактор зміни вартості грошей у часі. Одна і та ж сума в сьогоdnшньому періоді і через 5 або 10 років має різну купівельну спроможність. Для приведення грошей до єдиних умов з урахуванням фактору часу використовується дисконтування.
- Поряд з розрахунком енергетичних ефектів необхідно експертно враховувати і неенергетичні ефекти (поліпшення мікроклімату, підвищення комфорту тощо).



Згідно з ISO 50002:

Відповідно до п. 5.7.4 «Оцінювання можливостей для покращення» стандарту, енергетичний аудитор повинен проаналізувати вплив кожного з запропонованих заходів на поточний рівень енергетичної ефективності на основі наступних чинників:

- 1) обсяг енергозбереження протягом узгодженого періоду часу або очікуваного періоду експлуатації обладнання;
- 2) фінансові заощадження, які очікуються від кожного із заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності (при застосуванні актуальних тарифів на енергетичні ресурси);
- 3) необхідні інвестиції (витрати повинні ґрунтуватися на поєднанні одиниць основних засобів і трудових елементів з використанням емпіричних правил, стандартних витрат або доступній інформації від постачальників обладнання. Варто мати на увазі, що цінові пропозиції від постачальників у такому випадку не потрібні);
- 4) погоджені економічні та інші критерії, зазначені при плануванні енергетичного аудиту (представлення узгодженого економічного аналізу, включаючи простий період окупності, IRR (внутрішня норма прибутку) або NPV (чиста приведена вартість));
- 5) інші позитивні ефекти, не пов'язані з енергоспоживанням (такі як підвищення продуктивності, економія на технічному обслуговуванні, підвищення безпеки або зменшення впливу на довкілля);
- 6) ранжування заходів з енергоефективності (вибір критеріїв для ранжування заходів);
- 7) можливість взаємовпливу різних заходів з енергоефективності.

9.2 Визначення часових меж проєкту з енерго- ефективності

Початковим кроком фінансової оцінки обов'язково має бути встановлення часових меж – часового горизонту дії проєкту.

Часовий горизонт дії проєкту – період часу в роках, протягом якого буде здійснюватися імплементація проєкту (заходу) та надходитиме відповідний прибуток.

Щоб встановити часовий горизонт дії проєкту необхідно, в першу чергу, визначити **термін його закінчення**. При цьому, в залежності від конкретної ситуації, можливо орієнтуватися на тривалість періоду фізичного або морального зносу придбаних або споруджених основних фондів. Наприклад, такий період може становити 30–40 років для великої електростанції, або 3–5 років для ламп (в залежності від їх типу). Скорочення або продовження тривалості проєкту залежить від інтервалу часу, протягом якого передбачається отримання надходжень або нарахувань витрат за проєктом.

Часовий горизонт дії проєкту повинен визначатися об'єктивно та не залежати від суб'єктивного бажання покращити привабливість проєкту за рахунок зміни терміну його закінчення.

9.3 Розрахунок необхідних витрат та заощаджень коштів за про- єктом з енергое- фективності

Наступним етапом підготовки до виконання фінансової оцінки є прорахунок всіх можливих витрат і заощаджень коштів, пов'язаних з проєктом. Наочним варіантом представлення зазначеної інформації можливо через прогнозування руху грошових коштів (див. таблицю 9.2). При цьому є важливим, щоб проєкти, які розглядаються одночасно, були узгоджені у часі, тобто для таких проєктів необхідно встановити один і той же «момент початку». При цьому, рік «початку проєкту» називають «нульовим». Основним періодом часу при виконанні фінансової оцінки є рік.

Прогнозування руху грошових коштів являє собою фундаментальну інформацію, яка є необхідною для оцінки проєкту з енергоефективності. Такий рух включає три ключові складові:

- витрати;
- заощадження;
- розподіл витрат і заощаджень у часі.

Таблиця 9.2 –
Прогнозування руху
грошових коштів проекту
з енергоефективності

Статті витрат, грош. од.	Рік					
	0	1	2	3	4	5
Капітальні витрати	(1000)	0	0	0	0	0
Експлуатаційні витрати	0	0	0	(200)	0	0
Заощадження коштів	0	500	500	300	500	500
Потік грошових коштів	(1000)	500	500	100	500	500
Кумулятивний потік грошових коштів	(1000)	(500)	0	100	600	1100

Для розрахунку витрат та заощаджень за проектом, наведених у таблиці 9.2, необхідно їх кількісно визначити.

Всі витрати можна розділити на капітальні та експлуатаційні.

Капітальні витрати або інвестиції – витрати на придбання або спорудження будь-яких об'єктів, а також витрати, пов'язані із розробленням проекту, доставкою обладнання, демонтажними, монтажними та пусконаладжувальними роботами.

Величину капітальних витрат можна оцінити, використовуючи інформацію із прайс-листів виробників, постачальників або дані попередніх проектів. При оцінці капітальних витрат необхідно враховувати можливий дохід від продажу старого обладнання. Приклад розрахунку капітальних витрат за проектом будівництва газотурбінної електростанції наведено у таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 –
Приклад розрахунку
капітальних витрат
за проектом будівництва
газотурбінної електростанції

Розрахунок капітальних витрат			
1. Основне енергетичне обладнання			
Назва обладнання	Кількість (одиниць)	Ціна (грош.од.)	Вартість (грош.од.)
Газотурбінна електростанція	1	9061	9061
Основне обладнання всього			9061
2. Допоміжне обладнання			
(10 % вартості основного обладнання)			
Допоміжне обладнання всього			906,1
3. Проектні роботи			
4. Доставка обладнання			
5. Монтажні та пусконаладжувальні роботи			
(30 % вартості основного обладнання)			
Монтажні та пусконаладжувальні роботи всього			2718,3
Капітальні витрати всього			12840,4

Експлуатаційні витрати – витрати, пов'язані із використанням та обслуговуванням заходу з енергоефективності. До них відносяться витрати на паливо, поточний ремонт, матеріали, заробітну плату експлуатаційного персоналу, амортизаційні відрахування тощо.

Приклад розрахунку щорічних експлуатаційних витрат для газотурбінної станції наведено в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 –
Приклад розрахунку щорічних
експлуатаційних витрат
для газотурбінної станції

Розрахунок річних експлуатаційних витрат (грош. од.)			
1. Амортизаційні відрахування (10 % вартості основних фондів)			
Амортизаційні відрахування всього, грош.од.			897,039
в т. ч.: Основне обладнання			815,49
Допоміжне обладнання		81,549	
2. Заробітна плата експлуатаційного персоналу			
Чисельність (чоловік)	Середня зарплата (грош. од./міс.)	Нарахування на зарплату (%)	Річний фонд зарплати (грош. од.)
15	450	38,5	112,185
Зарплата всього			112,185
3. Витрати на мастильні матеріали			
Витрата масла (л/год)	Тривалість роботи (год/рік)	Ціна масла (грош.од./л)	Вартість (грош. од.)
0,5	8590	2	8,59
Мастильні матеріали всього		8,59	
4. Витрати на паливо			
Витрата палива (куб.м/год.)	Тривалість роботи (год/рік)	Ціна палива (грош. од./ тис. куб. м)	Вартість (грош. од.)
979	8590	320	2691,0752
Паливо всього			2691,0752

Продовження таблиці 9.4

Розрахунок річних експлуатаційних витрат (грош. од.)			
5. Витрати на поточний ремонт			
(30 % від амортизаційних відрахувань)			
Витрати на поточний ремонт всього,			269,1117
в т. ч.: Основне обладнання			
Допоміжне обладнання			
6. Інші експлуатаційні витрати			
(20 % від основних експлуатаційних витрат)			
Інші експлуатаційні витрати всього,			257,38514
в т. ч.: Основне обладнання			236,1824
Допоміжне обладнання			21,20274
Експлуатаційні витрати всього			4235,38604
в т. ч.: Основне обладнання			4108,1696
Допоміжне обладнання			127,21644

В контексті проектів з енергоефективності під заощадженням коштів розуміється **зменшення витрат на енергоресурси**. Проте варто також оцінити і «неенергетичні» ефекти проекту, як, наприклад, фактор підвищення продуктивності або якості продукції.

Необхідно також враховувати і той факт, що цінність грошей у часі знижується. Тобто вартість грошової одиниці сьогодні більша, ніж вартість грошової одиниці, що буде отримана завтра або у майбутньому (оскільки гроші вже сьогодні можуть задовольнити потреби та принести дохід). Гроші можуть також втрачати свою вартість під дією таких основних чинників, як інфляція та ризик недержання очікуваної економії.

Інфляція – це процес, який характеризується підвищенням загального рівня цін в економіці певної країни та зниженням купівельної спроможності грошей.

Ризик – це нестабільність, непевність у майбутньому. Через непевність у майбутньому ризик з часом зростає, люди хочуть уникнути ризику, тож вище цінують ті гроші, що є сьогодні, ніж ті, що будуть у майбутньому.

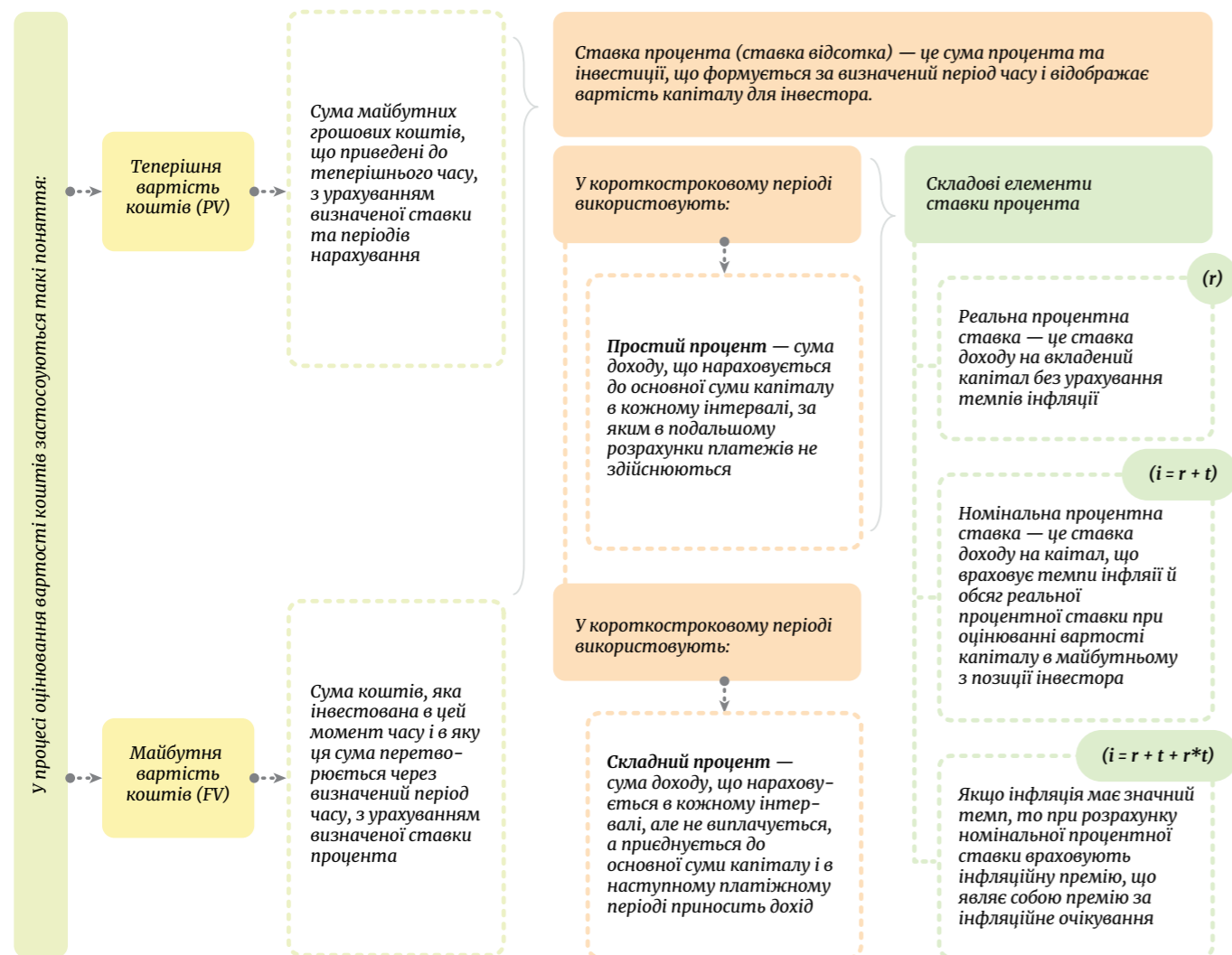
Враховуючи значну тривалість інвестиційного процесу, в практиці, зазвичай, порівнюється вартість грошей на початку їх інвестування з вартістю грошей при їх поверненні у вигляді майбутнього прибутку. В процесі порівняння використовується два основних поняття: поточна (теперішня) вартість та майбутня вартість грошей.

Майбутня вартість грошей – це вартість грошових коштів, яка буде отримана від їх інвестування через визначений період з урахуванням певної відсоткової ставки.

Рух грошових потоків від поточної вартості до майбутньої називається нарощуванням (compounding), інколи цей процес називається капіталізацією.

Поточна вартість грошей – це вартість майбутніх надходжень з поправкою на дисконтну ставку. (див. рисунок 9.3).

Рисунок 9.3 –
Поняття теперішньої та майбутньої вартості грошей



Рух вартості від майбутньої до поточної називають дисконтуванням (discounting).

Тому при виконанні фінансової оцінки визначають дисконтовані показники ефективності проекту, які враховують ставку дисконтування. За допомогою дисконтування всі витрати та заощадження зводяться до моменту початку фінансування проекту.

Дисконтування грошових потоків (discounted cash flow – DCF) – найбільш поширений метод оцінювання і вибору інвестиційного проекту з енергоефективності, який дозволяє розрахувати грошові потоки з урахуванням зміни вартості грошей у часі.

Ставка (норма) дисконтування – це вартість капіталу для інвестора (тобто дохід на капітал), як, наприклад, ставка доходу за облігаціями або акціями.

