

## ГЛАВА 2 ПРАКТИЧНІ ПИТАННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

В першому розділі посібника приведена методологія проведення енергетичного аудиту, в якій представлено порядок дій енергоаудитора при проведенні робіт. Частково подані рекомендації про підходи до виконання того чи іншого етапу роботи. Але для можливості здійснення перерахованих дій аудитора, їх необхідно доповнити практичними прийомами, які використовують енергоаудитори при виконанні цих робіт. При цьому деякі прийоми можуть бути використані на різних етапах робіт, тому нижче вони будуть перелічені і роз'яснені без тісного зв'язку з конкретними етапами і розділами робіт які проводяться. Ці практичні аспекти проведення робіт можна розбити на наступні підрозділи:

1. Необхідне обладнання і методи збору даних.
2. Аналіз зібраних даних
3. Розробка заходів та їх фінансове оцінювання.
4. Складання розділу «Опис об'єкту» та додаткових підрозділів.

### 2 ЗБІР ДАНИХ

Характер аудиту, що проводиться, залежить від декількох факторів.

**По-перше**, проводячи енергоаудит, аудитор повинен пам'ятати про те, що вимагає клієнт та про наявні ресурси часу і грошей. Аудитору важливо дати клієнту те, що він хоче, але не більше того, за що він бажає заплатити. Ці міркування можуть вплинути на детальність енергоаудиту, кількість використовуваних вимірювачів. Обсяг робіт та детальність аудиту повинні бути з'ясовані на етапі складання договору і відповідати оплаті робіт. З одного боку, енергоаудит може бути простим оглядом енергоспоживання, який базується на показах лічильників підприємства. З іншого боку, енергоаудит може передбачати установку нового (постійного чи тимчасового) вимірювального обладнання, тестування і вимірювання протягом тривалого часу. Внаслідок детальної перевірки аудитор зможе видати ґрунтовніші рекомендації. Природно, що другий зі згаданих енергоаудитів, буде значно дорожчим.

**По-друге**, спосіб проведення енергоаудиту залежить від кваліфікації енергоаудитора, та поставлених цілей. Тут можна виділити три основні види енергоаудиту.

*"Підхід пріоритету технологій "* - це простий технічний прийом для енергоаудиторів-початківців. Підготувавши кілька перших звітів з вивчення енерговикористання початківець усвідомлює актуальність і важливість декількох рекомендацій стосовно енергоощадності, таких,

наприклад, як використання світильників з низьким споживанням енергії, встановлення системи автоматизації опалення і ізолювання гарячих поверхонь. Після цього аудитор може без труднощів обстежувати аналогічні об'єкти і визначати можливості застосування тих технологій енергозбереження, які він вже успішно використовував. Цей технічний прийом активно використовують для пошуку ринків збуту компанії, які продають енергоощадне устаткування. (Наприклад, компанія «Fillips» може провести безкоштовний енергоаудит, унаслідок якого буде запропоновано впровадити заміну системи освітлення і не буде ні одного заходу по скороченню енергоспоживання теплоти). Крім того, цей прийом можуть використовувати "внутрішні" енергоменеджери енергоспоживаючих компаній, в яких всі об'єкти мають аналогічні енергетичні характеристики. Цей підхід не рекомендується застосовувати професійним аудиторам з енергетичних питань.

*"Підхід пріоритету досліджень"* - це спосіб, рекомендований для професійних енергоаудиторів. Метод ґрунтується на визначенні кількості використаної енергії і порівнянні цієї величини з промисловими нормативами, чи теоретично необхідним обсягом енергоспоживання. Метод дозволяє виявити потенційну економію енергії. В першу чергу визначають кількість енергії, що спожита основними групами обладнання, і порівнюють її з загальним споживанням на підприємстві. Виконавши цю роботу, аудитор виявляє шляхи економії енергії. Цей метод дозволяє провести високоякісний енергоаудит, що ґрунтується на дослідженні і вимірюванні різних параметрів, а також на досвіді експерта.

*"Змішаний підхід"* - це часткове поєднання обох описаних вище методологій. Він передбачає використання аудиторських прийомів, але, замість пошуку широкого кола можливостей заощадження енергії, зосереджується на невеликій кількості (найчастіше одній) технологій енергоощадності. З цієї причини підхід зручний, наприклад, для вирішення доцільності впровадження установки когенерації.

Даний курс базується на підході пріоритету досліджень.

**По-третє**, на характер енергоаудиту впливає наявність вимірювального обладнання на підприємстві (постійні лічильники) та у енергоаудитора (переносні лічильники). Якщо підприємство має досконалу систему збору даних споживання енергоносіїв, то робота енергоаудитора може звестись до аналізу вже зібраних даних. З другого боку, якщо підприємство має недостатню кількість лічильників, аудитору знадобиться багато часу на заміри своїми переносними лічильниками та на розрахунки, якщо він не має необхідних лічильників. Тут треба відзначити, що деяке обладнання енергоаудитор повинен мати обов'язково, а деяке є бажаним, та внаслідок високої вартості відсутнє (наприклад досконалі пірометри та переносні витратоміри). У такому разі аудитор повинен діяти розрахунковим шляхом, чи (якщо це край необхідно і оплата работ по

проведенню аудиту достатня) мати можливість брати це обладнання в оренду.

Виходячи з цього, визначення дійсного обсягу споживання енергії досягається комбінацією вимірювання, оцінки та розрахунку. Можна виділити п'ять основних методів збору даних, які представлено на рис. 2.1. П'ять кіл, зосереджених навколо центрального кола "Співставлення і перехресна перевірка даних", подають різні прийоми вимірювання і оцінки кількості енергії, що споживаються різними категоріями енергоприймачів. Одержані в результаті значення порівнюють, групують за окремими категоріями споживачів, додають і порівнюють з загальним обсягом енергоспоживання на об'єкті. Для уточнення даних проводиться перехресна перевірка.

Всі об'єкти, на яких проводиться енергоаудит, повинні мати вимірювальне обладнання, принаймні, це можуть бути лічильники підприємства, за якими здійснюють розрахунки за комунальні послуги. Деякі підприємства можуть мати розвинену мережу додаткових лічильників. Крім того, завжди є можливість використати тимчасові портативні вимірні прилади. Безпосереднє вимірювання саме енергії здійснюють по суті лише лічильники електроенергії та теплові лічильники. За допомогою, наприклад, амперметра чи струмовимірних кліщів вимірюють лише один показник споживаної енергії, а саме – струм. Термометром можна виміряти концентрацію енергії. Визначити енергію, що пішла на нагрівання води, можна за показами лічильника гарячої води. Вимірюючи параметри викидів, наприклад, димових газів, можна визначити втрати енергії з цими викидами.

Навіть коли неможливе безпосереднє вимірювання витрат енергії, існують посередні методи їх оцінки. Ці методи базуються на елементарних законах фізики і здійснюються за допомогою простого і недорогого обладнання.



Рисунок 2.1 - Методи збору даних

Розглянемо тепер детальніше кожну складову рис. 2.1

## 2.1 Безпосереднє вимірювання витрат енергії і енергоносіїв

Безпосереднє (пряме) вимірювання витрат енергії - це найточніший спосіб визначення обсягу спожитої енергії, як об'єктом в цілому, так і окремими його споживачами. Певну інформацію про прямі вимірювання дає рис. 2.2.



Рис. 2.2 Класифікація методів безпосереднього (прямого) вимірювання.

Безпосередні вимірювання спожитої енергії чи обсягу спожитого енергоносія здійснюється за допомогою лічильників.

Як уже відзначалось, лише лічильник електроенергії безпосередньо вимірює спожиту енергію. Газовий лічильник і олеометр вимірюють обсяг спожитого енергоносія (газу чи, наприклад, мазуту) і для одержання результату в одиницях енергії необхідно обсяг помножити на теплотворну здатність палива. У випадку достовірних даних про теплотворну здатність конкретного палива, що споживається, такі лічильники стають надійним джерелом інформації для енергоаудитора. За показами лічильників визначають кількість спожитої енергії певного виду за прийнятий проміжок часу (добу, тиждень, місяць, сезон, рік). Теплові лічильники також можна віднести до тих, що безпосередньо вимірюють спожиту енергію. Зазвичай тепловий лічильник вимірює витрату рідини (гарячої води), та дві температури: на вході в об'єкт і на виході. Необхідною складовою теплового лічильника є так званий інтегратор – контролер, який розраховує витрати теплоту за малі проміжки часу і інтегрує їх, використовуючи звичайну формулу:

$$Q = G * C * (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}) * \tau, \quad (\text{Дж})$$

2.1)

Як видно з рис. 2.1 до безпосередніх вимірювань віднесено обчислення обсягу спожитого палива. Якщо паливо постачають у відомих кількостях, і в будь-який момент можна виміряти обсяги постачання, то застосування лічильників безпосереднього вимірювання спожитого палива є необов'язковим. Прийом "Обчислення обсягу спожитого палива" широко використовують для розрахунку спожитого об'єму рідкого (нафта, мазут) і твердого (вугілля) палива. Для розрахунку спожитого палива за певний інтервал часу потрібно мати інформацію про наявну кількість палива на складі (в газосховищі) на початок інтервалу часу ( $S_1$ ), про кількість палива, що поступила протягом інтервалу ( $D$ ) та про кількість палива на складі в кінці інтервалу ( $S_2$ ). Якщо ці дані відомі, не важко визначити спожиту кількість палива  $A$ :

$$A = S_1 + D - S_2$$

2.2)

Визначення кількості спожитого рідкого палива, як правило, елементарне, оскільки воно зберігається в резервуарах чи цистернах, об'єм яких відомий. Можливі різні способи: від традиційного щупу до нафтових резервуарів з цифровими вимірниками. Об'єм також вимірюють за заповненням цистерн поплавковими вимірниками рівня палива в цистерні (резервуарі), тут можливі похибки за рахунок зміни густини палива зі зміною температури. Для горизонтальних циліндричних резервуарів, щупів чи поплавкового вимірника рівня, шкали повинні бути ретельно проградуєвані. Кількість палива у резервуарі може бути визначена через покази манометра (аналогового чи цифрового), що вимірює тиск у нижній точці резервуара.

Подібні прийоми можна застосовувати для визначення кількості спожитого вугілля. Вона легко вимірюється якщо вугілля зберігається в контейнерах чи бункерах. Якщо ж вугілля зсипане на землі, то його кількість визначається за розмірами і формою утвореної вугіллям об'ємної фігури.