При виконанні фінансової оцінки можуть бути використані два різновиди ставок дисконтування:

- 1) Реальна відсоткова ставка (дохід на вкладений капітал без урахування інфляції);
- 2) Поточна відсоткова ставка (визначається з урахуванням інфляції).

$$\text{Поточна відсоткова ставка} = \text{Реальна відсоткова ставка} + \text{Відсоток інфляції.}$$

Між зазначеними ставками існує наступне спрощене співвідношення:

Розмір ставки дисконтування коливається в залежності від:

- 1) характеру підприємства та його комерційної кон'юнктури;
- 2) відношення ставки дисконтування до вартості запозичених коштів, вартості банківських депозитів або необхідності підприємства вилучити капітал з внутрішніх резервів.

При виборі норми дисконтування необхідно також враховувати, щоб:

- дохід від вкладених коштів забезпечував мінімальний гарантований рівень прибутковості;
- повністю компенсував зміни (в тому числі інфляційні) купівельної спроможності грошей протягом періоду проекту;
- покривав ризик інвестора, пов'язаний із фінансуванням проекту.

9.4 Методи фінансової оцінки проекту

Після того, як отримана вся інформація про грошові потоки, наступним етапом є розрахунок показників, які можуть бути використані для прийняття рішення про реалізацію проекту³¹ або відмову від нього.

Розглянемо методи фінансового оцінювання та вибору проекту, в яких використовуються такі показники:

- 1) Термін окупності інвестицій.
- 2) Дисконтований термін окупності інвестицій.
- 3) Внутрішня норма прибутку.
- 4) Чиста приведена вартість.
- 5) Коефіцієнт прибутковості.

Перший з наведених методів являє собою достатньо простий метод оцінювання привабливості проекту. Інші методи більш складні і ґрунтуються на дисконтуванні грошових потоків (discounted cash flow – DCF), що описано в п. 9.3 цього Посібника.

Розглянемо більш детально кожен метод оцінювання привабливості проекту.

1. Метод оцінки проекту за періодом окупності інвестицій

Період окупності інвестицій (payback period – PBP) – період часу, який потрібен для того, щоб сумарні очікувані грошові надходження від реалізації проекту з енергоефективності стали рівними капітальним витратам (інвестиціям).

Період окупності інвестицій проекту вказує скільки років потрібно для того, щоб повернути початкові інвестиції, виходячи з очікуваних грошових потоків проекту. Наприклад, необхідно визначити період окупності інвестицій для нового енергоефективного обладнання. Початкові інвестиції для впровадження обладнання становлять 20 тис. грош.од. Протягом наступних чотирьох років від проекту заплановано отримати чисті грошові потоки, рівні 10 тис. грош.од. перший рік і по 6 тис. грош.од. наступні три роки. Записавши ці грошові потоки в стовпець і виконавши декілька нескладних дій (таблиця 9.5), можна визначити період окупності інвестицій для проекту.

Рік	Грошовий потік, грош. од.	Грошовий потік з накопичувальним підсумком, грош. од.
0	(20000) (b)	
1	10000	10000
2 (a)	6000	16000 (c)
3	6000 (d)	22000
4	6000	28000

Примітка. $PBP = a + (b - c) / d = 2,67$ року.

Таблиця 9.5 –
Приклад розрахунку періоду окупності інвестицій

Етапи розрахунку періоду окупності інвестицій для проекту:

- 1) Підсумувати грошові потоки, що виникають після початкових витрат, в стовпці «Грошовий потік з накопичувальним підсумком».
- 2) Проаналізувати стовпчик «Грошовий потік з накопичувальним підсумком» і відзначити останній рік, для якого накопичена сума не перевищує величину початкових витрат. (У нашому прикладі це рік 2.)
- 3) Обчислити ту додаткову частину грошових надходжень наступного року, яка потрібна для того, щоб «окупити» початкові інвестиції. Обчислення виконується так: з початкових інвестицій відняти накопичену суму, отриману на етапі 2, і розділити результат на грошові надходження наступного року. (Для нашого прикладу отримуємо: $(20000 - 16000) / 6000 = 0,67$.)
- 4) Щоб отримати період окупності інвестицій в річному поданні, потрібно взяти ціле число, яке було визначено на етапі 2, і додати його до дробової частини року, яке визначено на етапі 3. (Таким чином, період окупності інвестицій буде: $2 + 0,67 = 2,67$ року.)

Критерій прийняття проекту. Якщо обчислений період окупності інвестицій виявляється менше максимального періоду окупності, який для підприємства вважається прийнятним, інвестиційний проект приймається; в іншому випадку він відкидається. Якщо б необхідний період окупності інвестицій становив три роки, то проект з періодом окупності у 2,67 року виявився б прийнятним.

Основний недолік методу визначення періоду окупності інвестицій полягає в тому, що він не враховує грошових потоків, що виникають після закінчення періоду окупності інвестицій. Тому за його допомогою не можна розрахувати рентабельність (прибутковість) проекту.

Максимальний прийнятний період окупності інвестицій, з яким порівнюють його розрахункове значення, є суб'єктивною оцінкою проекту.

Крім цих недоліків, метод не враховує зміни вартості грошей у часі. В цьому випадку просто підсумовуються грошові потоки без відносної їх прив'язки до часу.

2. Метод оцінки проекту за дисконтованим терміном окупності інвестицій

Динамічний або дисконтований термін окупності – це період часу, протягом якого дисконтовані витрати за проектом стануть рівними дисконтованим заощадженням, і може бути визначений аналогічно простому періоду окупності інвестицій, використовуючи дисконтований грошовий потік за наростаючим підсумком.

Дисконтований строк окупності можна розрахувати послідовно підсумовуючи дисконтовані грошові потоки кожного періоду (року) до тих пір, поки ця сума не буде рівною сумі капітальних витрат (інвестицій). Рік, протягом якого значення дисконтованого ефекту перевищить величину інвестицій, є дисконтованим терміном окупності проекту.

3. Метод оцінки проекту за чистою приведеною вартістю

Чиста приведена вартість (net present value – NPV) – приведена вартість чистих грошових потоків проекту мінус капітальні витрати (інвестиції), необхідні для його реалізації. Математично це можна виразити формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + i)^t} - I,$$

31 Тут і далі по тексту під «проектом» розуміється проект з енергоефективності.

де B_t – заощадження за проектом у t -му році; C_t – витрати за проектом у t -му році; I – капітальні витрати (інвестиції); i – ставка дисконтування.

При використанні такого методу оцінювання враховуються заощадження за проектом протягом усього його життєвого циклу. Він також дозволяє підлаштовувати майбутні заощадження під поточну вартість грошей. Приклад розрахунку NPV наведено у таблиці 9.6.

Таблиця 9.6 –
Приклад розрахунку чистої
приведеної вартості проекту

Рік	Витрати, грош.од.	Заощадження, грош.од.	Грошовий потік, грош.од.	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтований грошовий потік, грош.од.
0	20000	0	(20000)	1	(20000)
1	0	10000	10000	0,87	8700
2	0	10000	10000	0,756	7560
3	0	6000	6000	0,658	3948
4	0	6000	6000	0,572	3432
Разом	20000	32000	12000		3640

NPV = 3640 грош.од.

Етапи розрахунку чистої приведеної вартості для проекту:

- 1) Визначаємо грошовий потік для кожного року проекту.
- 2) Обчислюємо коефіцієнти дисконтування для кожного року. Для цього існує спеціальна функція в Excel або обчислити за формулою:

$$k_i = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

- 3) Розраховуємо дисконтовані грошові потоки шляхом множення грошових потоків на коефіцієнт дисконтування відповідного року.
- 4) Визначаємо NPV, при цьому щорічні дисконтовані суми додаються за мінусом капітальних витрат (інвестицій) проекту.

Цей показник дозволяє оцінити те, що очікує на інвестора в результаті реалізації проекту – прибуток або збиток.

Критерій прийняття проекту. Якщо чиста приведена вартість проекту виявляється більше нуля, то проект приймається, в іншому випадку – відкидається. Ще одним способом вираження критерію прийняття є висновок про те, що проект буде прийнятий, якщо приведена вартість грошових надходжень перевищує приведену вартість витрат.

Якщо аналізуються незалежні проекти, то перевага інвесторів буде надаватися тим проектам, у яких NPV більша. Якщо необхідно порівнювати альтернативні проекти, то перевагу віддають тим, у яких NPV – максимальна.

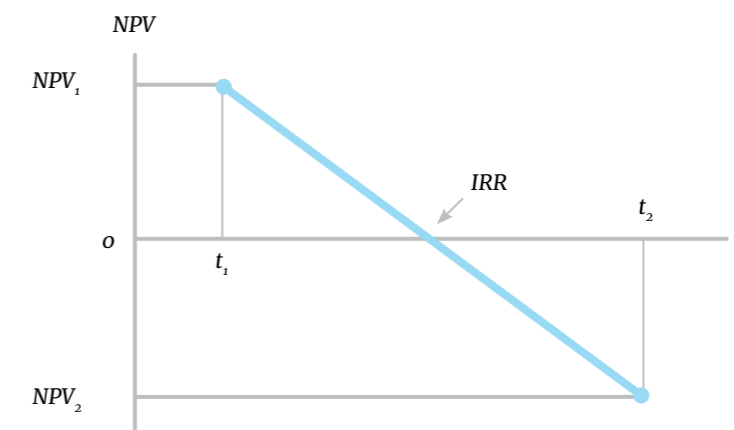
4. Метод оцінки проекту за внутрішньою нормою рентабельності

Внутрішня норма прибутку (ВНП) або внутрішня норма рентабельності (ВНР)³² (internal rate of return – IRR) – ставка дисконтування, за якою дисконтовані витрати стануть рівними дисконтованим вигодам проекту.

Тобто це така ставка дисконтування, за якою приведена вартість майбутніх грошових надходжень від реалізації проекту стане рівною вартості капітальних витрат (інвестицій).

Величина IRR визначається у процесі ітеративних розрахунків. При таких розрахунках спочатку задаються декількома значеннями ставки дисконтування і потім визначається найближче значення, за якої знак NPV змінюється з (+) додатного на (-) від'ємний. Після цього зміна NPV інтерполюється лінійною залежністю, точка перетину якої із горизонтальною віссю і буде IRR (див. рис. 9.4).

Рисунок 9.4 –
Залежність значення IRR
від ставки дисконтування



На практиці IRR визначається за допомогою такого виразу:

$$ВНР = A + \frac{a(B - A)}{(a - b)}, \tag{9.1}$$

де A – величина ставки дисконтування, за якої NPV має додатне значення; B – величина ставки дисконтування, за якої NPV має від'ємне значення; a – величина додатної

³² Можуть також застосовуватися такі синоніми цього терміну: внутрішній коефіцієнт окупності інвестицій або внутрішня ставка прибутковості інвестицій.

NPV, за величини ставки дисконтування A ; b – величина від’ємної NPV, за величини ставки дисконтування B .

Етапи розрахунку IRR для проекту:

- 1) Обчислити NPV при заданій ставці дисконтування.
- 2) Якщо при заданій ставці дисконтування NPV має додатнє значення, тобто перевищує капітальні витрати (інвестиції), то потрібно перевірити більше значення ставки дисконтування, щоб величина NPV була від’ємною, тобто ще більше зрівняти майбутні грошові потоки і знизити їх приведену вартість.
- 3) Обчислити чисту приведену вартість при більшій ставці дисконтування, за якою NPV буде мати від’ємне значення.
- 4) Для отримання IRR необхідно виконати інтерполяцію між двома ставками дисконтування, за якими NPV має як додатнє, так і від’ємне значення відповідно (як показано на рис. 9.4). Визначаємо IRR за виразом (9.1).

Приклад розрахунку IRR наведено в таблиці 9.7.

Таблиця 9.7 –
Приклад розрахунку IRR проекту

Рік	Грошовий потік, грош. од.	Коефіцієнт дисконтування, при $i_1=15\%$	Дисконтований грошовий потік, грош.од.	Коефіцієнт дисконтування, при $i_2=25\%$	Дисконтований грошовий потік, грош. од.
0	(20000)	1	(20000)	1	(20000)
1	10000	0,87	8700	0,800	8000
2	10000	0,756	7560	0,640	6400
3	6000	0,658	3948	0,512	3072
4	6000	0,572	3432	0,410	2460
Всього	12000		3640		-68

$NPV_1 = 3640$ грош. од.

$NPV_2 = -68$ грош. од.

$$IRR = 15 + \frac{4640 \cdot (25 - 15)}{(3640 + 68)} = 24,8\%$$

Величина IRR характеризує максимальний дохід на вкладений капітал і може бути отримана у проекті. Таким чином, найбільш привабливими є ті проекти, у яких IRR є максимальною.

Критерій прийняття проекту. Критерієм прийняття, який використовується для методу IRR, є порівняння внутрішньої норми рентабельності із заданою ставкою дисконтування або мінімальною ставкою прибутковості, яка потрібна для прийняття інвестиційного проекту. Якщо IRR перевищує ставку дисконтування, проект приймається, в іншому випадку – відхиляється.

5. Метод оцінки проекту за коефіцієнтом прибутковості

Коефіцієнт прибутковості (profitability index – PI) – відношення чистої приведеної вартості майбутніх грошових потоків проекту до капітальних витрат (інвестицій) за проектом. Коефіцієнт прибутковості можна розрахувати за наступною формулою:

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

Приклад розрахунку коефіцієнта прибутковості. Використовуючи наведені вище значення інвестицій і NPV, можна отримати:

$$PI = \frac{3640}{20000} = 0,182$$

Критерій прийняття проекту. У випадку, коли коефіцієнт прибутковості буде не менше 1, проект можна вважати прийнятним. Для будь-якого проекту методи чистої приведеної вартості і коефіцієнта прибутковості дають можливість приймати однакові рішення щодо реалізації проекту (тобто або прийняти, або відхилити його).