Під час проведення енергетичного аудита використовують також різноманітні тимчасові вимірники від найпростіших до досить складних. Перелік часто використовуваних тимчасових вимірників наведений нижче в табл. 2.1. Деякі з них (наприклад, портативний лічильник електроенергії) безпосередньо вимірює споживання енергії, хоч переважна більшість

наведених в таблиці приладів вимірюють інші, пов'язані з використанням енергії, параметри, такі як витрати рідини, вологість, освітленість тощо. Складніші прилади можуть вимірювати як споживання за певний проміжок часу, так і миттєве значення вимірюваного параметру. Деякими вимірниками, зокрема анемометром, можна також визначити витрату повітря чи рідини за короткий проміжок часу, але ці дані не відображають зміни параметрів витрат протягом певного проміжку.

Енергоаудитор не повинен забувати про важливість підручних інструментів. Кишеньковий ліхтар, переносна драбина, рулетка і навіть кусок шнура (для визначення обхвату труби) інколи можуть знадобитися аудитору так само, як і складне обладнання.

Наведена нижче таблиця 2.2 показує як виміряні тимчасовими вимірниками значення різних параметрів можна використати для визначення енергоспоживання, або інших параметрів, пов'язаних з використанням енергії. В таблиці наведені також гіпотези, на яких ґрунтуються ці висновки.

Таблиця 2.1 - Перелік тимчасових вимірників

Лічильники (категорія, тип)	Покази	
	Миттєве значення	Споживання за проміжок часу
<b>Електричні вимірники</b>		
Портативний лічильник (реєстратор) електроенергії (наприклад, SILENT PARTNER)	+	+
Струмовимірні кліщі	+	-
<b>Вимірники температури</b>		
Цифровий термометр	+	-
Інфрачервоний термометр	+	-
<b>Вимірники витрат рідин</b>		
Ультразвуковий детектор витрат	+	-
Вимірна посудина	+	-
<b>Вимірники витрат газу</b>		

Анемометр (роторний пристрій, електричний давач)	+	-
Приймач повного тиску і манометр	+	-
<b>Вимірники вологості атмосфери</b>		
Гігрометр (електронний, сухий і зволожений термометр)	+	-
<b>Вимірники швидкості обертання</b>		
Тахометр (контактний, стробоскопічний)	+	-
<b>Вимірники освітленості</b>		
Люксметр	+	-



Таблиця 2.2 - Використання інформації тимчасових вимірників

Вимірники	Одержувана інформація	Умови і припущення стосовно достовірності інформації
Портативний лічильник електроенергії	Споживання електроенергії	Точність вимірника
Вимірник електричного струму (струмовимірні кліщі)	Потужність через виміряний струм	Напруга, коефіцієнт потужності
Аналізатор димових газів	Ефективність спалювання палива	Повне спалювання, інші втрати котла
Цифровий термометр	Температура поверхні, газу, рідини	Добрий контакт, сухий сенсор
Інфрачервоний термометр	Температура поверхні	Здатність випромінювання
Ультразвуковий детектор витрат	Витрата рідини	Добрий контакт, густина рідини
Вимірна посудина	Витрата рідини	Миттєві витрати пари
Анемометр, манометр	Витрата рідини (газу)	Типовість проб
Гігрометр	Відносна вологість	Точність вимірника
Тахометр	Швидкість обертання	Точність вимірника
Люксометр	Освітленість	Точність вимірника

Більшість перерахованих приладів є широко розповсюдженими, за винятком портативного реєстратора електричної енергії. Цей прилад є специфічним для енергоаудиту, і тому не представленим на ринку України. Але він є незамінним при зборі даних про споживання електричної енергії. Він складається з трьох чи чотирьох кліщів, які підключають до трьох фаз для вимірювання струму (четверті кліщі використовують для заміру напруги), які безперервно передають свої дані на записуючий прилад,

інформація з якого після проведення заміру переноситься на комп'ютер, де вона обробляється і будуються криві електричного струму, потужності, витрат електричної енергії, а також вартості цієї енергії за весь час заміру (приклад зображено на рис. 2.3).

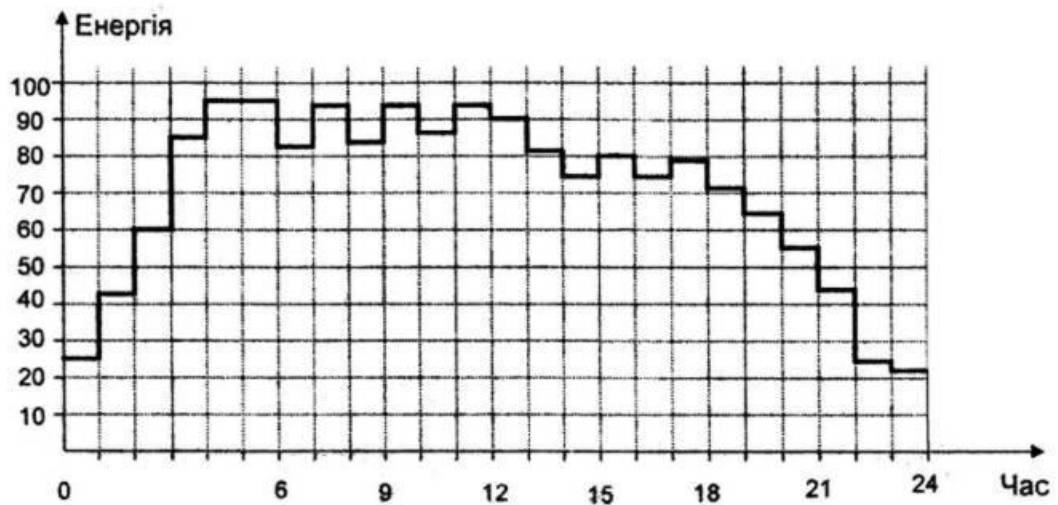


Рисунок 2.3 Приклад узагальнення інформації, одержаної від портативного реєстратора електричної енергії.

## 2.2 Часткові вимірювання параметрів витрат енергії та енергоносіїв

Споживання енергії чи енергоносіїв можна також визначити за показами стаціонарних або тимчасових вимірників, які дають значення певних параметрів, що стосуються споживання енергії. Щоб звести ці покази до одиниць споживання енергії, необхідні певні припущення щодо інших параметрів процесу споживання енергії. Так для визначення потужності споживання електроенергії за величиною струму, одержуваною за допомогою стаціонарного амперметра чи струмовимірних кліщів, необхідно знати також значення напруги і коефіцієнта потужності (які вказані на його щитку). Без великої похибки їх можна прийняти номінальними для даного електроприймача.

Визначення витрат енергії гарячого водопостачання звичайно робиться за показами витратоміру, тому що температуру гарячої води можна вважати постійною, температуру холодної води можна взяти за даними теплових мереж, і використовуючи формулу 2.1, розрахувати витрати енергії. Це дозволяє відмовитися від використання дорогих теплових лічильників. Зазначимо, що у такий саме спосіб робиться розрахунок оплати споживачів гарячої води, при цьому теплові мережі різницю температур приймають постійною незалежно від пори року (звичайно в розрахунках ця різниця приймається рівною 45-50°C).

Визначення споживання енергії за вимірниками тривалості роботи можливе для обладнання, яке працює зі сталим навантаженням. Однак, в багатьох випадках досвідчений енергоаудитор може оцінити вплив кожного з тих факторів, значення яких за часткових вимірювань не визначається, і відповідно скорегувати показники енергоспоживання.

### **2.3 Посередні (непрямі) вимірювання витрат енергії і енергоносіїв**

Споживання енергії може бути виміряне також посередньо. Аналіз даних, одержаних для змінних виробничих умов, часто дає кількісні показники для розподілу вимірних витрат енергії на компоненти енергоспоживання. Таким чином, непрямі методи дозволяють за показами одного вимірювача отримувати значення споживання двох або більшої кількості одиниць обладнання. Найчастіше для цього використовують *метод регресивного аналізу і метод тестового контролю*.

**Метод регресивного аналізу** являє собою математичний прийом, що ґрунтується на порівнянні кількості використаної енергії з іншою змінною, від якої може залежати споживання енергії. Наприклад, можна порівнювати значення місячного споживання енергії з випуском продукції підприємством за відповідний місяць. Регресивний аналіз поділяє обсяг спожитої енергії на сталі споживання (тобто на ту кількість енергії, яка необхідна для підтримання на підприємстві нульового рівня виробництва) та змінне споживання (кількість енергії, яка витрачається на виробництво продукції і залежить від її обсягу). Регресивний аналіз також дає характер залежності зміни кількості енергії від кількості продукції, що виробляється. Найпростішою є лінійна залежність - так звана лінійна регресія. Існують також різного виду нелінійні залежності і, відповідно, квадратична, показова, експоненціальна, логарифмічна регресії. Докладніше про використання регресійного аналізу можна прочитати в розділі «Системи контролю і планування» в курсі енергоменеджменту [3,4]. Регресивний аналіз дозволяє виявити шляхи заощадження енергії, встановити обґрунтовані рівні споживання і контролювати використання енергії.

На рис. 2.4 наведено типовий приклад графіка регресивного аналізу. Положення зірочок відповідають кількості виробленої за певний проміжок часу (наприклад, за тиждень) продукції та кількості спожитої за цей час енергії. З максимальним наближенням до зірочок проведена лінія регресії - "стандартна лінія". Це зроблено наближено. Однак доцільніше використати точний математичний метод "лінійного регресивного аналізу". В Microsoft Office Excel це робиться дуже просто: треба навести курсор на якусь точку, побудованого точкового графіку, і вибрати в

контекстному меню функцію «Побудувати лінію тренда», вибравши потім лінійний вид функції.

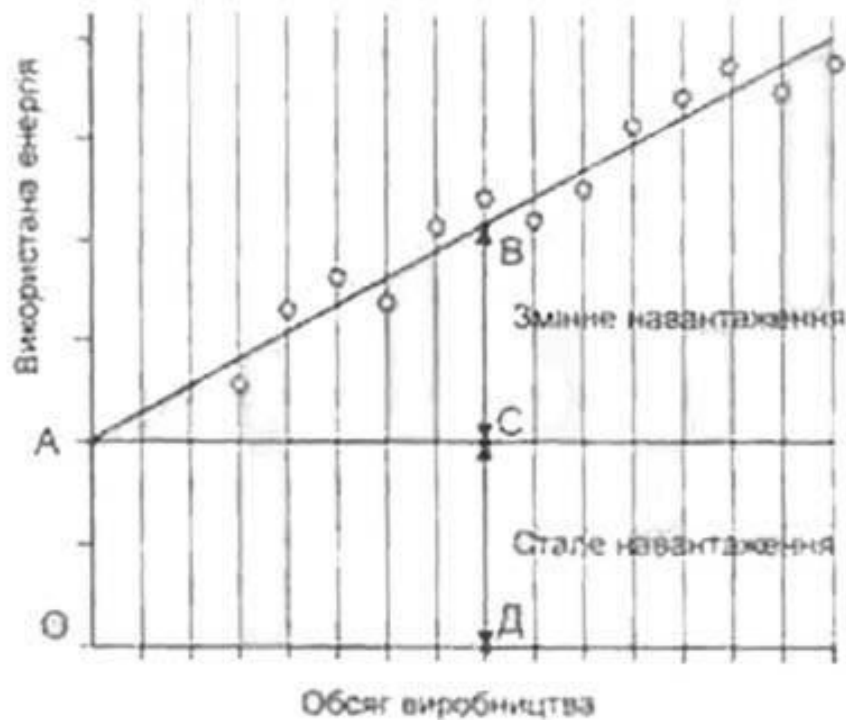


Рисунок 2.4 - Приклад використання графіка регресійного аналізу

Відрізок OA, який відсікає "стандартна лінія" на осі енергії, відповідає споживанню енергії підприємством у випадку відсутності виробництва продукції - сталому споживанню. Відрізок BC відповідає споживанню, яке зумовлене випуском певного обсягу продукції (відрізок OD). Зрозуміло, що зі збільшенням обсягу виробництва продукції зростає лише змінна складова витрат енергії.

Таблиця 2.3 показує, як складові витрати енергії пов'язані з визначальними змінними величинами, а також куди, в основному йде кожна зі складових витрат. Варто зауважити, що будь-які витрати, такі, наприклад, як витік пари, теплопередачу з поверхні труб, зумовлену їх поганою ізоляцією, відносять до сталих витрат. Іноді з витратами енергії співвідносять кілька змінних. Енергоаудитор повинен самостійно визначити найважливішу змінну. Для цього виконують регресивний аналіз стосовно кожної альтернативної змінної, а потім виділяють визначальну змінну. Однак найчастіше, цей вибір ґрунтується на здоровому глузді. Таблицю 2.3 можна застосовувати як приклади областей, де доцільно використовувати регресійний аналіз для збору даних енергоспоживання.

Таблиця 2.3 - Поділ спожитої енергії певного виду на стале та змінне споживання

Енергія (енергоносій)	Визначальна змінна	Стале навантаження	Змінне навантаження
Котельне паливо для опалення приміщень	Градусо-дні*	Гаряча вода для побутових потреб	Опалення приміщень
Гаряче водопостачання	Градусо-дні	Гаряча вода для виробничих потреб	Опалення приміщень
Пара для виробництва	Обсяг випуску продукції	Втрати розподілювальній мережі	Технологічна пара
Електроенергія для виробництва	Обсяг випуску продукції	Невиробничі витрати електроенергії	Виробничі витрати електроенергії

\*Градусо-дні - об'єктивний показник потреби енергії для опалення приміщень.

Інколи застосовують "мультиплікативний регресивний аналіз", тобто співставлення кількості використаної енергії з кількома змінними одночасно. Однак, такі ситуації зустрічаються рідко.

**Метод тестового контролю** застосовують тоді, коли декілька споживачів одержують енергію від одного джерела, на якому організовано вимірювання витрат енергії. Індивідуальне споживання енергії кожним із споживачів може бути визначене спостереженням за зміною загального навантаження у випадку вимкнення і вмикання різних енергоприймачів.

Рис. 2.5 дає практичний приклад використання методу тестового контролю для визначення енергоспоживання однієї з двох установок, що живляться через один лічильник електричної енергії.

В цьому прикладі хвилине споживання енергії визначалось за кількістю обертів диска електричного лічильника протягом хвилини.

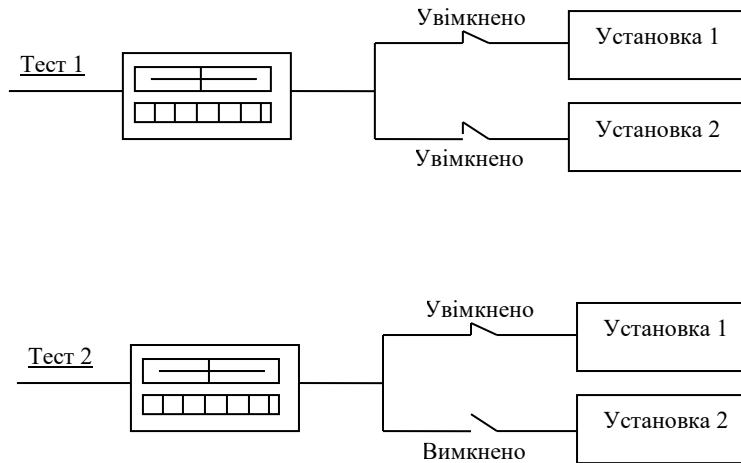


Рисунок 2.5 - Приклад використання тестового контролю

### **Визначення потужності установок 1 і 2:**

Тест 1: Калібрування лічильника: 5 обертів диска/кВт\*год.  
 Спостереження: 10 обертів диска за хвилину.  
 Споживання енергії протягом години:  
 $(10 \text{ оберт./хв} * 60 \text{ хв/год}) / 5 \text{ оберт./кВт*год} = 120$   
 кВт\*год/год.

Тест 2: Спостереження: 7,5 обертів диска за хвилину.  
 Споживання енергії протягом години:  
 $(7,5 \text{ оберт./хв} * 60 \text{ хв/год}) / 5 \text{ оберт./кВт*год} = 90$   
 кВт\*год/год.

Висновок: установка 1 – середня потужність 90кВт,  
 установка 2 – середня потужність 30 кВт.

Тестовий контроль може бути застосований і для інших типів лічильників, наприклад, газових чи парових. Для одержання достовірних результатів методом тестового контролю слід бути впевненим в тому, що енергоспоживання тестового обладнання є на нормальному рівні і не змінюється протягом часу тестування, наприклад, автоматичними системами керування.

Нижче наведені важливі аспекти застосування тестового контролю.

Тестовий контроль найбільш ефективний, коли включено все обладнання, і по черзі вимикають різних споживачів. В зворотному напрямку цей метод не завжди працює, тому що деякі енергоспоживачі (наприклад, флуоресцентні лампи, двигуни, тощо) при вмиканні споживають більше енергії внаслідок високих пускових струмів чи інших

причин. Також цей метод дасть невірний результат, якщо якийсь обладнання автоматично вмикається і вимикається під час проведення тесту, наприклад, холодильна установка. Але в цілому цей метод є простим та ефективним, і його можна використовувати у багатьох практичних ситуаціях.

*Приклад. Визначення електроспоживання виробничих механізмів і системи освітлення.* Коли виробничий процес зупиняється (наприклад, під час обідньої перерви чи в кінці робочого дня), освітлення залишається увімкненим ще на кілька хвилин. За умови, що вимкнені всі виробничі механізми, ви можете точно виміряти кількість електроенергії, що споживається електричним освітленням.

## 2.4 Аналіз потоків енергії на об'єкті

Аналіз потоків енергії дає можливість за значенням легко вимірюваного параметра визначити значення параметра енергоспоживання, який важко виміряти безпосередньо. Найчастіше для цього складаються баланси (один чи декілька), з яких можна визначити необхідну величину, використовуючи відомі величини (виміряні, оцінені, чи розраховані з інших балансів). Крім того, він дає змогу оцінити ефективність перетворення одного виду енергії в інший. Розглянемо три найбільш поширених у теплотехніці випадки: паровий котел, теплообмінник, холодильну установку.

### 2.4.1 Потоки енергії в паровому котлі

Рис. 2.6 показує різні вимірювані потоки в котельній (див. також рис. 3.1). На цьому прикладі простежимо, як можна використати виміряні потоки для визначення інших параметрів.

Відомо, що загальний об'єм холодної води підживлення рівний сумі об'ємів води, що продувається з котла, і інших втрат системи (а саме, заплановані втрати, такі як в системі вприскування пари, та неконтрольовані втрати, такі як викиди і витоки пари). Якщо втрати з продувкою не вимірюються, їх можна легко оцінити за тиском котла, діаметром труб і тривалістю продувки і, таким чином, визначити суму всіх інших втрат пари (конденсату). Для цього використовують наступні баланси.

$$G_{\text{води поживлення}} = G_{\text{продувки}} + G_{\text{вприскування}} + G_{\text{втрати пари}}$$

2.3)



$$G_{\text{води поживлення}} + G_{\text{повернення конденсату}} = G_{\text{продувки}} + G_{\text{пари}}$$

(

2.4)

Ще один корисний показник ефективності - значення втрат пари як відсоток від загальної кількості виробленої пари.

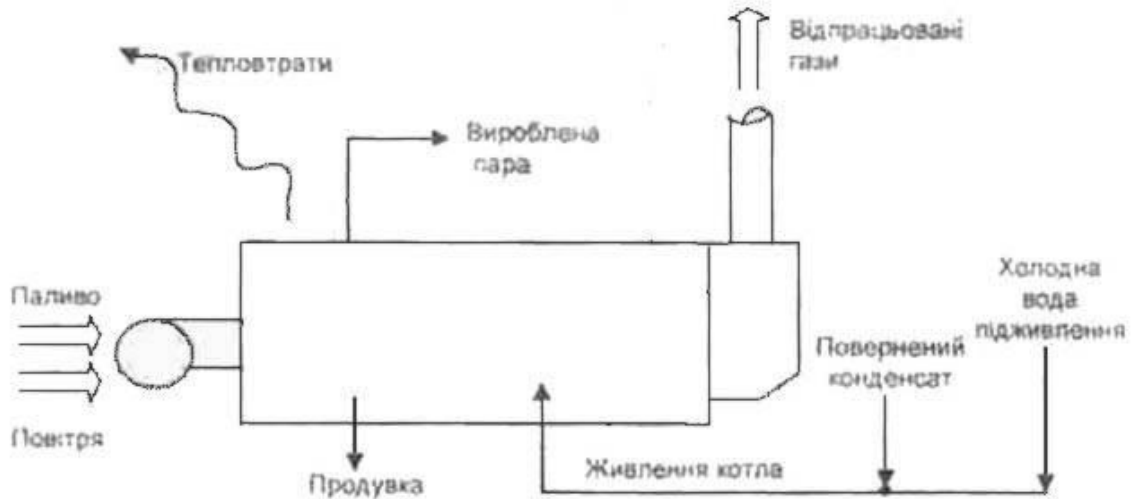


Рисунок 2.6. Схема потоків в системі паропостачання.