Коефіцієнт прибутковості, що перевищує 1, свідчить про те, що приведена вартість проекту більше, ніж інвестиції, а це, в свою чергу, вказує на те, що чиста приведена вартість більше нуля. Однак методу чистої приведеної вартості нерідко віддають перевагу перед методом коефіцієнта прибутковості. Причина полягає в тому, що чиста приведена вартість не тільки вказує, приймати чи ні відповідний проект, а й показує абсолютний економічний, грошовий внесок проекту. Що стосується коефіцієнта прибутковості, то він відображає лише відносну прибутковість.

Нижче в зведеній таблиці 9.8 містяться показники фінансової оцінки ефективності проектів з енергоефективності з урахуванням фактору часу, області їх застосування та умов використання. До числа пріоритетних проектів з точки зору фінансової оцінки необхідно віднести ті, у яких максимальна чиста приведена вартість або індекс прибутковості інвестицій, що поєднуються з мінімальним дисконтованим терміном окупності.

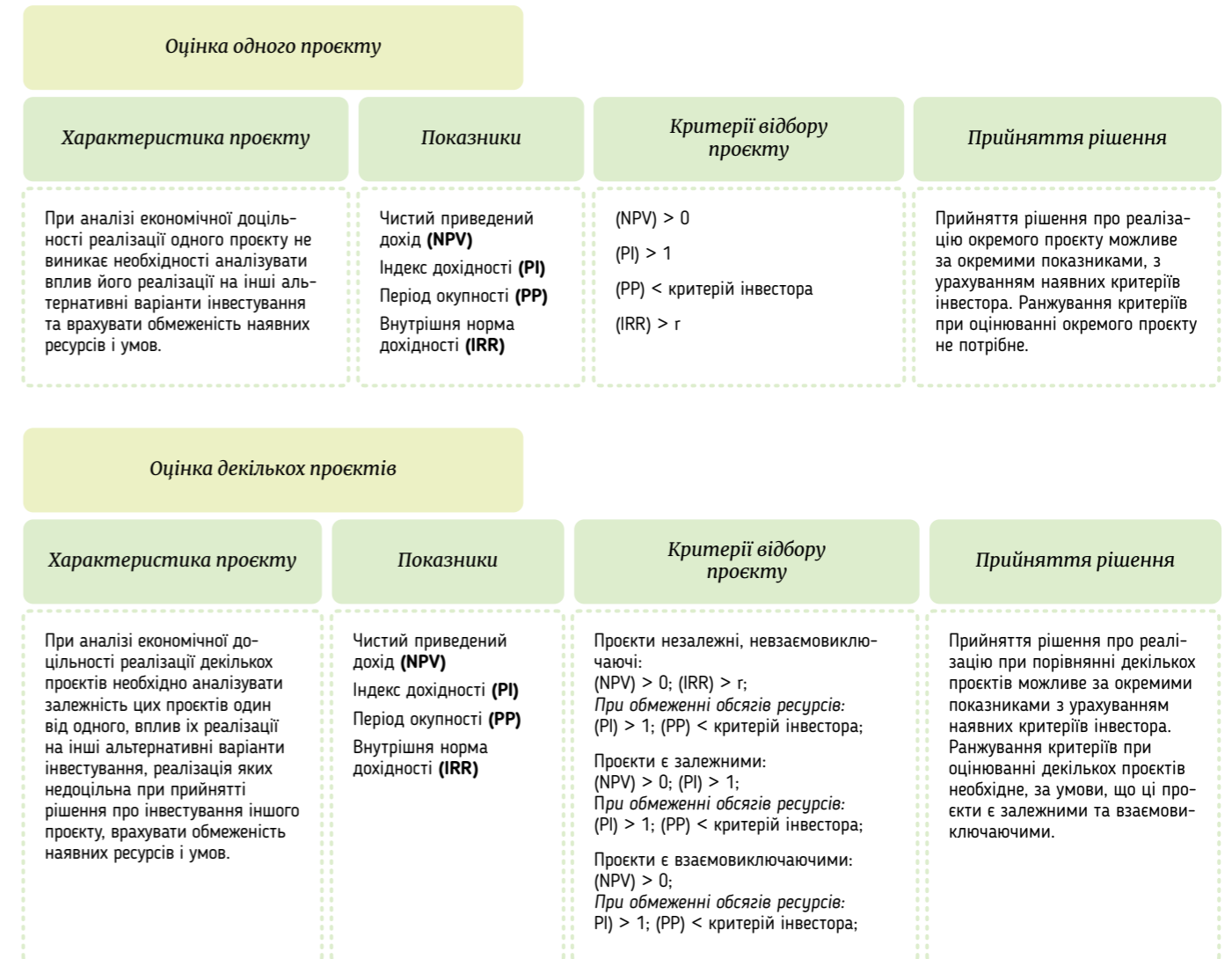
Таблиця 9.8 –
Зведена таблиця показників фінансової оцінки ефективності проектів з енергоефективності

Показники	Сфера застосування	Обмеження в застосуванні або недоліки	База для порівняння
Термін окупності	Вибір проекту за мінімальним значенням терміну окупності	Не враховує грошові надходження після закінчення терміну окупності	Прийнятний для інвестора термін окупності
Дисконтований термін окупності	Вибір проекту за мінімальним значенням дисконтованого терміну окупності	Не враховує	10000
Грошові надходження після закінчення терміну	0	10000	10000

Показники	Сфера застосування	Обмеження в застосуванні або недоліки	База для порівняння
окупності	Прийнятний для інвестора дисконтований термін окупності	6000	6000
Чиста приведена вартість (NPV)	Вибір проекту за максимальним значенням NPV	Не можна використовувати для порівняння проектів, що значно розрізняються за масштабом	NPV > 0
Внутрішня норма рентабельності (IRR)	Вибір проекту за максимальним значенням IRR. Використовується для порівняння варіантів на будь-яких стадіях оцінки, в тому числі і для проектів, що відрізняються масштабом інвестування та терміном життєвого циклу	Передбачає реінвестування з нормою, яка дорівнює IRR	Прийнятний для інвестора рівень прибутковості
Індекс прибутковості	Попередній відбір проектів для подальшої оцінки	Накопичувальна амортизація повинна бути достатньою для заміни обраного обладнання	Рівень прибутковості, прийнятний для інвесторів

Загальні принципи здійснення порівняння та вибору проектів з енергоефективності за різними критеріями оцінювання наведено на рисунку 9.5.

Рисунок 9.5 – Порівняння та вибір проектів з енергоефективності за різними критеріями оцінювання



10. Підготовка та представлення звіту про енергетичний аудит

10.1 Загальні положення

Основна мета звітності за результатами проведення енергетичного аудиту – це надання обґрунтованої інформації, яка повинна визначати можливості для підвищення енергетичної ефективності на підприємстві, а також умови їх реалізації.

Звіт за результатами проведення енергетичного аудиту формує енергоаудиторська група під керівництвом керівника групи. При цьому кожний енергоаудитор формує частковий звіт про стан тих об'єктів, на яких він проводив енергетичний аудит. Зведений звіт підписують усі члени енергоаудиторської групи і затверджує керівник виконавця.

Всі вимоги до звіту з енергетичного аудиту, що визначені в ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення», можна умовно розділити на:

- загальні вимоги;
- вимоги до оформлення результатів вимірювань, виконання аналізу енергоспоживання та енергетичної ефективності;
- вимоги до розроблення та подання заходів з енергоефективності, рекомендацій щодо зниження енергоспоживання.



Згідно з ISO 50002:

Загальні вимоги до змісту звіту містять питання, які повинні бути узгоджені із підприємством в процесі підготовки до проведення енергетичного обстеження:

- сфера охоплення, межі та цілі енергетичного аудиту, очікувані результати;
- терміни проведення аудиту, узгодження і надання звіту;
- ступінь необхідної деталізації, глибина аналізу;
- показники техніко-економічного обґрунтування заходів з енергоефективності;

- форма надання звіту і презентації результатів аудиту, необхідність надання проміжних звітів на розгляд;
- перелік документальної інформації, звітних даних та ін., які повинні бути надані аудиторам;
- план проведення вимірювань, схема точок замірів при необхідності;
- процедуру узгодження звіту та інші зобов'язання сторін.

Велика частина цієї інформації може бути представлена в додатку у вигляді відповідних протоколів узгодження.

При оформленні результатів вимірювань, виконання аналізу в звіті повинно бути відображено наступне:

- точність і репрезентативність даних, що надаються. Точність визначається умовами проведення вимірювань і характеристиками метрологічного обладнання, яке було використане. Репрезентативність дозволяє робити узагальнення на підставі даних вибіркового вимірювання. Зазвичай для цього вибирають характерні режими роботи або умови енергоспоживання устаткування, що також має бути відображено в звіті;
- обґрунтування проведених вимірювань із зазначенням того, для визначення яких показників вони необхідні;
- труднощі, що виникають при проведенні вимірювань і їх вплив на результати;
- зазначення, що є основою для аналізу – обчислення, моделювання, звітні дані або оціночні судження;
- висновки щодо обсягів використання енергії, рівня енергоефективності, потенціалу енергозбереження.

Вимоги до розроблення та подання заходів з енергоефективності, рекомендацій щодо зниження енергоспоживання наступні.

Звіт повинен містити:

- вихідні дані для обчислень, оцінок, припущень, прийнятих при розробці заходів;
- опис того, які допущення та методики розрахунків використані для визначення економії енергії і при розрахунку витрат на впровадження заходів;
- умови, необхідні для отримання заявлених результатів;
- можливі зв'язки з іншими пропозиціями, рекомендаціями, заходами та їх взаємний вплив;
- ранжування заходів і рекомендацій на першочергові і інші, а також на маловитратні, середньовитратні, високовитратні, або такі, що швидко окупаються і ті, що мають значні терміни окупності.

Приклад шаблону звіту з енергоаудиту промислового підприємства наведено у Додатку 3.

10.2

Чого слід уникати під час написання звіту з енергоаудиту

Під час написання звіту з енергоаудиту слід уникати:

- Фактичні висновки щодо енергетичної ефективності процесу та оцінки потенціалу енергозбереження у звіті повинні бути чітко зрозумілі замовнику енергетичного аудиту. Для цього необхідно перед початком проведення енергетичного аудиту узгодити формат подачі таких висновків.
- Під час оформлювання звіту треба дотримуватися рівномірної насиченості, контрастності й чіткості зображень та фото. Усі лінії, літери, цифри та знаки мають бути чіткі й нерозпливчасті в усьому звіті.
- Якщо захід з енергоефективності може призвести до зміни параметрів технологічного процесу, то він повинен бути погоджений з технологами підприємства, інакше його реалізація може призвести до зниження якості продукції або отримання браку. Таке погодження слід робити до проведення техніко-економічної оцінки заходів з енергоефективності. Форма обговорення та погодження переліку заходів визначається під час попередньої наради.
- У звіті обов'язковим є опис як загальної методики проведення енергоаудиту, так й часткових методик щодо здійснення вимірювань та проведення необхідних розрахунків та оцінок. Опис таких методик повинен бути чітко структурованим та окреслювати процес вирішення завдань енергоаудиту: яка інформація збирається, в якій кількості, які методи застосовано тощо.
- Під час графічного представлення даних у вигляді діаграм та графіків необхідно надавати відповідні дані у табличній формі.
- Під час виконання техніко-економічної оцінки заходів з енергоефективності застосування обґрунтування «за експертною оцінкою» не може вважатися прийнятним.
- Результати вимірювань доцільно представляти разом із зазначенням приладів, які використовувались для отримання таких результатів.



11. Заключна нарада

Метою заключної наради є представлення результатів енергоаудиту та надання кваліфікованої консультативної допомоги з питань ефективного впровадження запропонованих заходів з енергоефективності.

Форма презентації результатів енергетичного аудиту, дата проведення та перелік учасників заключної наради заздалегідь узгоджується із замовником. На цьому етапі виконавець представляє результати проведення енергетичного аудиту керівництву підприємства та персоналу, що відповідає за ефективність використання ПЕР. Зазвичай у нараді приймають участь: вище керівництво підприємства, головний енергетик, начальник котельні, головний енергоменеджер, керівники підрозділів, особливо тих, де пропонується впровадження заходів з енергоефективності.



Згідно з ISO 50002:

Перед заключною нарадою виконавець надає замовнику проєкт фінального звіту за результатами проведення енергоаудиту. В ході заключної наради енергетичний аудитор повинен:

- 1) представити результати проведення енергоаудиту таким чином, щоб полегшити процес прийняття рішень на підприємстві;
- 2) бути в змозі пояснити результати та відповіді на запитання;
- 3) якщо це доречно, визначити пункти, що вимагають від енергетичного аудитора подальшого аналізу або наступних дій.

Презентація результатів енергетичного аудиту повинна умовно складатися з двох основних частин:

- результатів аналізу стану споживання ПЕР підприємством;
- переліку запропонованих заходів з енергоефективності, результатів їх техніко-економічного оцінювання.

Результати аналізу стану споживання ПЕР підприємством та окремими його структурними підрозділами подаються у вигляді стислої характеристики за такими напрямками:

- величина втрат ПЕР;
- баланс споживання ПЕР;
- баланс витрат коштів на ПЕР;
- основні напрямки економії ПЕР;
- орієнтовна величина технологічно доступного потенціалу енергозбереження у натуральному та грошовому еквіваленті по запропонованим заходам з енергоефективності.

Під час презентації енергоаудитори мають також продемонструвати та обговорити із замовником показники енергетичної ефективності технологічних процесів, а також чинники, що впливають на енергоспоживання на підприємстві.

Окремо необхідно представити запропоновані заходи з енергоефективності відповідно до пріоритетності їх впровадження, визначеної енергоаудиторами. Презентацію заходів бажано проводити в наступній послідовності:

- опис суті заходу;
- оцінка варіантів проєктування та конфігурації для вирішення системних потреб;
- оцінка обсягу капіталовкладень, необхідних для впровадження заходу;
- оцінка величини технологічно доступного потенціалу енергозбереження у натуральному та грошовому еквіваленті, пов'язаної із змінами обладнання, системи чи технології;
- результат розрахунку економічного та інших ефектів, включаючи неенергетичні;
- результат розрахунку простого терміну окупності;
- за узгодженням із замовником, презентація заходу може включати розрахунок NPV та IRR, аналіз вартості життєвого циклу (LCCA).