Аналогічно, вимірюючи потік палива і кількість виробленої пари, можна визначити ефективність котла за певний проміжок часу. Порівнюючи цю величину з результатами тесту процесу спалювання палива, можна виявити невідповідність величин одна одній чи використати кожен набір даних для перевірки точності інших величин. Якщо обидва розрахунки ефективності відповідають один одному, можна обчислити втрати поза процесом горіння, такі як втрати через випромінювання і конвекцію, втрати продувки і втрати внаслідок періодичності роботи.

#### 2.4.2 Аналіз потоків енергії в теплообміннику

Принцип функціонування типового теплообмінника (калорифера), який використовує тепло пари для нагрівання води, показаний на рис. 2.7. В цьому прикладі встановлення недорогого лічильника холодної води дає можливість виміряти споживання води і енергії. Споживання води обліковується лічильником безпосередньо, а енергоспоживання можна обчислити як добуток кількості води на теплоємність і на зміну температури (задана температура на виході мінус температура вхідної холодної води). Цей добуток відповідає кількості вилученого з пари тепла, рівного сумі поглинутого водою тепла і втрат тепла з поверхні теплообмінника. Це можна записати у вигляді балансу:

$$G_{\text{води}} * C * (t_{\text{тепл.води}} - t_{\text{хол.води}}) = G_{\text{пари}} * (h_{\text{пари}} - C * t_{\text{конденсату}}) - Q_{\text{втрат}} \quad (2.5)$$

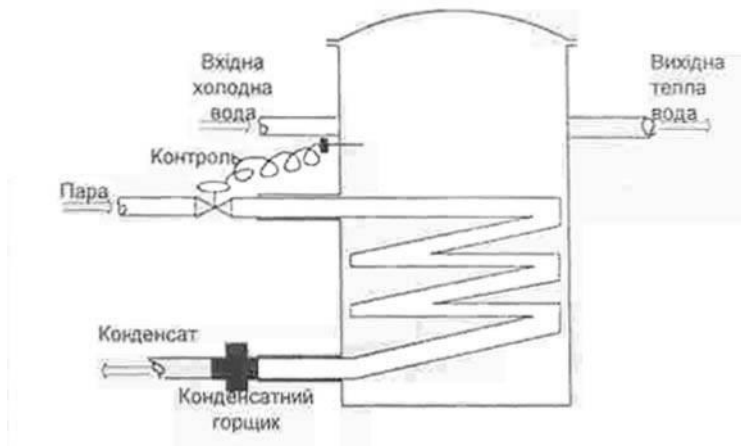


Рисунок 2.7 Схема потоків теплообмінника.

### 2.4.3 Аналіз потоків енергії в холодильній установці

Система охолодження реалізує цикл перетворення енергії, в якому (без врахування незначних втрат) кількість тепла, що виводиться конденсатором, дорівнює кількості енергії, поглиненої випарником та поданої до компресора. Таким чином, вимірявши будь-які дві з цих компонент, ми можемо обчислити третю. Цим ми не лише визначимо загальну кількість спожитої енергії, але й довідаємося, наскільки добре працює система.

На рис. 2.8 показана пароконпресорна система охолодження, в якій для охолодження використовується холодна вода, а також показана градирня водяного охолодження відкритого циркулювання, в якій як засіб охолодження води після конденсатора використовується принцип паропоглинання. Енергоаудитору слід зосередити увагу на операційній ефективності системи, зокрема, на розрахунку коефіцієнта ефективності системи і ефективності роботи стояка водяного охолодження.

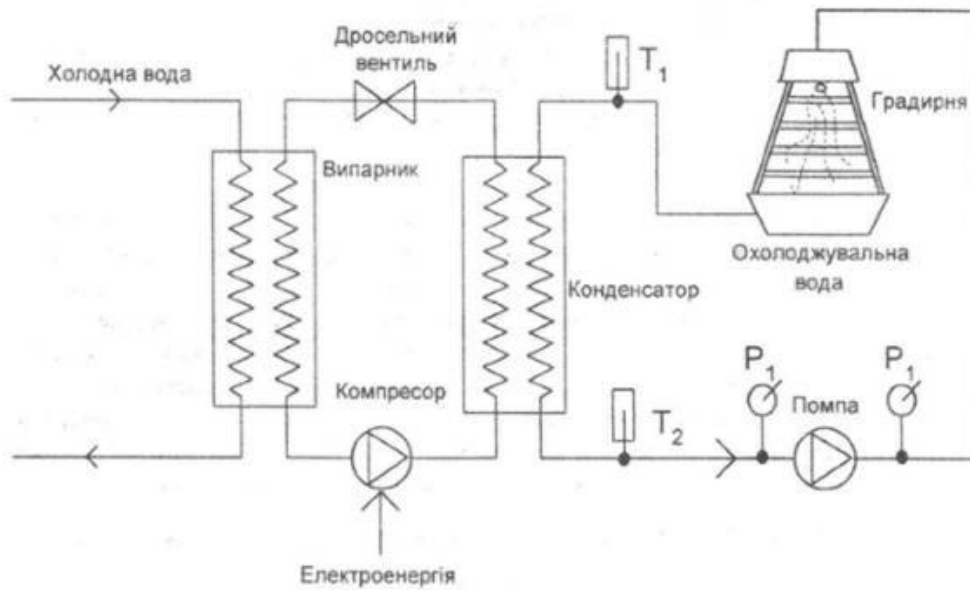


Рисунок 2.8 - Схема холодильної парокомпресорної установки

В цьому прикладі споживання електроенергії вимірюється стаціонарним або тимчасовим лічильником, а кількість тепла, що відводиться в градирні водяного охолодження визначають на основі вимірювання температур в прямому і зворотному трубопроводі. Його обчислення здійснюють множенням теплоємності води на масу води, яка визначається на основі різниці тисків на вході та виході помпи (або за показами не врізаного в мережу лічильника води) на різницю температур.

Відношення виділеного тепла до спожитої електроенергії позначають КОП, тобто коефіцієнт теплопродуктивності. За означенням співвідношення між коефіцієнтом теплопродуктивності КОП(Н) та коефіцієнтом охолодження КОП(Р) (відношення тепла охолодження до кількості електроенергії) задається формулою:

$$\text{КОП(Р)} = \text{КОП(Н)} - 1$$

2.6)

Таким чином, ми можемо порівняти розраховані коефіцієнти з очікуваними, що базуються на даних підприємства. Це допоможе визначити операційну ефективність та виявити резерви заощадження.

Інша область обстеження - це сама градирня водяного охолодження. В цьому випадку слід виміряти параметри охолоджувального повітря і повітря, що нагнітається з вершини градирні, з врахуванням показів сухого та змоченого термометрів. Якщо різниця температур охолодженої води, що повертається в конденсатор, і повітря доквілля за показами змоченого термометра лежить в межах 2°C, то для багатьох систем це є показником

високої ефективності. Відносна вологість повітря, що входить в градирню водяного охолодження повинна становити біля 70-90%. Якщо вологість менша, то це свідчить про надлишкову штучну вентиляцію (якщо така наявна) стосовно кількості води, яку потрібно охолодити, або про те, що градирня вимагає ремонту, а саме, модернізації системи розпилювання води і поверхонь теплопередачі. Якщо вологість перевищує наведену раніше, то це свідчить про те, що в градирню водяного охолодження подається недостатньо повітря, за винятком випадків, коли висока вологість є результатом дуже високої вологості довкілля.

#### 2.4.4 Оцінка потоків рідин і газів за економічною швидкістю в трубопроводах

Розглянемо у цьому розділі також питання визначення витрат рідин і газів по діаметру трубопровода. У правильно спроектованих установках рідини та газу переміщуються в трубопроводах з економічно доцільною швидкістю (табл. 2.4). що дозволяє оцінити витрату за розмірами трубопроводів.

Таблиця 2.4 - Діапазон економічно доцільних швидкостей в трубопроводах (м/с)

Речовина	Низький тиск (< 0,8 МПа)	Високий тиск (> 0,8 МПа)
Вода	1,5-2,0	3,0
Природний газ, повітря	6,0-7,0	12,0-13,0
Волога пара	20,0	25,0
Суха насичена пара	28,0-30,0	40,0-43,0
Перегріта пара	40,0	55,0

Для оцінки об'ємної витрати  $Q_v$  необхідно знати внутрішній діаметр труби  $d$  (м). За швидкості  $V$  (м/с)  $Q_v$  визначається за формулою:

$$Q_v = V\pi d^2/4 \text{ (м}^3\text{/с)}$$

(2.7)

Масова витрата  $Q_m$  для рідини з густиною  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) визначається за формулою:

$$Q_m = \rho * Q_v \text{ (кг/с)}$$

(2.8)

### Приклад розрахунку витрати води по діаметру трубопроводу

Для водогону низького тиску з внутрішнім діаметром труби 50 мм масову витрату можна оцінити через об'ємну витрату за такими показниками:

$$Q_v = 3,14 * 0,05^2 \text{ (м}^2\text{)} * 2 \text{ (м/с)} / 4 = 3,925 * 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)}$$

$$Q_m = 1000 \text{ (кг/м}^3\text{)} * 3,925 * 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)} = 3,925 \text{ (кг/с)}$$

Годинна витрата:

$$Q_{\text{за год}} = 3,925 \text{ (кг/с)} * 60 \text{ (хв/год)} * 60 \text{ (с/хв)} = 14130 \text{ (кг/год)}$$

$$Q_{\text{м год}} = 14,13 \text{ (т/год)}$$

### 2.5 Оцінка споживання енергії

Одним із основних способів визначення споживання енергії, в якому вимірники не використовують, є оцінка споживання. Спосіб застосовують в ситуаціях, коли вимірювання енергії і її потоків лічильниками неможливе, а споживання енергії оцінюють за параметрами і режимом роботи наявного обладнання. На практиці (через обмеження ресурсів і часу) це один з основних методів визначення енергоспоживання різними споживачами на об'єкті. Річне споживання енергії  $W$  (кВт\*год) одержують шляхом перемноження номінальної потужності обладнання  $P$  (кВт) на коефіцієнт середнього завантаження  $k_z$ , (цей добуток дає середнє завантаження обладнання) та на час використання обладнання протягом року  $T_p$ , (годин).

$$W = P * k_z * T_p$$

(2.9)

Перевага методу полягає в тому, що для визначення споживання не потрібні спеціальні вимірники, а недоліком є те, що він ґрунтується на певних припущеннях. Через необхідність приймати певні припущення метод дає достовірні результати за умови, що добре відомі особливості експлуатації обладнання. Наприклад, якщо відома кількість і потужність ламп, які освітлюють майданчик паркування машин, а також час, протягом

якого впродовж року ці лампи увімкнені, то описуваний метод може дати досить точний результат. Для обладнання, яке протягом виробничого процесу змінює потужність, розрахунок енергоспоживання є складнішим. У цих випадках можуть допомогти заміри, виконані на обладнанні його виробниками. Крім того, можна використати дані, опубліковані інститутами енергетичних обстежень. Дуже часто буває важко визначити точно тривалість роботи обладнання. В таких випадках можна опитати операторів. Крім того, якщо робота обладнання контролюється автоматично (наприклад, вимикачем з годинниковим механізмом), це також може дати потрібну інформацію.