У разі, якщо аудитори залишилися задоволеними співпрацею з технічним персоналом підприємства-замовника, то під час заключної наради доцільно звернути увагу керівництва на цей факт. Зокрема, вказати на те, що на підприємстві багато мотивованих фахівців, які виявили високий інтерес до енергоефективності. Це може бути джерелом формування нових ідей та можливостей щодо енергомодернізації і повинно слугувати основою для подальшого енергоефективного розвитку підприємства.

Якщо під час збору інформації на підприємстві виникали труднощі у отриманні та пошуку історичних та технічних даних (даних про споживання ПЕР, схем енергопотоків, креслень, технічних паспортів на обладнання та таблиць паспортних даних допоміжних систем та обладнання тощо) слід вказати на доцільність побудови на підприємстві системи збору таких даних. Оскільки, для будь-якого підприємства важливо знати особливості кожної установки, мати змогу порівнювати її з кращими доступними технологіями та оцінювати рівень її ефективності по відношенню до номінальних характеристик, що гарантовані виробниками. Без дієвої системи збору та накопичення даних про підприємство жодна програма корпоративного управління енергоефективністю не може дати високих результатів.

У разі відсутності на підприємстві впровадженої СЕНМ аудиторам на заключній нараді доцільно рекомендувати керівництву підприємства розробити та довести до персоналу енергетичну політику та встановити кількісні цілі у сфері енергоефективності, що мають бути досягнуті щорічно. Щоб полегшити обмін інформацією, доцільно рекомендувати створити "групу з енергетичного менеджменту", де представники усіх підрозділів підприємства могли б періодично збиратися для обміну ідеями, інформацією та обговорення можливостей з енергоефективності та впровадження найкращих практик.

Презентація результатів енергетичного аудиту повинна закінчуватися переліком заходів з енергоефективності, сформованим відповідно до порядку доцільності їх впровадження.

За результатами заключної наради аудитори готують остаточну версію фінального звіту про енергетичний аудит підприємства з урахуванням всіх можливих зауважень та коментарів, отриманих від замовника.

Заключна нарада та презентація результатів енергетичного аудиту – це вдала нагода для підвищення кваліфікації персоналу підприємства. Навчання та консультації щодо кон-

кратних енергоефективних технологій можуть надати персоналу підприємства деякі технічні аспекти для кращого управління енергоефективністю.

За умови узгодження із замовником, енергоаудитори можуть провести навчальний семінар для персоналу підприємства із декількох тем, обраних заздалегідь. Форма проведення семінару може бути різною. Це може бути лекція, бесіда, практичне заняття тощо. При цьому можуть розглядатися як суто теоретичні питання задля підвищення обізнаності персоналу щодо роботи тієї чи іншої енергоспоживчої системи, так і виключно практичні нюанси роботи того чи іншого енергоспоживчого обладнання, специфічного для підприємства.

Навчальні програми можуть містити такі теми:

- електродвигуни (як працюють двигуни, ефективність роботи електродвигунів, використання та технічне обслуговування, приклади економічно вигідних заміन двигуна, використання частотно-регульованих приводів);
- котли (основи систем згоряння – контроль надлишкового повітря, підвищення ефективності котла, контроль згоряння, ізоляція процесу, приклад удосконалення котла);
- когенерація (що таке когенерація, типи циклів когенерації, приклади економічного використання когенерації, газового поршня та газових турбін);
- теплоізоляція (види ізоляції, розрахунки теплового потоку, економічні рівні ізоляції, теплоізоляція технологічного обладнання) тощо.

Окрім цього, можуть бути запропоновані загальні рекомендації щодо зниження рівня енергоспоживання у енергоспоживчих системах (система вироблення та транспортування стисненого повітря, освітлення, вироблення тепла/пари тощо). Рекомендації можуть бути спрямовані як на зміну поведінки співробітників підприємства, так і на розкриття загального досвіду із впровадження енергоефективних технологій.

Також корисною може бути презентація щодо можливих джерел та моделей фінансування впровадження заходів з енергоефективності (наприклад, міжнародних фінансових організацій, ЕСКО-компанії, фондів з енергоефективності, грантів тощо). Такі рекомендації можуть доповнюватися досвідом впровадження системи енергетичного менеджменту на інших підприємствах.

Для визначення потреби персоналу підприємства у проведенні тренінгів з енергоефективності доцільно застосовувати опитувальні форми. Приклад такої форми, що застосовувалася Проектом під час проведення одноденних тренінгів з енергоефективності для понад 60 промислових підприємств, показано на рисунку 11.1 нижче.

Рисунок 11.1 – Приклад опитувальної форми для визначення потреби персоналу підприємства в проведенні тренінгів з енергоефективності.

Одноденний тренінг з енергоефективності на підприємстві

Компанія: ПАТ "Племзавод "Степной" Адреса: 71300, Запорізька обл., м. Кам'янка-Дністровська, вул. Промислова, 1а
 Промислова галузь: Молочна Хлібопекарська Машинобудування Будівельні матеріали Контактна особа: Шпаков Віталій Олександрович
 Посада: головний економіст
 Телефон: +38 098 525 22 80
 e-mail: y.step_adm2017@ukr.net

Продукція: масло, сири, молоко, кисломолочна продукція
 Основні цифри обсягу виробництва 5, 1 тис. т/рік

Визначені галузі, де є потреба в тренінгу з енергоефективності

Освітлення Системи охолодження Розподіл тепла
 Загальне теплоспостереження ОВК/якість повітря в приміщ. Розподіл пари
 Парові котли Стиснене повітря Водочисні системи
 Водогрійні котли Енергомоніторинг
 Насосні системи Енергоменеджмент

Погоджені тренінги

Тренінг на тему: Парові котли
 Учасники: перелік на звороті
 Організаційні підрозділи: Виробництво (прохання уточнити); Експлуатація приміщень Котельня Менеджмент Адміністрація Інше (прохання зазначити):
 Тривалість: 1 година 2 години інше: _____
 Дата і час: 20.09.2019 10:00
 Навчальний контроль: Тестові питання Інше (прохання вказати): _____

Очікуваний вплив тренінгу*
 Поточний рівень енергоспоживання: 206,7 тис. м3 газу
 кВт.год/рік електрика м3/рік газ інше: _____
 Очікувана економія енергії/рік: _____
 5% 5 - 10% інше: _____
 Очікувана економія витрат/рік: 650 тис. грн/рік
 Контактна особа для моніторингу енергоспоживання: головний економіст Шпаков Віталій Олександрович
 тел.: +38 098 525 22 80

Тренінг на тему: Енергоменеджмент
 Учасники: перелік на звороті
 Організаційні підрозділи: Виробництво (прохання уточнити); Експлуатація приміщень Котельня Менеджмент Адміністрація Інше (прохання зазначити):
 Тривалість: 1 година 2 години інше: _____
 Дата і час: 20.09.2019 11:00
 Навчальний контроль: Тестові питання Інше (прохання вказати): _____

Очікуваний вплив тренінгу*
 Поточний рівень енергоспоживання: 807,3 тис. кВт.год
 кВт.год/рік електрика м3/рік газ інше: _____
 Очікувана економія енергії/year: _____
 < 5% 5 - 10% інше: _____
 Очікувана економія витрат/рік: 99,8 тис. грн/рік
 Контактна особа для моніторингу енергоспоживання: головний економіст Шпаков Віталій Олександрович
 тел.: +38 098 525 22 80

Тренінг на тему: _____
 Учасники: перелік на звороті
 Організаційні підрозділи: Виробництво (прохання уточнити); Експлуатація приміщень Котельня Менеджмент Адміністрація Інше (прохання уточнити):
 Тривалість: 1 година 2 години інше: _____
 Дата і час: _____
 Навчальний контроль: Тестові питання Інше (прохання вказати): _____

Очікуваний вплив тренінгу*
 Поточний рівень енергоспоживання: _____
 кВт.год/рік електрика м3/рік газ інше: _____
 Очікувана економія енергії/рік: _____
 < 5% 5 - 10% інше: _____
 Очікувана економія витрат/рік: _____
 Контактна особа для моніторингу енергоспоживання: _____
 Тел.: _____

Компанія: ПАТ "Племзавод "Степной" Адреса: _____
 Особа/Посада: _____ Аудитор/Тренер: ТОВ "ЕСКО Україна" GIZ:
 Дата: 09.09.2019 Чухово, В.
 09.09.2019
 Дану форму патрібно надіслати на електронну пошту енергоаудиту@engecology.com
 GIZ Україна, Консультування підприємств з енергоефективності, copyright © 2019

* Очікувану економію енергії треба сприймати як певну точку відліку, вона не є абсолютною.



Додатки

Додаток А. Скорочення та позначення

В цьому Посібнику застосовано такі скорочення:

БРЕ	базовий рівень енергоспоживання;
ГВП	гаряче водопостачання;
ГЕН	графік електричного навантаження;
ГРП	газорозподільний пункт;
ДБН	Державні будівельні норми;
ДСТУ	Державна система стандартизації України;
ЕЕ	енергетична ефективність;
ЗВТ	засіб вимірювальної техніки;
ЗЕЕ	захід з енергетичної ефективності;
ІТП	індивідуальний тепловий пункт;
ККД	коефіцієнт корисної дії;
МВВ	методика виконання вимірювань;
ПДВ	податок на додану вартість;
ПЕБ	паливно-енергетичний баланс;
ПЕЕ	показник енергетичної ефективності;
ПЕР	паливно-енергетичні ресурси;
РП	розподільний пункт;
СВЕ	суттєве використання енергії;
СЕНМ	система енергетичного менеджменту;
ТЕО	техніко-економічне обґрунтування;
ТП	трансформаторна підстанція;
у. п.	умовне паливо;
ЧРП	частотно-регульований привод;
IRR (ВНР)	Internal Rate of Return (внутрішня норма прибутку);
NPV (ЧПВ)	net present value (чиста приведена вартість).

Додаток Б. Ключові терміни щодо енергоаудиту

Нижче подано терміни, що найбільш поширені у вжитку енергоаудиторів, та визначення позначених ними понять:

3.1 мета аудиту (audit objective)
мета енергетичного аудиту, узгоджена між організацією та енергетичним аудитором.

3.2 межі (boundary)
фізичні межі або за місцем розташування виробничого майданчику, та/або організаційні межі згідно з тим, як їх визначила організація.

Примітка 1. Межі системи енергетичного менеджменту можуть відрізнятися від меж енергетичного аудиту.

Примітка 2. Енергоаудит може охоплювати одну або декілька меж.

3.3 енергетичний аудит (energy audit)
систематичний 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.

3.4 характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту (energy audit scope)
обсяг використання енергії і пов'язаних із ним дій, які мають бути охоплені енергоаудитом, як це визначено організацією за погодженням з енергетичним аудитором, що можуть охоплювати окремі межі.

Примітка. Характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту може охоплювати енергоспоживання транспортом.

3.5 енергетичний аудитор (energy auditor)
окрема особа або група осіб, які проводять енергетичний аудит.

Примітка 1. Енергетичний аудит може проводитися організацією з використанням власних або залучених ресурсів. Це можуть бути енергоконсалтингові та енергосервісні компанії.

Примітка 2. Енергоаудитор – чи то внутрішній, чи то зовнішній – повинен працювати з внутрішнім персоналом, який має відношення до визначеної сфери застосування енергоаудиту.

3.6 енергетичний баланс (energy balance)
розрахунок обсягів вхідних енергоресурсів та/або енергетичних ресурсів власного виробництва та порівняння їх з обсягами вихідних енергоресурсів, отриманих з обсягів споживання енергії на рівні кінцевого використання енергії.

Примітка 1. Акумуляування енергії розглядається у межах енергопостачання або використання енергії. Енергетичний баланс, якщо він входить до характеру та обсягу з робіт з енергетичного аудиту, повинен охоплювати різні види акумуляування та зберігання енергії та вихідної сировини, а також непродуктивні втрати енергії або вміст енергії у матеріальних потоках.

Примітка 2. Енергетичний баланс узгоджує всі енергетичні та продуктивні (матеріальні) ресурси, які входять до меж системи, з енергетичними та продуктивними (матеріальними) ресурсами, що залишають межі системи.

3.7 споживання енергії; енергоспоживання (energy consumption)
кількість використаних (спожитих) енергоресурсів.

3.8 енергоефективність; енергетична ефективність (energy efficiency)
співвідношення (коефіцієнт) або інший кількісний взаємозв'язок між отриманим результатом (вихідний показник), тобто між виконаною роботою, наданими послугами, виробленими товарами чи енергією і вхідним показником, тобто вхідним рівнем енерговитрат.

Приклад. Коефіцієнт перетворення; необхідна енергія / використана енергія; вироблена потужність / споживана потужність; енергія, теоретично необхідна для виконання роботи / енергія, фактично використана для виконання роботи.

Примітка. Необхідно, щоб вхідні і вихідні характеристики були чітко встановлені як кількісно, так і якісно, щоб їх можна було вимірювати.

3.9 потік енергії (energy flow)
опис чи відображення процесів передачі енергії або перетворення енергії в межах, що визначені характером робіт з енергоаудиту.

3.10 рівень досягнутої (досяжної) енергоефективності (energy performance)
вимірювані результати, пов'язані з енергетичною ефективністю, використанням енергії та споживання енергії.

3.11 індикатор (показник) енергоефективності; IEE (energy performance indicator (EnPI))

кількісне значення чи міра рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності, що їх визначає організація.

Примітка. Показник енергетичної ефективності може бути представлено простою метричною одиницею, співвідношенням, або ж у вигляді більш складної моделі

3.12 використання енергії; енерговикористання (energy use)

спосіб або вид практичного застосування енергії.

Приклад. Вентиляція; освітлення; опалення; охолодження; транспорт; технологічні процеси; виробничі лінії.

3.13 визначальна змінна (relevant variable)

кількісний параметр, що впливає на споживання енергії.

Приклад. Погодні показники навколишнього середовища; робочі параметри (температура в приміщенні, рівень освітленості); години роботи; виробнича пропускна здатність (продуктивність).

3.14 методика проведення енергетичного аудиту

Система методичних, технічних та організаційних процедур обстеження й аналізу ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів підприємством, розроблення рекомендацій та їх техніко-економічне обґрунтування згідно з поставленим завданням підприємства у сфері енергозбереження.

3.15 потенціал енергоощадження

Максимально можлива сумарна економія паливно-енергетичних ресурсів, отримана за певний період часу, за оптимального використання передового технологічного й енергетичного устаткування, застосування передових технологій, наукової організації виробництва за умови виконання технічних і технологічних вимог, а також вимог до якості продукції, охорони довкілля та охорони праці.

3.16 базовий рівень енергоспоживання; БРЕ (energy baseline; EnB)

Кількісний показник, що дає основу для порівняння рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.

Примітка 1. БРЕ пов'язують із певним проміжком часу.

Примітка 2. БРЕ може бути унормованим із використанням параметрів, що впливають на енерговикористання та/чи енергоспоживання, наприклад рівень виробництва, градусо-доби (зовнішня температура) тощо.

Примітка 3. Базовий рівень енергоспоживання можна також використовувати для розрахунку заощаджень енергії як точки відліку для відображення ситуації до і після впровадження заходів, спрямованих на підвищення рівня досягнутої/досяжної енергетичної ефективності.

3.17 значне (суттєве) використання енергії; СВЕ (significant energy use; SEU)

Використання енергетичних ресурсів, що є суттєвим споживанням енергії та/або потенційним істотним підвищенням рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.

Примітка. Суттєвість критерію визначає організація.

Додаток В. Технічне завдання на проведення енергоаудиту промислового підприємства (типова форма)

Типове технічне завдання на надання послуг з проведення енергетичного аудиту

1. Цілі роботи

1.1. Оцінити ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) підприємства.

1.2. Оцінити потенціал енергозбереження та розробити заходи, що забезпечують економічно обґрунтоване підвищення ефективності використання ПЕР (розробка програми по енергозбереженню).

1.3. Визначити можливості впровадження відновлювальних джерел енергії.

1.4. Виконати детальний енергоаудит (енергоаудит типу В) у відповідності до вимог стандарту ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та нова програма щодо їх проведення».

2. Об'єкти енергетичного обстеження

2.1. Системи електропостачання і електроспоживання та їх елементи:

- трансформаторні підстанції;
- зовнішні та внутрішні силові кабельні мережі;
- освітлювальні внутрішні та зовнішні мережі і обладнання;
- система комерційного обліку електроенергії;
- енергоспоживаюче обладнання.

2.2. Системи тепlopостачання і теплоспоживання:

- теплогенеруюче обладнання котельні;
- зовнішні теплові мережі та паропроводи;
- внутрішні теплові мережі;
- опалювальні прилади (теплогенератори і радіатори).

2.3. Системи газопостачання та газоспоживання:

- ГРП;
- система комерційного обліку газу.

2.4. Гаряче водопостачання:

- зовнішні і внутрішні мережі.

2.5. Система вентиляції і кондиціонування:

- припливні та витяжні вентиляційні системи.
- кондиціонери.

2.6. Система стисненого повітря:

- компресори
- повітропроводи та споживачі стисненого повітря.

2.7. Існуюча система управління використанням паливно-енергетичних ресурсів.

2.8. Будівлі.

3. Зміст роботи

3.1. Документальне обстеження

На цьому етапі передбачається збір наступної інформації про підприємство:

- Опис виробничої структури підприємства.
- Генплан підприємства з експлікацією приміщень.
- Дані щодо помісячного споживання паливно-енергетичних ресурсів за останні 3–5 років. Якщо є декілька лічильників, то окремо по кожному лічильнику.
- Паро-конденсатний баланс підприємства.
- Дані щодо випуску продукції по товарним групам за останні 3–5 років та плану на поточний рік.

- Дані щодо заходів з економії паливно-енергетичних ресурсів запланованих до впровадження в поточному році (назва та короткий опис заходу, де планується впровадити, величина запланованої економії).
- Однолінійна схема електропостачання та короткий опис системи електропостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників електроенергії.
- Схема теплопостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників теплоенергії (за їх наявності).
- Енергетичний паспорт підприємства.
- Дані про основні технологічні, адміністративні та допоміжні будівлі та споруди підприємства: назва будівлі, призначення, будівельний об'єм, кількість поверхів, матеріал огорожувальних конструкцій, площа застелення, температурний режим, наявність систем опалення та вентиляції, кількість душових та рукомийників, що використовують гарячу воду.
- Дані про теплогенеруюче обладнання: назва, марка, кількість, місце встановлення, режими роботи, а також технічна документація на обладнання (режимні карти, технічні паспорти).
- Дані про основне технологічне паливоспоживаюче обладнання: назва, марка, режимні карти, технічні паспорти, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.
- Дані про основне технологічне теплоспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.
- Дані про основне технологічне електроспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.
- Дані про електроспоживаюче обладнання допоміжних цехів (насосних, котельних, компресорних, механічних та інструментальних цехів, автопарків тощо): назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік.
- Дані про систему освітлення цехів та приміщень: назва, марка, кількість, потужність (електрична), місце встановлення, тривалість роботи за рік.
- Дані про систему зовнішнього освітлення: назва, марка, кількість, потужність (електрична), тривалість роботи за рік.

3.2. Інструментальне обстеження:

Обсяг необхідних інструментальних вимірювань визначається на етапі розроблення плану енергоаудиту та погоджується з замовником.

3.3. Аналіз інформації та розробка заходів з енергозбереження:

- оцінка показників якості електроенергії та рівня компенсації реактивної потужності;
- обстеження технічного стану та режимів роботи основного енергоспоживаючого обладнання;
- обстеження технічного стану та режимів роботи обладнання та систем вентиляції і кондиціонування;
- обстеження технічного стану та режимів роботи обладнання та систем газопостачання;
- розрахунок фактичних показників енергоефективності будівель, найбільш енергоспоживаючого теплотехнічного та електричного обладнання;
- розрахунок фактичних показників ефективності використання ПЕР на підприємстві;
- порівняння фактичних та планових (нормованих) показників енергоефективності будівель, найбільш енергоспоживаючого теплотехнічного та електричного обладнання та по підприємству в цілому;

- оцінка величини втрат теплової енергії в елементах теплової мережі підприємства;
- складання балансу споживання паливно-енергетичних ресурсів за кожним видом ПЕР в аналітичній формі;
- оцінка потенціалу енергозбереження підприємства;
- визначення напрямів підвищення енергетичної ефективності;
- розробка пропозицій щодо можливостей удосконалення існуючої системи управління використанням паливно-енергетичних ресурсів;
- розробка програми та заходів з енергозбереження і підвищення енергоефективності:
- розробка економічно доцільних заходів щодо підвищення ефективності використання ПЕР на підприємстві;
- проведення техніко-економічної оцінки запропонованих заходів (експертна оцінка інвестицій і термінів окупності) та їх ранжування за пріоритетом.
 - визначення величини щорічного зниження обсягів споживання ПЕР на одиницю продукції;
 - розробка звіту про проведення енергетичного обстеження з заходами, що забезпечують економічно обґрунтоване підвищення ефективності та використання ПЕР на підприємстві.

4. Терміни виконання роботи

Термін виконання робіт – від 3 місяців з моменту внесення авансового платежу та підписання договору.

5. Кваліфікаційні вимоги до виконавця

Потенційний виконавець робіт з енергетичного аудиту повинен мати знання та навички, необхідні для здійснення визначених характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту. Про компетентність енергоаудитора можуть свідчити:

- відповідний рівень освіти, навичок, досвіду та/або підготовки з урахуванням місцевих або національних керівних принципів і рекомендацій;
- відповідні технічні навички, специфічні для використання енергії, характеру робіт, меж і мети енергоаудиту;
- знання відповідних законодавчих та інших вимог;
- знання про види енергії, яку використовують та яка підлягає обстеженню;
- знання вимог стандарту ISO 50002, національних та місцевих стандартів енергоаудиту;
- наявність (для члена команди, якого призначено провідним енергоаудитором) навичок з управління та керування командою з енергоаудиту: щоб управляти командою, провідному аудиторі слід мати управлінські, професійні та лідерські навички.

6. Вимоги щодо якості виконання робіт з енергетичного аудиту

Під час виконання робіт з енергетичного аудиту та готування звіту за його результатами виконавець має виконувати такі вимоги:

- безупинно дотримуватися умов договору, вимог чинного законодавства та план-графіка виконання робіт;
- глибина виконання оцінки енергетичної ефективності об'єктів енергоаудиту, а також аналізу та розроблення заходів з енергетичної ефективності має відповідати вимогам ДСТУ ISO 50002 до аудитів типу 2;
- структура та наповнення звіту про енергетичний аудит має відповідати вимогам ДСТУ ISO 50002;
- якість оформлення звіту має відповідати вимогам ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення;
- результати енергоаудиту мають доповідатися та обговорюватися на заключній нараді з представниками замовника.

**Додаток Г.
Спрощений
опитувальний
лист для
визначення
вартості
енергоаудиту
(типова форма)**

ТИПОВИЙ ОПИТУВАЛЬНИЙ ЛИСТ
для проведення попередньої оцінки вартості
робіт з енергетичного аудиту

Загальні дані про підприємство:

Найменування	
Повна адреса	
Керівник	
Профіль діяльності (вказати конкретні види продукції або напрямки діяльності деталізовано)	
Відповідальна особа	
Контакти відповідальної особи	
Графік роботи	
Кількість промислових майданчиків	
Загальна площа території виробничої частини, га	
Дата останнього енергоаудиту	
Наявність схем електропостачання (зовнішнього та внутрішньо-цехового)	
Наявність схеми тепlopостачання підприємства	

Цілі проведення енергоаудиту (потрібне виділити):

- отримання об'єктивної картини структури і ефективності споживання ПЕР всередині підприємства;
- отримання плану заходів для зменшення енергетичної складової в собівартості кінцевого товару;
- отримання енергопаспорту підприємства;
- проведення модернізації виробництва і оцінення рівня її енергоефективності;
- проведення локального енергоаудиту найбільш енергоємної установки;
- підготовка техніко-економічного обґрунтування проєктів для пошуку джерел фінансування для модернізації виробництва.

Очікувана тривалість проведення енергоаудиту _____ місяців.

Дані щодо споживання паливно-енергетичних ресурсів і виробництва продукції.

Обсяги річного споживання паливно-енергетичних ресурсів.

№	Найменування паливно-енергетичного ресурсу	Од. виміру	Обсяг
1	Електрична енергія	тис. кВт * год	
		т у. п.	
2	Теплова енергія	Гкал	
		т у. п.	
3	Паливо		
		газ природний	т у. п.
		газ нафтовий	т у. п.
		вугілля	т у. п.
		мазут	т у. п.
	дизельне паливо	т у. п.	
4	Вода	м ³	

Характеристика джерел та систем постачання та споживання паливно-енергетичних ресурсів

Загальні дані.

№	Найменування ПЕР	Джерело постачання
1	Електрична енергія	
2	Теплова енергія	
3	Паливо	
		газ природний
		газ нафтовий
		вугілля
		мазут
	дизельне паливо	
4	Вода	

Дані про прилади обліку і контролю споживання ПЕР.

Кількість електричних вводів				
до 1 кВ		в т. ч. оснащених приладами обліку		
понад 1 кВ				
Кількість трансформаторних підстанцій				
ПС 35/10 кВ		в т. ч. оснащених приладами обліку	в т. ч. оснащених приладами компенсації реактивної потужності	
КТП (Г, Н) -10 / 0,4 кВ				
Кількість теплових вводів		в т. ч. оснащених приладами обліку		
Кількість газових вводів		в т. ч. оснащених приладами обліку		
Кількість вводів води		в т. ч. оснащених приладами обліку		

Характеристика системи електропостачання

Типи трансформаторних підстанцій	
Встановлена потужність трансформаторних підстанцій, тис. кВА	
Висока/низька напруга трансформатора	
Кількість ліній електропередачі напругою:	
до 1 кВ	
вище 1 кВ	
Заявлена потужність у години максимум	
Коефіцієнт потужності підприємства на межі балансової приналежності	

Характеристика системи тепlopостачання.

Кількість котлів і їх типи			
Наявність сторонніх споживачів теплової енергії, виробленої:			
паровими котлами		в т. ч. на технологію	
водогрійними котлами		в т. ч. на технологію	
Відсоток повернення конденсата			
Кількість теплових пунктів			
Протяжність теплових мереж, м			
З них з тепловою ізоляцією, м			
Кількість встановлених рекуператорів тепла		в т. ч. на технології	

Характеристика енергоємних електроустановок технологічного призначення.

Найменування найбільш енергоємних технологічних електроустановок	Кількість, шт.	Потужність сумарна, кВт	Режим роботи

**Додаток Е.
Протокол
попередньої
наради
(приклад)**

ПРОТОКОЛ НАРАДИ
для проведення попередньої оцінки вартості
робіт з енергетичного аудиту

Дата 5.11.2018
Місце проведення Кабінет генерального директора ТОВ «ПК ПОЖМАШИНА»
Назва проєкту Проведення енергетичного аудиту ТОВ «ПК ПОЖМАШИНА»

Учасники

Учасники від енергоаудиторської компанії	Учасники від підприємства/інші
Свистюк Сергій Віталійович — менеджер з управління проєктами компанії ДТЕК ЕСКО	Борщ Олег Борисович — Генеральний директор
Пертко Павло Петрович — керівник проєктної групи	Небера Олег Леонідович — Заступник директора з технічних питань
Кульбачний Павло Вікторович — провідний консультант	Бульба Олександр Віталійович — Головний енергетик
Сафьянц Артем Сергійович — провідний консультант	
Пір Шубак — консультант проєкту GIZ	

Надсилання протоколу електронною поштою Протокол склав: (відповідальна особа)

Просимо відмітити всіх отримувачів: всім учасникам. Свистюк С. В.