Для успішного використання в енергоаудиті способу оцінки споживання аудитор повинен знати достовірне значення коефіцієнта завантаження обладнання та проводити перехресну перевірку результатів, порівнюючи їх з відомими нормами та загальним споживанням енергії.

Ключовим моментом визначення обсягу споживання за способом оцінки є збір даних. Розглянемо можливі джерела одержання необхідної інформації детальніше.

**Номінальна потужність обладнання.** Цю інформацію можна одержати з кількох джерел, а саме: з інформаційної таблички (шильди) обладнання, з інструкції щодо експлуатації, з попереднього досвіду роботи за відомою потужністю цього чи аналогічного обладнання.

**Коефіцієнт середнього завантаження.** Хоч ця інформація іноді може бути одержана з інструкції чи опублікованих обстежень, аудитору часто доводиться самостійно оцінювати варіанти завантаження протягом експлуатаційного періоду. Іноколи це може бути визначено за показами вимірників, наприклад, стаціонарних амперметрів чи струмовимірних кліщів.

**Час використання обладнання впродовж року.** Інформація може бути одержана за показами контрольних пристроїв за умови їх точної роботи. Необхідно враховувати тривалі інтервали роботи обладнання в різних режимах, наприклад, у випадку оптимізації роботи систем опалювання за умовами підтримування в приміщеннях різної температури в робочий та позаробочий час. Опитування операторів - також добре джерело для уточнення тривалості роботи обладнання, однак оператори часто не впевнені в тому, як часто використовується деяке обладнання. Тому слід розрізняти непрацююче обладнання і обладнання, яке функціонує нормально. Розраховуючи час використання обладнання впродовж року, необхідно брати до уваги простої обладнання у зв'язку з запланованими та незапланованими поточними ремонтами.

### 2.5.1 Оцінка споживання електроенергії системами освітлення

Оскільки певні види ламп споживають відому потужність (за винятком ламп з регуляторами освітленості), освітлення - це навантаження, споживання електроенергії яким розраховується відносно просто. Приклад визначення енергоспоживання системами освітлення наведений в табл. 2.5.

Під час оцінювання споживання енергії освітлювальними системами необхідно враховувати наведені нижче міркування.

**Максимальна потужність** системи освітлення це потужність ламп (Вт), а для люмінесцентних і газорозрядних ламп ще й потужність витрат в колі керування (Вт). Лампи розжарювання з вольфрамовою спіраллю на напругу 220В не вимагають ніякого пристрою керування окрім вимикача, втратами в якому нехтують. Втрати потужності в перетворювачах галогенних ламп низької напруги звичайно досягають 10% від потужності ламп.

**Коефіцієнт середнього завантаження.** Тут слід брати до уваги лампи, що працюють в режимі регульованої освітленості. Необхідно враховувати також обслуговування освітлювального обладнання. Наприклад, заводські цехи з високими стелями можуть мати в середньому 10-20% несправних ламп між черговими поточними ремонтами.

**Час використання обладнання впродовж року.** Цей час оцінюється, виходячи з тривалості роботи з врахуванням завантаження (офіси) і часу використання природного освітлення. Необхідно брати до уваги наявне автоматичне керування.

Таблиця 2.5 - Визначення споживання освітлювального обладнання

Приміщення, територія	Встановлена потужність, кВт	Умови експлуатації		Річне споживання енергії, кВт-год
		Час використання, годин	Коефіцієнт завантаження	
Офісний блок	24	2400	0,5	28800
Механічний цех	62	4900	0,8	243040
Ливарний цех	48	4900	0,8	188160
Склад	18	2400	0,5	21600
Інженерний відділ	17	2400	0,7	28560



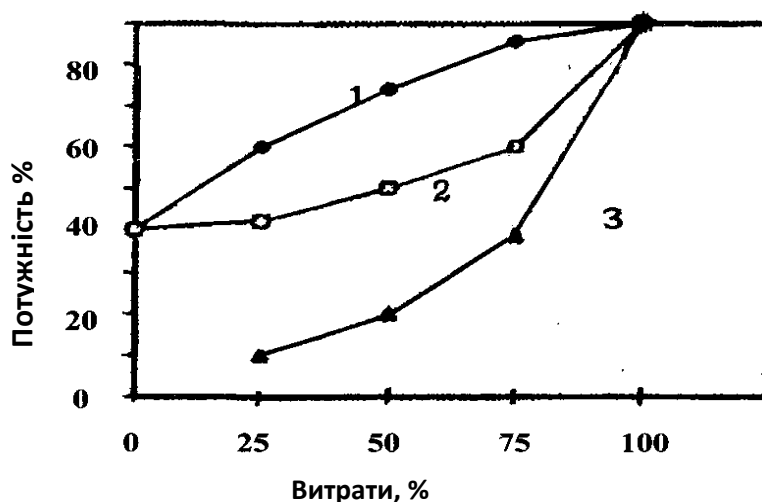
Зовнішнє освітлення	11	3600	0,9	35640
Разом	180			545800

### 2.5.2 Оцінка споживання енергії електроприводами вентиляторів і помп

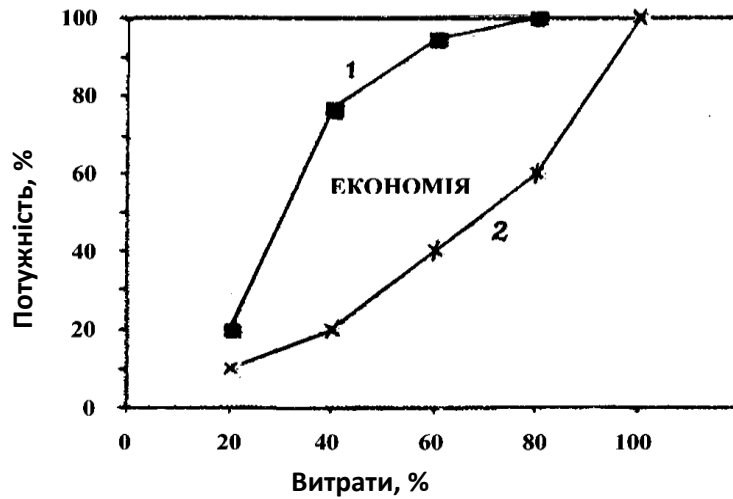
Найбільшу кількість енергії на виробництві споживають електродвигуни. Крім приводу верстатів і механізмів, різноманіття яких залежить від характеру виробництва, практично на всіх виробництвах електродвигуни застосовують для приведення в рух вентиляторів, помп, ліфтів, конвеєрів та компресорів.

**Номінальна потужність електродвигунів.** Номінальна потужність двигуна звичайно вказана на його інформаційній табличці (шильдї).

**Коефіцієнт середнього завантаження.** Коефіцієнт середнього завантаження можна визначити за допомогою наявного амперметра чи струмовимірних кліщів. Його можна також обчислити через вимірне постачання повітря (води), яке порівнюють з номінальною продуктивністю вентилятора (помпи), за цим співвідношенням визначають власне енергоспоживання (див. рис.2.9). Необхідно також враховувати наявність системи автоматичного керування приводів з регульованою швидкістю.



- а) вентилятор: крива 1 - регулювання засувкою на виході;  
крива 2 - регулювання направляючим пристроєм;  
крива 3 - частотне регулювання.



- б) помпа: крива 1 - регулювання дросельним клапаном;  
крива 2 - частотне регулювання.

Рисунок 2.9 - Зв'язок між відносною споживаною потужністю та відносною продуктивністю (витратою) для вентилятора (а) та помпи (б) в залежності від способу регулювання.

**Робочий час впродовж року.** Для визначення тривалості роботи електроприводу слід виходити з графіку роботи обладнання, що обслуговується вентиляційною чи помповою системою. Потрібно також враховувати перебування двигуна в стані гарячого (холодного) резерву, а також наявність системи автоматичного керування.

Кількість енергії, що споживається двигунами вентиляторів чи pomp залежить від номінальної потужності двигуна і обсягу виконаної роботи. Якщо двигун, потужність якого відповідає потужності вентилятора чи насоса, постійно працює на повну потужність, то він забезпечує запланований максимальний обсяг вентилявання повітря (помпування води). Однак, часто цей обсяг є надлишковим. Зменшити його з відповідним зменшенням енергоспоживання можна за допомогою засувки або регулюванням швидкості обертання двигуна. На рис. 2.9 наведено зв'язок між відносною споживаною потужністю та відносною продуктивністю (витратою) для вентилятора (а) та помпи (б) в залежності від способу регулювання продуктивності механізмів. На рис. 2.9 видно, що для обох механізмів використання механічних пристосувань, таких як засувки, менш ефективне, ніж електронних регуляторів швидкості двигуна, наприклад, регуляторів частоти.

Визначаючи споживання енергії обертовими електроприводами вентиляторів і pomp, енергоаудитор повинен враховувати всі перелічені вище фактори. Це допоможе виявити потенціал енергоощадності, наприклад, за рахунок ефективного керування потоками.

### 2.5.3 Оцінка споживання енергії повітряними і холодильними компресорами

Керування повітряними і холодильними компресорами з електроприводними пристроями здійснюють чотирма головними способами.

**Керування типу "увімкнути-вимкнути".** Цей спосіб застосовують в основному для невеликих поршневих компресорів. Компресор підвищує тиск повітря в системі, і у випадку досягнення певного значення тиску двигун компресора вимикається. Коли тиск знижується, компресор знову вмикається.