Додатково протокол надіслати (кому): —

Теми обговорення

Учасники від енергоаудиторської компанії	Учасники від підприємства/інші
План і ключові особливості проведення енергетичного аудиту.	<ol style="list-style-type: none"> представники підприємства будуть максимально сприяти аудиторам у їх роботі і надавати всю інформацію, що буде від них вимагатися в рамках проведення енергетичного аудиту в максимально короткі терміни; відповідальною особою з питань проведення енергетичного аудиту від підприємства призначити Бульбу О. В. (головний енергетик).

Учасники від енергоаудиторської компанії	Учасники від підприємства/інші
Виявлення меж енергетичного аудиту.	<p>В межах енергетичного аудиту будуть розглядатися наступні сфери споживання енергетичних ресурсів:</p> <ol style="list-style-type: none"> система виробництва (компресорні) та розподілу стисненого повітря по території заводу; система газопостачання та основне газоспоживаюче обладнання; трансформаторні підстанції; суттєві споживачі енергоресурсів ливарного виробництва. суттєві споживачі енергоресурсів гальванічного цеху. розглянути можливість використання ВДЕ.
Ключова інформація, необхідна для проведення енергетичного аудиту.	Обстеження (проведення замірів на території підприємства) енергоаудиторами заплановано не раніше ніж на 19.11.2018
Строк початку обстеження.	
Теми обговорення	
Із Протоколом ознайомлений(на)	Із Протоколом ознайомлений(на)
ПІБ: Свистюк Сергій Віталійович	ПІБ: Небера Олег Леонідович
Дата:	Дата:
Підпис:	Підпис:

**Додаток Ж.
Форми деталі-
зованих опиту-
вальних листів
енергоаудитора
(робочі форми)**

**ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЇ,
НЕОБХІДНОЇ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЕТАПУ
ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТА**

- 1) Короткий опис виробничої структури підприємства та організаційної структури підприємства.

Підрозділ	Режим роботи	Кількість працюючих
Адміністрація		
Основні технологічні		
Допоміжні		

- 2) Генплан підприємства з експлікацією будівель (приміщень).
3) Режим роботи підприємства.
4) Однолінійна схема електропостачання та короткий опис системи електропостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників електроенергії (за їх наявності).
5) Схема тепlopостачання підприємства із зазначенням місць встановлення лічильників теплоенергії (за їх наявності).
6) Енергетичний паспорт підприємства.
7) Технологічні схеми випуску продукції та їх короткий опис (або короткий опис технологічного процесу випуску кожного з видів продукції).

- 8) Дані щодо помісячного споживання паливно-енергетичних ресурсів за 2015-2019 роки. Якщо є декілька лічильників, то окремо по кожному лічильнику.

Найменування ПЕР	Одиниця виміру	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
1. Електроенергія	кВт*год					
2. Котельно-пічне паливо	т у. п.					
2.1. Газоподібне паливо						
2.2. Тверде паливо						
2.3. Рідке паливо						
3. Теплова енергія	Гкал					
4. Стиснене повітря	МПа					
5. Вода	л, (т)					
5.1. Водопровідна						
5.2. Артезіанська						

9) Відомості про ціни та тарифи на споживані паливно-енергетичні ресурси.

Найменування ПЕР	Одиниця виміру	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
1. Електроенергія	грн/ кВт*год					
2. Котельно-пічне паливо	грн/т у. п.					
2.1. Газоподібне паливо	грн/т у. п.					
2.2. Тверде паливо	грн/т у. п.					
2.3. Рідке паливо	грн/т у. п.					
2.4. Альтернативні (місцеві) види палив	грн/т у. п.					
3. Теплова енергія	грн/Гкал					
4. Стиснене повітря	грн/м ³					
5. Вода	грн/м ³					
5.1. Водопровідна	грн/м ³					
5.2. Артезіанська	грн/м ³					

10) Відомості про технічний облік споживання енергоносіїв та води в поточному році.

Найменування енергоносія	Місце встановлення приладу обліку	Кількість приладів обліку	Примітка
1. Котельно-пічне паливо			
1.1. Газоподібне паливо			
1.2. Тверде паливо			
1.3. Рідке паливо			
1.4. Альтернативні (місцеві) види палив			
2. Електроенергія			
3. Теплова енергія			
3.1. Тиск			
3.2. Температура прямої і зворотної води			
3.3. Температура перегріву пари			
3.4. Ступінь сухості пари			
4. Стиснене повітря			
4.1. Тиск			
5. Вода			
5.1. гаряча вода			
5.2. холодна вода			

11) Дані щодо випуску продукції по товарним групам за 2015–2019 роки.

Найменування	Одиниця виміру	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
1. Виробництво продукції в натуральному виразі						
1.1. Основна продукція						
1.2. Додаткова продукція						
2. Складова вартості енергоресурсів в собівартості готової продукції						

12) Відомості про трансформаторні підстанції.

Виробництво, цех, ділянка	Номер підстанції	Рік введення в експлуатацію	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Сумарна потужність підстанції, кВА	Напруга, кВ вища/нижча

13) Дані про основні технологічні, адміністративні та допоміжні будівлі та споруди підприємства: назва будівлі, призначення, будівельний об'єм, кількість поверхів, матеріал огорожувальних конструкцій, площа застелення, температурний режим, наявність систем опалення та вентиляції, кількість душових та рукомийників, що використовують гарячу воду.

Назва будівлі, споруди, цеху	Площа будівлі, м²		Стисла характеристика будівлі				
	загальна	опалювана	площа забудови, м²	будівельний об'єм, м³	Кількість поверхів	матеріал огорожувальних конструкцій	площа застелення, м²

Назва будівлі, споруди, цеху	Опалювальний об'єм, м³	Тип системи (одно-двотрубна)	Теплоносій (пар, вода)/ його параметри	Вид опалювальних приладів (радіатори, реєстри)	Кількість нагрівальних приладів	Наявність автоматики регулювання системи опалення

14) Дані про теплогенеруюче обладнання: назва, марка, кількість, місце встановлення, режими роботи а також технічну документацію на обладнання (режимні карти, технічні паспорти).

Паливо: основне – природний газ;

резервне – _____

Тип котлоагрегата	Рік введення в експлуатацію	Кількість	Продуктивність, проєктн./факт.*, т/год, Гкал/рік	Тиск, роб./факт.*, МПа	ККД «брутто» за даними останніх випробувань, %	ККД за паспортом, %
1	2	3	4	5	6	7

Тип котлоагрегата	Питома витрата палива на вироблення тепла факт./ норм.* кг у. п./Гка	Річна витрата палива по комерційному обліку, тис. т у. п.	Річне вироблення тепла по приладовому обліку, Гкал
1	8	9	10

* Визначається за паспортними даними.

15) Дані про основне технологічне паливоспоживаюче обладнання: назва, марка, режимні карти, технічні паспорти, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.

Призначення, напрямок використання	Найменування агрегата, тип, марка, характерний розмір, рік введення в експлуатацію	Кількість	Продуктивність агрегата (паспортна) по продукту,.../год

Призначення, напрямок використання	Питома витрата палива на одиницю продукції, кг у. п./...		Найменування і коротка характеристика теплоутилізаційного устаткування, температура газів, що відходять, °С
	фактично за 200...р.	норматив витрати	
1	5	6	7

16) Дані про основне технологічне теплоспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.

Призначення, напрямок використання агрегата	Найменування агрегата, рік введення, тип, марка, вид енергоносія	Продуктивність агрегата (паспортна) по продукту,.../год	Кількість	Робочі параметри на вході/ на виході	
				тиск, МПа	температура, °С
1	2	3	4	5	6

Призначення, напрямок використання агрегата	Питома витрата теплової енергії на одиницю продукції, Гкал/...	ККД за паспортом, %	Конденсато-відвідник: тип, кількість	Наявність теплоутилізаційних пристроїв, температура конденсата, °С

17) Дані про основне технологічне електроспоживаюче обладнання: назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік, яку продукцію на ньому планується виробляти.

18) Дані про електроспоживаче обладнання допоміжних цехів (насосних, котельних, компресорних, механічних та інструментальних цехів, автопарків тощо): назва, марка, кількість, потужність (електрична), призначення, місце встановлення, тривалість роботи за рік.

Відомості про компресорне устаткування.

Тип компресора	Рік введення в експлуатацію	Кількість	Продуктивність, м³/год	Тиск, МПа	Потужність електроприводу, кВт	Час роботи компресора за рік по журналу, год/рік
1	2	3	4	5	6	7

Цех, ділянка, виробництво	Система охолодження (оборотне, водопровідне тощо)
1	8

Відомості про холодильне устаткування.

Тип тепловідвідного пристрою _____

Тип агрегата-джерела	Рік введення в експлуатацію	Потужність по холоду, Гкал/год	Температура в холодильній камері, °С	Установлена потужність, кВт	Питома витрата електроенергії, факт./норм., кВт*год/Гкал
1	2	3	4	5	6

Тип агрегата-джерела	Режим роботи, улітку/узимку, год/доб	Система відводу тепла від конденсатора	
		Витрата теплоносія влітку/узимку, т/год	Охолодження влітку/узимку, від... °С до... °С
1	7	8	9

- 19) Дані про систему освітлення цехів та приміщень: назва, марка, кількість, потужність (електрична), місце встановлення, тривалість роботи за рік.
- 20) Дані про систему зовнішнього освітлення: назва, марка, кількість, потужність (електрична), тривалість роботи за рік.
- 21) Дані щодо заходів з економії паливно-енергетичних ресурсів, що реалізовані за попередні п'ять років, або заплановані до впровадження в поточному році (назва та короткий опис заходу, де впроваджено/планується впровадити, величина отриманої/очікуваної економії).

**Додаток 3.
Приклад шаблону
звіту з енергоаудиту промисло-
вого підприєм-
ства**

ЗВІТ З ЕНЕРГОАУДИТУ

компанії
назва компанії-замовника

Повна адреса місця розташування

Підготовлено:
Назва компанії-виконавця
Повна адреса місця розташування

ПІБ Керівника компанії-виконавця
ПІБ Керівника групи енергоаудиторів

Дата складання звіту: ДД.ММ.РРРР



3.1. Резюме

Даний розділ може містити:

- опис передумов, меж та обсягу проведеного енергетичного аудиту, посилання на відповідний документ (наприклад, договір між підприємством та виконавцем енергоаудиту);
- короткий опис використання кожного із паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) із зазначенням суттєвих споживачів енергії, обсягів закупівлі та споживання окремих видів ПЕР у натуральних та грошових одиницях;
- висновки щодо ефективності використання енергетичних ресурсів та основних сфер непродуктивних втрат;
- перелік заходів з енергетичної ефективності (ЗЕЕ) із ранжуванням їх за пріоритетністю та короткими узагальнюючими поясненнями, що можуть надати додаткову важливу інформацію щодо кожного ЗЕЕ (наприклад, якщо заходи не можуть бути впроваджені один із одним, так як вони є взаємовиключними).

Приклад подання інформації щодо ЗЕЕ показано у вигляді таблиці 3.1.1.

Таблиця 3.1.1 –
Заходи з ЕЕ та їх очікувані
фінансові показники

Запропоновані ЗЕЕ	Пріоритет	Споживання у базовий період, кВт-год/рік	Споживання після підвищення ЕЕ, кВт-год/рік	Потенційна економія, кВт-год/рік	Інвестиція (UAH)	Очікувана окупність, роки	Чиста приведена вартість (UAH)	Внутрішня норма рентабельності, %
	1							
	1							
	2							
	3							
	3							
	3							
	4							
Всього								

Обсяг розділу бажано зробити невеликим, до 2-3 сторінок. Зазвичай цей розділ може читати обмежена в кількості часу особа, що приймає рішення у компанії, тому бажано зробити розділ самостійним та змістовним.

3.2 Вступ

3.2.1 Короткі відомості про виконавця енергетичного аудиту

В цьому підрозділі має бути надана коротка інформація щодо компанії-виконавця енергоаудиту, а також наведено інформацію щодо енергоаудиторів, що залучені до виконання енергоаудиту.

Приклад представлення короткої інформації щодо компанії-виконавця енергоаудиту наведено у вигляді таблиці 3.2.1.

Таблиця 3.2.1 –
Контактні дані компанії-
виконавця енергоаудиту

Назва компанії	
Рік заснування	
Адреса	
Контактна особа	
Телефон	
Ел. пошта	

Приклад представлення короткої інформації щодо енергоаудиторів, що залучені до виконання енергоаудиту, наведено у вигляді таблиці 3.2.2.

Таблиця 3.2.2 –
Загальні дані про склад
енергоаудиторської групи

ПІБ енергоаудитора	Посада	Ел. пошта	Моб. телефон	Розподіл обов'язків

3.2.2 Короткі відомості про замовника енергетичного аудиту

Цей підрозділ звіту може містити:

- Історичну довідку про компанію;
- Схему розташування цехів/обладнання;
- Перелік видів продукції та опис/схему технологічного ланцюжка;
- Загальну характеристику джерел надходження ПЕР;
- Опис систем та принципів схем енерго- та ресурсопостачання;
- Загальну характеристику інженерних систем;
- Характеристику систем обліку споживання ресурсів.

Фотокопії додаткових матеріалів, наприклад, опитувальника для підготовки енергетичного аудиту, генплан підприємства та інше рекомендовано навести в Додатках до звіту.

Приклад представлення загальної інформації щодо компанії-замовника енергоаудиту наведено у вигляді таблиці 3.2.3.

Таблиця 3.2.3 –
Загальна інформація
про підприємство

Назва	
Галузь промисловості	
Адреса	
Контактна особа	
Телефон	
Ел. пошта	
Рік введення в експлуатацію	
Загальна кількість працівників	
Тривалість робочої зміни	
Основна продукція	
Система енергоменеджменту	

3.2.3
Опис процесу планування та проведення енергоаудиту

Цей підрозділ звіту може містити рамкові умови проведення енергетичного аудиту, наприклад, посилання на державні стандарти чи нормативні вимоги. Більш детально про підготовку, планування та проведення енергетичного аудиту приведено у розділах 2 та 3 Посібника.

3.2.3.1
Визначення мети енергетичного аудиту

В цьому пункті звіту наводиться мета проведення енергетичного аудиту. Рекомендації щодо формулювання мети енергетичного аудиту наведено в п.2.1. Посібника.

Приклад: Аналіз ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) об'єктами підприємства. Розробка комплексу заходів з енергоефективності, спрямованих на зниження енергетичних витрат підприємства.

3.2.3.2
Визначення обсягу та меж енергетичного аудиту

Цей пункт звіту має чітко визначити межі енергетичного аудиту, а також перелік основних робіт, що мали бути виконаними у відповідності до технічного завдання.

Обсяг та межі енергетичного аудиту можуть бути визначені впродовж першої зустрічі та узгоджені протоколом, фотокопію якого рекомендовано навести в додатку 3.1.

3.2.3.3
Опис методики проведення енергетичного аудиту

Цей пункт звіту може містити короткий опис основних етапів проведення енергетичного аудиту.

3.2.3.4
Опис вимірювань та обстежень, що було проведено на об'єкті енергоаудиту

Цей пункт звіту може містити перелік вимірювань та обстежень, що було проведено на об'єкті, включаючи:

- місця та методи проведення вимірювань;
- показники, що фіксувалися;
- кількість, частота та тривалість фіксації показників;
- обладнання, що було використано.

Більш детально про планування та проведення вимірювань наведено в розділі 6 Посібника.

3.3
Докладна інформація про об'єкт енергоаудиту

3.3.1
Аналіз статистичних даних

В цьому підрозділі має міститися така інформація:

- виробничі та технологічні дані для оцінки обсягів виробництва за останні 3 роки;
- щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами (за останні 3 роки);
- щомісячний попит на енергоносії (обсяг їх використання та вартість за останні 3 роки);
- тарифи на енергоносії за останні 3 роки;
- актуальний добовий графік електричного навантаження.

Дані щодо споживання ПЕР можна представити у вигляді таблиці, приклад якої наведено нижче.

Таблиця 3.3.1 – Дані щодо споживання ПЕР за 2017-2019 рр.

Місяць	Теплова енергія, Гкал	Електрична енергія, кВт*год	Холодна вода, м ³	Гаряча вода, м ³	Газ, м ³	Паливо пелети, т	Паливо щепи, м ³	Інший вид палива
Січень 2017 р.								
...								
Грудень 2017 р.								
Загалом 2017 р.								
Січень 2018 р.								
...								
Грудень 2018 р.								
Загалом 2018р.								
...								
Загалом 2019 р.								

Примітка: Важливо представляти дані не тільки у вигляді таблиць, а й графіків, гістограм, т.з. «теплових карт» (напр. рисунок 3.3.1) тощо. Аналіз профілю річного, місячного або денного використання енергії може надати додаткову інформацію щодо факторів, що впливають на обсяг та ефективність споживання енергетичних ресурсів.

3.3.1.1
Аналіз виробничої діяльності

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо виробничої діяльності підприємства та щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами (за останні 3 роки). Зазвичай інформація подається у вигляді таблиць та діаграм динаміки виробництва продукції.

Приклад представлення щомісячних даних щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами (за останні 3 роки) показано в таблиці 3.3.2.

Таблиця 3.3.2 –
Щомісячні дані щодо обсягів виробництва продукції за товарними групами за 2017-2019 рр.

Місяць	Вид продукції						Інший вид продукції
	Продукція 1	Продукція 2	Продукція 3	Продукція ...	Продукція ...	Продукція N	
Січень 2017 р.							
...							
Грудень 2017 р.							
Загалом 2017 р.							
Січень 2018 р.							
...							
Грудень 2018 р.							
Загалом 2018 р.							
...							
Загалом 2019 р.							

Після представлення статистичної інформації у вигляді рисунків та таблиць має бути наведено аналіз цієї інформації та зроблені короткі висновки щодо монотонності та сезонності виробництва, завантаженості технологічного обладнання та технологічних ліній тощо. Доцільним буде порівняння обсягів виробленої продукції з її запасами на складах.

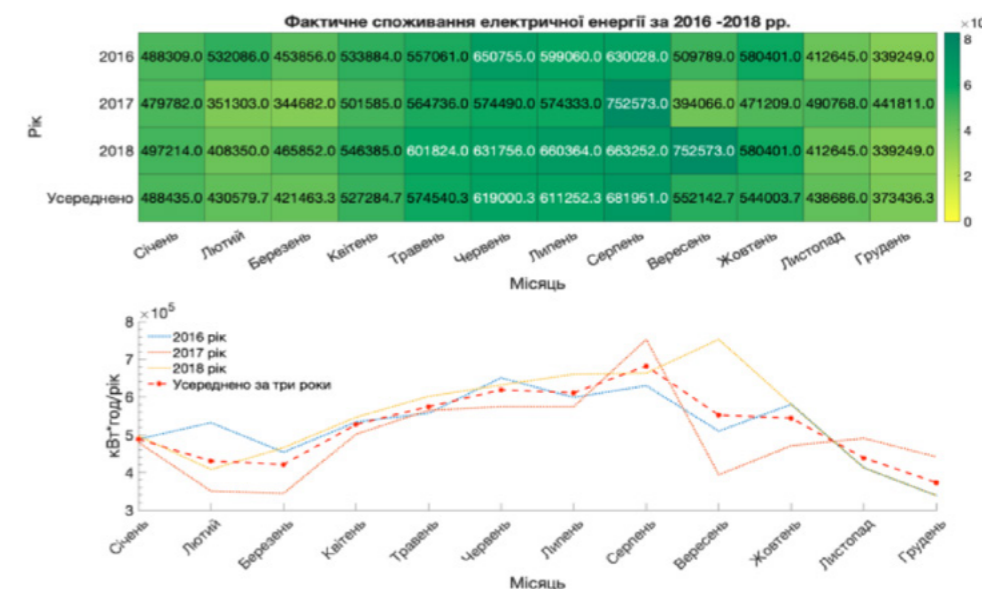
Неопрацьовані вихідні дані щодо споживання енергоресурсів та вироблення продукції рекомендовано приводити в додатках до звіту.

3.3.1.2
Споживання електричної енергії

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо щомісячних обсягів споживання електричної енергії підприємством та окремими його підрозділами (у випадку її наявності). Зазвичай інформація подається у вигляді таблиць та діаграм динаміки споживання електроенергії.

Приклад графічного представлення даних щодо щомісячних обсягів споживання електричної енергії підприємством та окремими його підрозділами (за останні 3 роки) показано на рисунку 3.3.1.

Рисунок 3.3.1 –
Динаміка помісячного споживання електричної енергії за 2016-2018 роки



Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Ніколаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проєкт «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

Після представлення статистичної інформації у вигляді рисунків та таблиць має бути наведено аналіз цієї інформації та зроблені короткі висновки щодо монотонності та сезонності споживання електроенергії. Доцільним буде порівняння обсягів споживання електроенергії та виробленої продукції за однакові місяці різних років та зробити висновки щодо тенденцій в обсягах споживанні та питомому споживанні електроенергії протягом останніх трьох років.

3.3.1.3
Споживання природного газу

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо щомісячних обсягів споживання природного газу підприємством та окремими його підрозділами (у випадку її наявності). Рекомендації щодо оформлення цього пункту звіту подібні до тих, що наведені у п. 3.3.1.2.

3.3.1.4
Споживання інших видів ПЕР

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо щомісячних обсягів споживання природного газу підприємством та окремими його підрозділами (у випадку її наявності). Рекомендації щодо оформлення цього пункту звіту подібні до тих, що наведені у п. 3.3.1.2.

3.3.1.5
Споживання
холодної води

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо щомісячних обсягів споживання холодної води підприємством та окремими його підрозділами (у випадку її наявності). Рекомендації щодо оформлення цього пункту звіту подібні до тих, що наведені у п. 3.3.1.2.

3.3.1.6
Споживання
стисненого повітря

В цьому пункті звіту має міститися інформація щодо щомісячних обсягів споживання стисненого повітря підприємством та окремими його підрозділами (у випадку його наявності). Рекомендації щодо оформлення цього пункту звіту подібні до тих, що наведені у п. 3.3.1.2.

3.3.1.7
Тарифи на енергоносії

Таблиця 3.3.3 –
Дані щодо тарифів
на електричну енергію
за останні 2018-2020 рр.,
грн./кВт-год

Приклад представлення даних щодо тарифів на енергоносії за останні роки наведено у таблиці 3.3.3.

Місяць	Роки		
	2018	2019	2020
Січень			
...			
Грудень			

3.3.1.8
Актуальний добовий
графік електричного
навантаження

Добовий графік електричного навантаження для типової літньої та зимової доби зазвичай є частиною договору на постачання електроенергії. Приклад такого графіка наведено на рисунках 3.3.2 та 3.3.3.

Рекомендації щодо отримання цих графіків наведені в основній частині цього Посібника.

3.3.2
Результати
вимірювань

Цей розділ може містити безпосередні результати збору даних та вимірювань та їх аналіз. Більш детально цю інформацію наведено у розділах 6 та 8 Посібника. Неопрацьовані результати замірів, фотоматеріали, схеми, результати тепловізного обстеження та інше рекомендовано наводити в додатках до звіту.

Рисунок 3.3.2 –
Графік добового електричного
навантаження

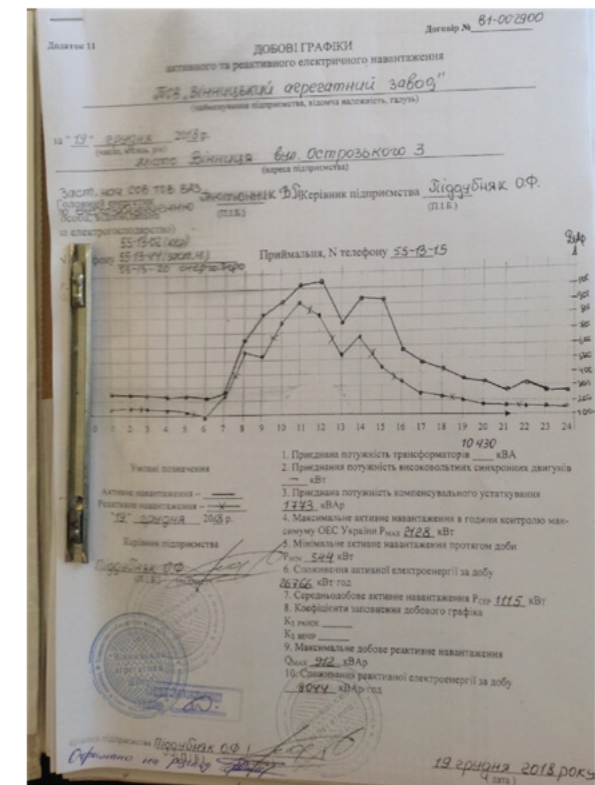
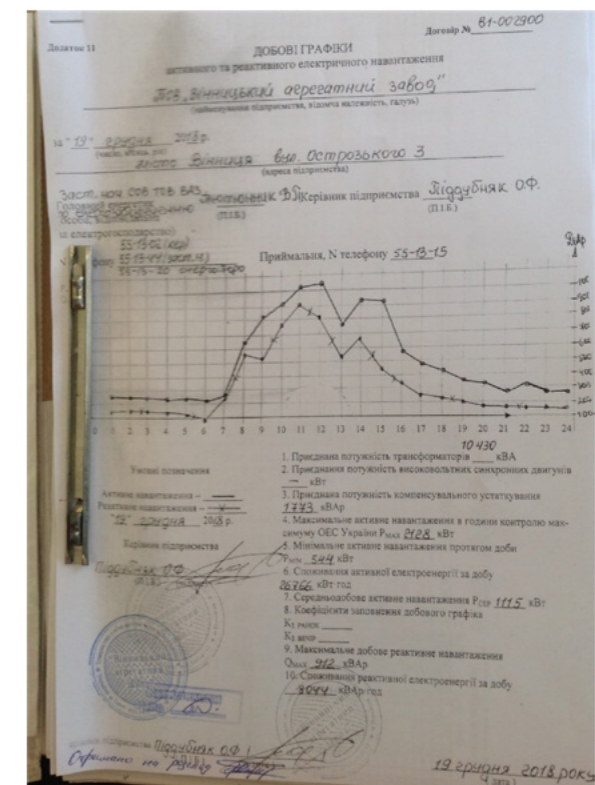


Рисунок 3.3.3 –
Відомість погодинного
електричного навантаження



3.3.2.1
Аналіз ефективності спалювання палива котлами, печами та теплогенераторами

Для аналізу ефективності спалювання палива існують відомі методики прямого або зворотного балансу. Крім того, для котлів мають бути наявні оновлені карти пуско-налагоджувальних робіт. Додатково ефективність спалювання палива може бути оцінена за допомогою вимірювань газоаналізаторами із наявністю відповідного функціоналу.

3.3.2.2
Аналіз стану теплоізоляції котлів та печей

Розділ може містити як результати термографічної зйомки стану теплоізоляції котла та печей, так і результати фотофіксації. У загальному випадку аналіз має надати достатньо інформації для проведення подальших розрахунків втрат та можливостей з енергозбереження. Для цього може збиратися наступна інформація:

- площа поверхні;
- температура поверхні;
- матеріал поверхні;
- матеріал ізоляції та можливі додаткові вимоги до нього, наприклад, стійкість до хімічної корозії;
- стан ізоляції, в тому числі наявність та площа ділянок із недостатньою або відсутньою ізоляцією.

3.3.2.3
Аналіз стану теплоізоляції систем розподілу пари та гарячої води

Рекомендації щодо наповнення розділу подібні до п. 3.3.2.2.

3.3.2.4
Аналіз стану теплоізоляції систем зберігання та розподілу холодоносія

Рекомендації щодо наповнення розділу подібні до п. 3.3.2.2.

3.3.2.5
Аналіз стану радіаторів опалення та теплоізоляції будівель

Рекомендації щодо наповнення розділу подібні до п. 3.3.2.2.

3.3.2.6
Аналіз стану теплоізоляції систем зберігання та розподілу холодоносія

Рекомендації щодо оформлення цього пункту звіту наведені в основній частині цього Посібника (див. п. 6.6.4).

3.3.2.7
Виявлення витіків повітря та пари

Стиснене повітря та пара є одними з найдорожчих енергоресурсів на підприємстві, тому заходи щодо скорочення їх споживання та непродуктивних втрат можуть вважатися одними з першочергових.