**Керування типу "з навантаженням - без навантаження".** Цей спосіб використовують для більших поршневих компресорів, для яких часті вмикання і вимикання можуть викликати пошкодження двигуна. Тому тут у випадку досягнення бажаного рівня тиску використовують клапани, які дозволяють поршням рухатися без надсилання повітря в резервуар стисненого повітря. Цей метод дозволяє заощадити велику

кількість енергії, хоч компресор, працюючи без навантаження, все ще споживає значну кількість енергії.

**Керування типу "повне навантаження - половина навантаження".** Це варіант описаного вище способу керування, в якому існує положення між повним навантаженням і без навантаження під час якого механізм використовується наполовину, щоб зменшити рівень виробітку повітря.

**Керування типу "повне регулювання".** Цей спосіб звичайно використовують для ротаційних гвинтових компресорів чи турбокомпресорів і дозволяє подавати повітря відповідно до попиту на нього. В деяких випадках можлива зміна продуктивності компресора у співвідношенні 3:1, чи навіть 4:1. Звичайно для цього використовують зміну робочого об'єму циліндрів гвинта чи турбіни, хоч в деяких випадках використовують двигуни зі змінною швидкістю обертання. Однак, завжди зі зменшенням навантаження має місце зменшення ефективності.

Тепер зупинимося на деяких особливостях, які слід враховувати під час визначення кількості електроенергії, що споживають двигуни повітряних і холодильних компресорів.

**Номінальна потужність електродвигунів.** Номінальна потужність двигуна звичайно вказана на його інформаційній таблиці (шильдї).

**Коефіцієнт середньою завантаження.** Оцінка коефіцієнта завантаження звичайно базується на замірах часу роботи компресора в різних режимах.

Дані про навантаження двигуна для різних режимів компресора звичайно подають заводи-виготовлювачі компресорів.

**Робочий час впродовж року.** Цей показник ґрунтується на кількості годин, протягом яких потрібне стисле повітря (охолодження).

#### 2.5.4 Оцінка споживання енергії іншими електроприводами і електронагрівальним обладнанням

Крім вентиляторів, pomp і компресорів обертові електроприводи застосовують і в іншому обладнанні. Прикладами можуть служити ліфти, конвеєри, вакуумні насоси і серводвигуни для автоматичного обладнання. Для такого обладнання нема чітких правил оцінки електроспоживання. Кожен випадок розглядають індивідуально.

Електронагрівальне обладнання містить широку гаму приладів різноманітного призначення. Сюди відносять устаткування підприємств громадського харчування (електричні печі), пралень (сушильні камери), випробувальних стендів (кліматизаційні камери). У промисловому виробництві застосовують електричне обладнання, що генерує пару (для заводських пресів, парових стерилізаторів). Електричну енергію

використовують у високотемпературних електротермічних установках (плавлення алюмінію; інфрачервоне, індукційне і високочастотне нагрівання, пряме резистивне нагрівання).

Навряд чи вимагається оцінка енергоспоживання високотемпературних і електронагрівальних процесів, оскільки відповідне устаткування має власні лічильники. Однак, для невеликих користувачів оцінка споживання, як правило, єдиний практичний шлях визначення кількості спожитої енергії.

Зупинимось тепер на обставинах, які слід враховувати під час визначення номінальної потужності обладнання, його коефіцієнта середнього завантаження та річного часу використання.

**Номінальна потужність обладнання.** Звичайно номінальна потужність обладнання вказується на його інформаційній табличці (шильдї). Слід звернути увагу, що для деякого обладнання може вказуватися окремо потужність приводу і потужність нагрівальних елементів.

**Коефіцієнт середнього завантаження.** Тут слід враховувати як періоди нагрівання, коли обладнання працює на повну потужність, так і періоди підтримання температури з частковим (близько 30%) споживанням енергії. Обладнання, яке працює короткими циклами, може мати вищий коефіцієнт середнього навантаження, ніж обладнання, що працює на одному рівні протягом тривалого часу.

**Робочий час впродовж року.** Визначення цієї величини є проблематичним. Найкращий метод оцінки тривалості роботи протягом року - досвід операторів.

#### 2.5.5 Оцінка споживання енергії паронагрівальним обладнанням

Для крупних споживачів технологічної пари обсяг споживання визначається шляхом прямих вимірів чи аналізом енергопотоків. Але для невеликих споживачів єдиним шляхом визначення кількості спожитої енергії є оцінка споживання.

Прикладами паронагрівального обладнання може бути обладнання підприємств громадського харчування (варильні казани, пароварильні апарати), обладнання пралень (пральні машини, сушильні камери), обладнання з процесами нагнітання пари (автоклавні стерилізатори, каустичні резервуари), обладнання з середньотемпературними процесами (кубові фарбники, текстильне сушіння, виробництво паперу).

Зупинимось на обставинах, які слід враховувати під час визначення енергоспоживання паронагрівальним обладнанням.

**Норма споживання пари.** Норма споживання пари зазвичай вказана на інформаційній табличці (шильдї) обладнання. Норма споживання

задається стосовно певного тиску пари. Відхилення тиску пари від нормованого значення повинно бути враховане.

**Коефіцієнт середнього завантаження.** Цей коефіцієнт враховує як періоди нагрівання (коли обладнання працює на повну потужність), так і періоди підтримання температури (обладнання працює з 30% потужністю). Отже, обладнання, що працює в режимі короткочасних циклів, може мати більший коефіцієнт середнього завантаження, ніж обладнання, що працює на одному рівні протягом тривалого періоду часу. Деяке паронагрівальне обладнання має лише ручне керування, а, отже, може мати сталу норму споживання пари.

**Тривалість роботи обладнання впродовж року.** Оцінка цієї величини часто є проблематичною. Найкращий метод оцінки годин роботи обладнання - опит операторів.

#### 2.5.6 Оцінка споживання енергії газонагрівальним обладнанням

У випадку високотемпературних процесів кількість спожитого газу звичайно вимірюють лічильниками, або обсяг його споживання може бути одержаний з аналізу потоків. Однак для невеликих споживачів кількість спожитого газу може бути визначена за способом оцінки споживання.

Прикладами типового невеликого газонагрівального обладнання може бути обладнання підприємств громадського харчування (газові печі), обладнання пралень (сушильні камери), обладнання середньотемпературних процесів, обладнання високотемпературних процесів (топкові камери).

Під час оцінювання споживання енергії газонагрівальним обладнанням слід враховувати наведені нижче міркування.

**Норма споживання газу.** Норма споживання газу зазвичай буває вказаною на інформаційній табличці (шильдї) обладнання. Часто подають інтервал значень (наприклад 2,05-2,3 м<sup>3</sup>/год), чим враховують нормальні відхилення теплотворної здатності газу.

**Коефіцієнт середнього завантаження.** В цьому показнику враховують періоди нагрівання (коли обладнання працює на повну потужність) та періоди підтримання температури (коли обладнання працює приблизно з 30% потужністю) Отже, обладнання, яке працює в режимі короткотривалих циклів, може мати вищий коефіцієнт завантаження, ніж обладнання, яке працює на одному рівні навантаження протягом тривалого часу.

**Тривалість роботи обладнання впродовж року.** Оцінка цього показника часто є проблематичною. Найкращий спосіб визначення тривалості роботи обладнання, як і в багатьох інших випадках, - досвід операторів.

## 2.6 Вправи

### 2.6.1 Енергоаудит теплоти

Невелика текстильна фабрика проводить аудит енергоспоживання котельні і парової системи. Котельня працює на легкому нафтовому паливі і виробляє пару, яка використовується в наступних цілях:

- Кубові фарбники
- Пральні машини
- Сушильна камера

#### *Додаткові відомості про котельню*

Загальне споживання палива складає 1 350 000 літрів в рік, а середня вища теплотворна здатність палива - 40,5 МДж/л. Середня вартість палива 0,09 Євро/л при загальних річних витратах на паливо 121 500 Євро.

Котел тестують на ефективність горіння шляхом вимірювання температури і вмісту кисню в газах, що відходять. Результат тесту показує, що котел має середню ефективність горіння, рівну 82 %, виходячи з вищої теплотворної здатності. В котельній немає лічильника парових потоків.

Котел виробляє пару з надмірним тиском в 6,99 бар (8,0 бар абсолютного тиску) із встановленим ступенем сухості, рівної 0,9. Діаграма досліджень котельної указує на середню температуру живильної води на рівні 85°C. Виходячи з цієї інформації з використанням таблиць термодинамічних властивостей пари і води, розраховуємо ентальпію пари і поверненого конденсату.

Ентальпія пари:	2 564 кДж/кг
<u>Ентальпія підживлюваної води:</u>	<u>356 кДж/кг</u>
Різниця ентальпій:	2 208 кДж/кг

#### *Додаткові відомості про фабрику*

##### Кубові фарбники:

Є три кубові фарбники, в які через один провідний трубопровід подається пара. Пара, що поступає через цей трубопровід, може бути виміряна безпосередньо надійним лічильником пари, який регулярно проходить переатестацію. Зареєстровано 7 150 тонн спожитої пари за рік.

##### Пральні машини :

На фабриці є три однакові пральні машини, кожна з яких нагрівається парою. Максимальна норма пароспоживання кожної машини

складає 150 кг/ годину, хоча журнал обліку підприємства показує, що середній рівень використання пари кожною машиною нормується в межах 95 кг/ година. Кожна пральна машина в середньому працює 4 800 годин на рік.

#### Сушильна камера:

Фабрика має одну сушильну камеру, яка сушить вироби після прання або фарбування. Сушильна камера має просту конструкцію, що використовує для просушування гаряче сухе повітря. Повітря подається вентилятором і нагрівається паровим акумулятором з системою автоматичного контролю, яка підтримує температуру на рівні 80°C.

Повітря, що поступає в нагрівальний акумулятор, має температуру 20°C і дуже низьку вологість. Отже, кількість енергії, необхідна для нагрівання 1кг повітря, обчислюється таким чином:

$$\text{Теплота} = (80 - 20) \text{ }^\circ\text{C} * 1,006 \text{ кДж}/(\text{кг}^\circ\text{C}) = 60,36 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Канал для подачі повітря в сушильну камеру має площу поперечного перетину 3,8 м<sup>2</sup>. Середня швидкість повітря, яке поступає в сушильну камеру складає 4,1 м/с при густині повітря 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Сушильна камера працює 4 800 годин на рік.