Крім того, витіки стисненого повітря та/або пари дуже легко виявити за допомогою візуального обстеження. При цьому річні витрати підприємства через витіки стисненого повітря можна легко оцінити за допомогою, наприклад, таблиці 3.3.4 (за умови вартості електричної енергії на рівні 2,7 грн/кВт*год):

Таблиця 3.3.4 –
Оцінка втрат через витіки у системі стисненого повітря при тиску в системі 8 бар

Діаметр витіку	Тривалість	Енергоспоживання через виток	Витрати через виток
[мм]	[год]	[кВт*год/рік]	[грн/рік]
0,50	8.760	970	2 619
0,75	8.760	2.200	5 940
1,13	8.760	5.000	13 500
1,50	8.760	8.700	23 490
3,00	8.760	35.000	94 500

Таким чином розділ може містити результати обстеження трубопроводів пари та стисненого повітря із оцінкою розміру непродуктивних втрат.

3.3.2.8
Графіки електричних навантажень установок

В цьому параграфі наводяться результати вимірювань графіків електричних навантажень суттєвих споживачів електроенергії. Рекомендації щодо отримання цих графіків наведені в основній частині цього Посібника.

3.3.3
Аналіз енергоефективності

Поточний розділ може містити:

- Енергетичний баланс підприємства, узгоджений з даними вимірювань та річними звітними даними, включаючи сезонні або виробничі коливання (за необхідності).
- Визначення базового рівня енергоспоживання.
- Визначення основних показників енергетичної ефективності на рівні підприємства/системи/процесу або установки, де застосовно.
- Перелік суттєвих споживачів газу.
- Перелік суттєвих споживачів електричної енергії.
- Перелік суттєвих споживачів теплової енергії.
- Перелік суттєвих споживачів інших енергоресурсів.
- Перелік основних факторів та персоналу, що впливають на енергоспоживання.
- Коротка характеристика та оцінка дієвості обладнання для вимірювання та моніторингу енергоспоживання.

- Коротка характеристика та оцінка дієвості існуючих процедур управління та аналізу енергетичних даних.
- Енергетичний баланс.

Примітка: На першому етапі побудови енергетичного балансу необхідно у табличній формі скласти перелік споживачів енергії, у якому рекомендовано вказати потужності, режими роботи, річне споживання енергії. Приклад форми переліку основних (суттєвих) споживачів електричної енергії наведено в таблиці 3.3.5.

Таблиця 3.3.5 – Перелік суттєвих споживачів електроенергії

Електроенергія					
Номер/Назва	Тип споживача	Потужність (кВт)	Окремий лічильник	Річне споживання, кВт*год	Частка від загального споживання, %

Побудова енергетичного балансу підприємства є одним з найбільш складних та трудомістких задач. Однак, ДСТУ ISO 50002:2016 прямо не вимагає побудови такого балансу. Енергетичному аудиторі слід окремо узгодити необхідність складання балансу видобутку, переробки, транспортування, перетворення, розподілу і споживання всіх видів енергетичних ресурсів і енергії на підприємстві.

У разі, якщо такий баланс буде складатися, то він повинен бути зроблений з деталізацією мінімум до переліку значущих споживачів енергії. У звіті він може бути приведений у вигляді таблиці, кругової діаграми, діаграми Санкей. Приклади енергетичного балансу наведено нижче, в таблиці 3.3.6 та на рисунку 3.3.4.

Побудова енергетичного балансу виконується окремо для кожного виду енергії. Якщо споживання енергії має суттєві сезонні коливання, то бажано також складати баланс для окремих періодів часу.

Кількісна оцінка статей балансу може бути отримана за допомогою:

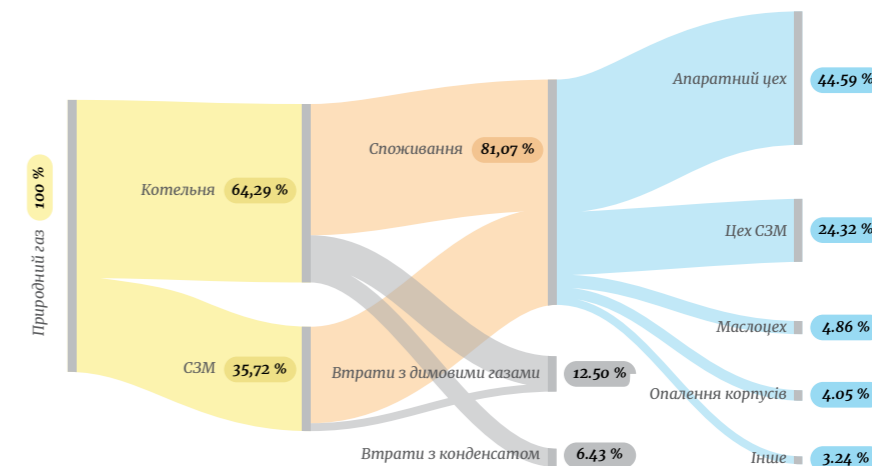
- звітних статистичних даних;
- лічильників (при наявності);
- приладових вимірів (наприклад, на шинах підключення групи обладнання);
- оціночним методом за допомогою опитування персоналу і оцінки часу роботи з урахуванням встановленої потужності.

Будь-який з цих методів може бути використаний при визначенні споживання, за умови, що описаний шлях, яким отримані дані. Варто відзначити, що використання оціночного методу виправдано і допускається, з урахуванням відсутності приладів обліку на підприємствах і обмежених ресурсів аудиторів.

Таблиця 3.3.6 – Річний баланс електроспоживання цеху

Стаття балансу	Річне споживання, тис. кВт*год/рік	% від загального
Обладнання 1		
Обладнання 2		
...		
Всього		100 %

Рисунок 3.3.4 – Баланс річного споживання природного газу



Перелік основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання.

Джерело: Звіт з енергетичного аудиту по компанії «молокозавод» / ТОВ «ЕСКО Україна» // В. Литвин, І. Далібожак, М. Ніколаєнко та ін. – К.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), проєкт «Енергоефективність у компаніях», 2019. – 130 с.

Примітка: Відповідно до вимог конфіденційності інформації назву та адресу підприємства було вилучено.

Приклад: Перелік впливових чинників та персоналу, від яких залежить енергоспоживання, наведено в таблиці 3.3.7.

Таблиця 3.3.7 – Перелік чинників, що впливають на енергоспоживання

Енергоресурс	Електроенергія			
	Обслуговуючий персонал	Зовнішня температура	Обсяги виробництва продукції	Інші чинники
Теплова енергія	+	+/-	+	
Електрична енергія	+	+	+	
Вода			+	
Газ				
Інший вид ПЕР				

Рекомендації щодо складання та аналізування ПЕБ наведені в основній частині цього Посібника.

3.3.3.1
Аналіз ефективності використання енергії електричними генераторами та в системі електропостачання

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії електричними генераторами та в системі електропостачання може бути знайдена в п. 8.6 Посібника.

3.3.3.2
Аналіз ефективності використання енергії у котельні та системі розподілу тепла

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії у котельні та системі розподілу тепла може бути знайдена в п. 8.7 Посібника.

3.3.3.3
Аналіз ефективності використання енергії у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії у повітряних компресорах та системі розподілу стисненого повітря може бути знайдена в п. 8.8 Посібника.

3.3.3.4
Аналіз ефективності використання енергії електричними двигунами

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії електричними двигунами може бути знайдена в п. 8.9 Посібника.

3.3.3.5
Аналіз ефективності використання енергії системою опалення, вентиляції та кондиціювання

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії системою опалення, вентиляції та кондиціювання може бути знайдена в п. 8.10 Посібника.

3.3.3.6
Аналіз ефективності використання енергії системою освітлення

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії системою освітлення може бути знайдена в п. 8.11 Посібника.

3.3.3.7
Аналіз ефективності використання енергії системою технологічного охолодження

Інформація щодо виконання аналізу ефективності використання енергії системою технологічного охолодження може бути знайдена в п. 8.13 Посібника.

3.3.3.8
Аналіз ефективності використання енергії виробничим процесом

Розділ може містити аналіз ефективності використання енергії специфічними для цього підприємства системою або технологічним процесом. Метод аналізу та критерії ефективності залежать від типу цього процесу/технології.

3.3.4
Короткий опис попередньої діяльності підприємства у сфері підвищення енергоефективності. Оцінка стану енергетичного менеджменту на об'єкті енергетичного аудиту

Даний розділ може містити опис стратегію поведіння підприємства у сфері енергоефективності, наприклад:

Як часто та у якому обсязі фінансуються заходи з енергоефективності;
Чи існує програма стимулювання/заохочення працівників до діяльності з енергоефективності;
Чи береться до уваги енергоефективність нового обладнання при його закупівлі;
Які заходи з енергоефективності було реалізовано за останні роки? Які критерії були взяті до уваги при реалізації цих заходів, наприклад, який строк окупності або бюджет.
Система моніторингу та верифікації досягнутих результатів з енергоефективності.

3.4 Заходи з енергоефективності

В цьому розділі може міститися:

- загальна оцінка потенціалу енергозбереження;
- основні припущення, які було зроблено під час фінансової (економічної) оцінки ЗЕЕ.
- для кожного ЗЕЕ рекомендовано описувати та розраховувати наступні пункти:
- оцінка варіантів проєктування та конфігурації для вирішення системних потреб;
- оцінка підвищення рівня енергетичної ефективності, пов'язане із змінами обладнання, системи чи технології;
- розрахунок економії та ефектів (включаючи неенергетичні ефекти);
- розрахунок простого терміну окупності;
- розрахунок NPV;
- розрахунок IRR.

Цей перелік не виключний та може бути змінений.

3.4.1
ЗЕЕ в системі власної генерації електроенергії та системі електропостачання

Інформація щодо переліку типових ЗЕЕ в системі власної генерації електроенергії та системі електропостачання може бути знайдена в п. 8.6 Посібника.

3.4.2
ЗЕЕ в котельні та системі розподілу тепла

Інформація щодо переліку типових ЗЕЕ в котельні та системі розподілу тепла може бути знайдена в п. 8.7 Посібника.

3.5.2 Середньострокові заходи

3.5.3 Довгострокові заходи

3.6 Висновки і рекомендації

Даний розділ може бути подібним до розділу «Резюме», але містить більше технічної інформації та переліку робіт та вимірювань, які було зроблено, а також основних висновків.

Наприклад:

«В ході проведення енергетичного аудиту xxxxxxxxxx було розглянуто особливості виробництва продукції в контексті споживання енергії, необхідної для цього.

Було проведено аналіз ретроспективних даних, що дало змогу визначити основні тенденції, зокрема щодо можливостей збільшення обсягів виробництва. Також проаналізовано залежності споживання електричної енергії від зовнішньої температури та споживання природного газу, залежно від обсягів виробництва продукції.

Здійснено обстеження підприємства, обладнання та проведено інструментальні виміри. Під час обстежень виявлено потенційні можливості підвищення ефективності роботи котла та компресорів, утилізації теплової енергії з компресорного обладнання та покращення системи обліку енергоресурсів на підприємстві.

В результаті інструментального тепловізійного обстеження будівлі було отримано інформацію про існуючі стан трубопроводів, запірної арматури, ізоляційних частин, насосного устаткування, що дає оцінити втрати теплової енергії при її транспортуванні та дефекти в роботі насосного устаткування.

В результаті аналізу даних обстеження було виявлено, витіки теплової енергії через трубопроводи гарячої води, пари, втрати холоду від льодяної води.

Пріоритетними є короткострокові заходи з енергоефективності:

...

...

...

Також, пропонується розглянути середньострокові та довгострокові заходи щодо:

...

...

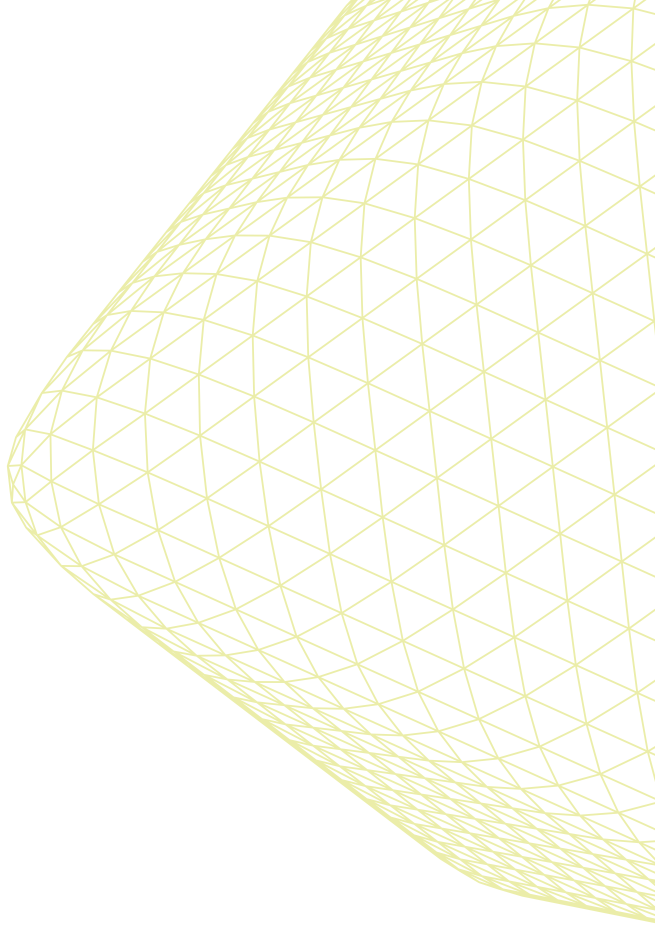
...

Також, запропоновано низку рекомендаційних заходів, які потребують додаткових техніко-економічних розрахунків. В той же, час ці заходи є перспективними з точки зору покращення ефективності організації виробництва на підприємстві:

...

...

...



*Проект «Консультування підприємств щодо
енергоефективності»*

*Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*

*вул. Антоновича 16-б,
01004, Київ, Україна
+38 044 594 07 60*

© 2020