#### ***(a) Розрахунок палива і енергії виробленої пари***

Розрахуйте вміст енергії в спожитому за один рік паливі (в ГДж), виходячи з вищої теплотворної здатності. Обчисліть кількість цієї енергії, корисно використаної в котлі на вироблення пари, а також кількість енергії, втраченої з газами, що відходять.

За допомогою отриманих величин розрахуйте кількість виробленої пари без урахування таких втрат котла, як втрати при продуванні.

#### ***(b) Енергія, спожита кубовими фарбниками***

Зареєстроване споживання пари трьома кубовими фарбниками складає 7 150 тонн в рік. Розрахуйте вміст енергії в споживаній парі, а також енергетичний еквівалент використаної для генерації пари палива, враховуючи при цьому ефективність котла, рівну 82 %.

#### ***(c) Споживання енергії пральними машинами***

Використовуючи дану вище інформацію, розрахуйте енергію пари, спожитої пральними машинами. Обчисліть також енергетичний



еквівалент використаної для генерації пари палива, враховуючи при цьому ефективність котла, рівну 82 %.

**(d) Споживання енергії сушильною камерою**

Використовуючи дану вище інформацію, розрахуйте енергію пари, спожитої сушильною камерою, а також обчислите енергетичний еквівалент використаного для генерації цієї пари палива, враховуючи при цьому ефективність котла, рівну 82 %.

**(e) Підготовка таблиці енергоаудиту (чиста енергія)**

Для заповнення таблиці 2.6 використовуйте відповіді на питання (a) - (d). Відмітьте: оскільки описується аудит використання "чистої" енергії, ми окремо розраховуємо втрати з газами, що відходять. Втрати в розподільній мережі можна визначити шляхом віднімання.

Таблиця 2.6 - Аудит чистої енергії

Пункт	Споживання енергії за рік (ГДж)	Вартість (Євро)	% Споживання
Кубові фарбники Пральні машини Сушильна камера Втрати розподільної мережі Втрати з газами, що відходять			
Разом		121 500	100,0

**(f) Підготовка таблиці енергоаудиту (валова енергія)**

Для заповнення таблиці 2.7 використовуйте відповіді на питання (а) - (d). Відмітьте: оскільки описується аудит використання "вальної" енергії, втрати з газами, що відходять, розділені між кінцевими споживачами. Втрати в розподільній мережі можна визначити шляхом віднімання.

Таблиця 2.7 - Аудит вальної енергії

Споживач	Споживання енергії за рік (ГДж)	Вартість (Євро)	% Споживання
Кубові фарбники Пральні машини Сушильна камера Втрати в розподільній мережі			
Разом		121 500	100,0

**2.6.2 Аудит електроенергії**

На невеликому заводі по виробництву пластмаси проводиться аудит споживання електроенергії. Основні споживачі енергії:

- Внутрішнє освітлення
- Зовнішнє освітлення
- Електроприводи
- Стисле повітря
- Електричне опалювання

Загальне споживання за рік (за даними рахунків компаній, що поставляють електроенергію) складає 1 605 880 кВт-год вартістю 112 400 Євро. В процесі проведення енергоаудиту вирішено розрахувати споживання електричної енергії внутрішнім і зовнішнім освітленням шляхом оцінювання встановленої потужності і часу використання устаткування за рік в годинах. Для вимірювання енергії, спожитої електроприводами, будуть використані ручні токовимірювальні кліщі, а для вимірювання енергоспоживання електричним опалюванням - портативний реєстратор споживання навантаження. Споживання енергії повітряним компресором буде оцінено шляхом нагляду тривалості роботи устаткування в умовах повного навантаження, половинного навантаження, без навантаження. В результаті буде підготовлений енергоаудит з врахуванням "неврахованого" енергоспоживання, визначеного методом віднімання.

**(a) Розрахунок енергоспоживання для внутрішнього освітлення**

У ході енергетичного дослідження визначена наступна кількість і тип ламп внутрішнього освітлення:

Офісні приміщення:

25 світильників з флуоресцентними лампами потужністю 58 Вт, встановленими по одній;

42 світильники з флуоресцентними лампами потужністю 58 Вт, встановленими по дві;

Заводські приміщення:

12 ламп типа GLS потужністю 100 Вт;

72 лампи типа SON потужністю 250 Вт.

Опираючись на даних паспортів підприємств-виготівників ламп, визначена загальна норма споживання електроенергії кожною лампою:

Флуоресцентні лампи потужністю 58 Вт: загальна потужність в мережі = 70Вт.

Лампи типа GLS потужністю 100 Вт: загальна потужність в мережі = 100 Вт.

Лампи типа SON потужністю 250 Вт: загальна потужність в мережі = 276 Вт.

Опитування працівників показало, що в офісах освітлення використовується 66 годин на тиждень \* 50 тижнів на рік, а в заводських приміщеннях - 96 годин на тиждень \* 50 тижнів на рік. Виходячи з того факту, що не всі лампи знаходяться в робочому стані і що в офісах освітлювальні прилади іноді вимикаються, вирішено прийняти, що коефіцієнт використання дорівнює 0,7 для офісних приміщень і 0,85 - для заводських.

Розрахуйте встановлені навантаження і річне енергоспоживання для внутрішнього освітлення.

### ***(б) Розрахунок енергоспоживання для зовнішнього освітлення***

У ході енергетичного дослідження визначена наступна кількість і тип ламп зовнішнього освітлення:

22 лампи типа SON потужністю 70 Вт

Ґрунтуючись на даних паспортів виробників, визначено, що для даного типу ламп потужність в мережі рівна 81 Вт. Лампи контролюються фотоелементами, і по досвіду відомо, що вони в середньому використовуються 10 годин на день (3650 годин на рік) при коефіцієнті використання 0,85, що враховує поломки освітлювального устаткування.

Розрахуйте встановлені навантаження і річне енергоспоживання для зовнішнього освітлення.

### ***(с) Розрахунок енергоспоживання електроприводами***

На заводі є сім електроприводів, що використовуються у виробничому процесі. Приводи мають бирки від "А" до "Г". Всі двигуни – трифазні, живленням в 0,4 кВ. Знаючи, що більшість двигунів на практиці споживає менше енергії, ніж дозволяє їх номінальна потужність, необхідно зміряти потужність, споживану кожним електроприводом за допомогою ручних токовимірвальних кліщів. Всі двигуни мають добре збалансований фазовий струм, отже, можна легко розрахувати "середній" струм. Потім необхідно обчислити норму енергоспоживання для кожного електроприводу по формулі:

$$P(\text{кВт}) = \sqrt{3} * U(\text{кВ}) * I(\text{А}) * \cos \varphi$$

У кожному випадку для розрахунку енергоспоживання ми приймаємо коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,8$ . Нижче представлені розрахунки по кожному двигуну. Розрахуйте фактичне споживання потужності.

Привод Паспортна табличка Середній струм Середня споживана потужність

A	7,5 кВт	10А	_____кВт
B	7,5 кВт	12А	_____кВт
C	35,0 кВт	55А	_____кВт
D	18,5 кВт	30А	_____кВт
E	18,5 кВт	25А	_____кВт
F	32,0 кВт	45А	_____кВт
G	15,5 кВт	25А	_____кВт

Опитування операторів заводу показало, що з 96 робочих годин в тиждень (4800 годин в рік) використання двигунів складає:

Привод А:	70%	Привод В:	50%
Привод С:	50%	Привод D:	80%
Привод Е:	80%	Привод F:	70%
Привод G:	50%		

Застосуйте дані коефіцієнти до величини середнього споживання потужності, розрахованої вище, і знайдіть річне енергоспоживання.

**(d) Розрахунок енергоспоживання повітряним компресором**

На заводі є двоступеневий поршневий компресор. Його двигун має потужність 110 кВт. Система регулювання компресора забезпечує необхідний тиск шляхом перемикавання трьох стадій управління: повного навантаження, половини навантаження, без навантаження. Дані підприємства по енергоспоживанню і виробленню повітря на кожній з цих стадій представлені нижче:

При повному навантаженні: потужність 100 кВт;

При половинному навантаженні: потужність 65 кВт;

Без навантаження: потужність 28 кВт.

Ви спостерігаєте роботу компресора протягом 15 хвилин нормальної виробничої діяльності. Час, витрачений на кожну контрольну стадію, складає:

При повному навантаженні:	385 секунд
При половині навантаження:	410 секунд
Без навантаження:	105 секунд
Загальний час:	900 секунд

Розрахуйте середню норму споживання і річне споживання електричної енергії за умови, що компресор працює 96 годин на тиждень, 50 тижнів на рік.

**(e) Розрахунок енергоспоживання електричним опалюванням**

Завод має два електронагрівальні елементи, що використовуються для підігріву пластмаси перед формуванням. До устаткування на вісім годин приєднується портативний електричний реєстратор споживання навантаження. Отримані наступні результати:

Машина № 1:	560 кВт-годин
Машина № 2:	525 кВт-годин

Розрахуйте величину річного енергоспоживання для електронагрівальних елементів при умові, що вони працюють 96 годин на тиждень, 50 тижнів на рік.

**(f) Підготовка звіту по енергоаудиту**

Занесіть відповіді по розділах (a) - (e) в таблицю 2.8, а також шляхом віднімання розрахуйте "невраховане" енергоспоживання. Заповніть таблицю, проставивши напроти кожної категорії енергокористувача середню вартість і розрахувавши відсоток енергоспоживання від загальної кількості енергії.

Таблиця 2.8 - Аудит електроенергії

Споживач	Річне споживання кВт-годин	Річні витрати; євро	% споживання
----------	----------------------------	---------------------	--------------

Внутрішнє освітлення			
Зовнішнє освітлення			
Електроприводи			
Стисле повітря			
Електричне опалювання			
Разом	1 605 880	112700	100,0

## 2.7 Приклади питань тестового контролю

1. Вказати відповідність особливостей оцінки енергоспоживання різних видів устаткування

2. Як оцінити енергоспоживання комп'ютера?

3. Вказати правильні баланси маси котла.

4. Що таке тимчасові вимірники?

5. При аналізі потоків енергії в теплообміннику зазвичай визначають...

6. При аналізі енергопотоків холодильної установки можна використовувати наступні баланси (нехтуючи втратами в трубопроводах)...

7. Показником ефективної роботи градирні холодильної установки є

8. Як точніше визначити потужність освітлювальної лампи?

9. Які цілі можуть досягатися в енергоаудиті (зборі і аналізі даних)?

10. Які прилади вимірюють кількість спожитої енергії?

11. Що заміряє тепловий лічильник?

12. Що характеризує представлені нижче види регулювання компресорів?

13. Назвіть найбільш точний спосіб оцінки витрати спожитої енергії.

14. Розташувати способи регулювання вентилятора по ефективності, починаючи з найменш ефективного

15. У чому суть методу часткового вимірювання?

16. Для яких випадків є найбільш застосованим розрахунковий метод споживання палива?

17. Як оцінити кількість вугілля що зберігається на відкритому майданчику?

18. Що можна використовувати для вимірювання витрати рідини?

19. У чому суть методу регресійного аналізу при проведенні непрямого вимірювання енергії?

20. Що можна віднести до постійного навантаження котельною при регресійному аналізі?

21. Що можна віднести до змінного навантаження котельною при регресійному аналізі?

22. Для якого устаткування рекомендується використання перевірочних тестів?
23. На чому базується метод перевірочного тесту?
24. У чому суть методу непрямого вимірювання?
25. Що необхідно знати для оцінки ефективності роботи котла ?
26. У якому випадку використовується метод оцінки споживання?
27. Яке з джерел про номінальну потужність установки найбільш достовірне?
28. Що необхідно знати для підрахунку витрати середовища в трубопроводі?



## 3 АНАЛІЗ ЗІБРАНИХ ДАНИХ

### 3.1 Співставлення і перехресна перевірка даних про енергоспоживання

Після завершення збору інформації про споживання енергії на підставі вимірювань, оцінки і аналізу потоків енергії виконують співставлення даних шляхом додавання використаної всіма споживачами електроенергії, теплоти, пари, тощо. Ця процедура детально повинна бути здійснена до проведення аналізу енергоспоживання, щоб при аналізі аудитор оперував якомога достовірнішими даними. Під час співставлення даних може виявитися невідповідність, тобто сума індивідуального енергоспоживання не завжди узгоджується з виміряним загальним енергоспоживанням. Якщо виявлено великі відмінності між сумою показів окремих лічильників, встановлених на об'єкті, і основного лічильника, то можна виконати такі дії:

- з'ясувати, чи є такого ж порядку різниця місячних показів;
- з'ясувати, чи є серед об'єктових лічильників такі, покази яких не зчитуються і не обліковуються;
- з'ясувати, чи є неконтрольовані споживачі енергії;
- провести протягом тижня щоденне зчитування лічильників і визначення розбіжностей;
- перевірити співвідношення номінальних параметрів лічильників і їх перетворювачів (наприклад, номінальних струмів трансформаторів струму) і дійсних значень потоків;
- здійснити повірку підозрілих лічильників.

Для виявлення помилок, допущених в ході обстеження чи співставлення даних, проводиться перехресна перевірка даних. Існує кілька різних методів перевірки правильності виміряного чи оціненого енергоспоживання:

- вхідний-вихідний паливно-енергетичний баланс;
- баланс маси;
- ефективність використання енергії;
- порівняння з показниками роботи.

#### 3.1.1 Вхідний-вихідний паливно-енергетичний баланс

Розглянемо приклад проведення аудиту електроенергії на заводі. Аудитор визначив річне споживання електроенергії, розділив його на

чотири категорії використання: освітлення, вентиляція, стисле повітря та інша енергія (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Споживання підприємством електроенергії

Загальне споживання електроенергії за рік (за даними електролічильника компанії)	4203250 кВт*год
Перевірене споживання енергії	
- освітлення	980000 кВт*год
- вентиляція	250000 кВт*год
- стиснене повітря	14120000 кВт*год
- невиробнича енергія	1258500 кВт*год
Сумарне споживання	3900500 кВт*год

Різниця між загальним і сумарним споживанням - 302750 кВт-год (7,2% від загального споживання). Обчисливши сумарні споживання, аудитор зауважив, що ця величина на 7,2% менше аналогічної величини, зафіксованої електролічильником підприємства. Ця різниця може бути віднесена на різноманітні невеликі споживачі. У випадку, якщо різниця дуже велика чи від'ємна, це вказує на помилку в аудиті, яка повинна бути виявлена. Зазначимо, що у випадку такої розбіжності при складанні балансу щодо споживання газу, це могло потребувати додаткових досліджень, тому що, зазвичай, неконтрольованих споживачів газу нема.

Розглянемо другий приклад, аудит котельні (табл.3.2). Тут спожите паливо множать на теплотворну здатність, а вироблену кількість пари - на підвищення ентальпії. Таким чином, одержуємо енергію палива і енергію пари в однакових одиницях енергії - в ГДж. Оскільки парові котли не можуть досягати такої високої ефективності (баланс складено за вищою теплотворною здатністю), як одержана в наведеному прикладі, це свідчить про помилку в аудиті. Деякі дані потребують перевірки.

Таблиця 3.2 - Паливно-енергетичний баланс парового котла

Загальне споживання палива (мазут)	1570420 кг
Теплотворна здатність палива	40,6 МДж/кг
Разом паливна енергія	63759 ГДж
Всього вироблено пари	25200 тон
Ентальпія пари	2730 кДж/кг
Ентальпія живильної води котла	293 кДж/кг
Разом енергія пари	61412 ГДж

Розрахункова ефективність (ККД)	96,3%
---------------------------------	-------

### 3.1.2 Баланс маси

Перехресна перевірка за балансом маси пари і конденсату може бути застосована до парового котла. На рис. 3.1 показані потоки пари і води, які можуть бути виміряні в системі парогенерації та утилізації.

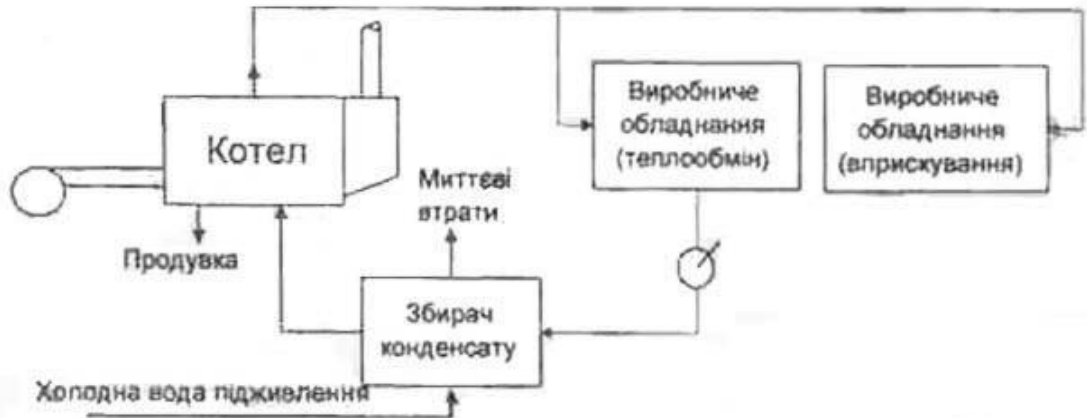


Рисунок 3.1 Потоки пари і води в системі пароспоживання.

Вироблена пара використовується в теплообмінниках і пароінжекторах (вприскувачах) виробничого обладнання і, крім того, частина пари витікає через різного роду нещільності паропроводів. Припустимо, що аудитор визначив споживання пари теплообмінниками та інжекторними установками. Ці значення додаються і порівнюються з загальною кількістю виробленої пари. Якщо ця сума виявляється більше загальної кількості виробленої пари, то стає очевидним, що принаймні одна з трьох величин виміряна невірно. Наступним кроком може бути перевірка точності лічильника пари. Для цього порівнюють покази лічильника пари з показами лічильника живильної води (якщо він наявний), або з величиною споживання палива, помноженою на виміряну ефективність горіння. Якщо ці перевірки показують, що лічильник пари працює точно, то перебільшеним виявилось споживання пари теплообмінниками і (чи) пароінжекторами.

Зазначимо, що наведені приклади є схожими з тими, що розглянуті в розділі аналізу потоків енергії та маси при збиранні даних (див. 2.4). Різниця в тому, що тоді метою було знайти невідомі потоки енергії, а зараз, коли потоки відомі, мета - перевірити правильність зібраної інформації.

Наступний етап перехресної перевірки за балансом маси - порівняння кількості спожитої інжекторами кількості пари з кількістю свіжої підживлювальної води, приймаючи, що ця кількість виміряна точно. Відомо, що кількість води підживлення рівна кількості пари, спожитої

інжекторами плюс продувка, витоки і миттєві втрати. Значення продувки котла визначити відносно просто, виходячи з тиску котла, діаметра труби, тривалості і частоти продувки. Існують також способи підрахунку витоків пари та миттєвих втрат пари, які можна використати після дослідження системи паророзподілу. За умови, що кількість спожитої пароінжекторами пари істотно перевищує задані вище втрати, вона може бути досить точно обчислена і тепер можна точно визначити споживання пари як теплообмінниками, так і пароінжекторами.

### 3.1.3 Перехресна перевірка за ефективністю використання енергії

Прикладом перевірки за ефективністю використаної енергії може бути порівняння потужності освітлення і досягнутого рівня освітленості.

Наприклад, завод освітлюється люмінесцентними лампами з загальною потужністю освітлювальної системи 55 кВт. З використанням одержаних від виробника характеристик ламп та врахуванням вимірних розмірів будівлі, кольору підлоги, стін і стелі аудитор розрахував очікувану освітленість на рівні 300 люксів. Під час вимірювання фактичних рівнів освітленості аудитор виявив, що вони лежать в межах від 100 люксів до 380 люксів з середнім значенням 280 люксів. Отже, вимірне аудитором значення освітленості досить близьке до значення, одержаного ним на основі потужності освітлювальної системи.

### 3.1.4 Перевірка порівнянням з типовими показниками роботи

Цей метод перехресної перевірки порівнює визначене аудитором споживання енергії з надійним показником того, скільки енергії повинно бути використано. Наприклад, у Великобританії державні органи повідомляють для різних типів будівель (офіси, склади, промислові будівлі, холодильники) значення питомого енергоспоживання (на м<sup>2</sup>), які відповідають доброму, задовільному, посередньому, поганому і дуже поганому рівню ефективності енерговикористання. Ці показники конкретизовані для різного розташування будівель (на горі, в долині), характеристики вітрів, тривалості перебування в будівлі працівників. Причому ці показники є не теоретично розрахованими, а практично досягнутими (табл.3.3).

Таблиця 3.3 - Показники енергоефективності будівель

Категорія споживання	Показник енерговитрат (ГДж/м <sup>2</sup> ) для рівня енергоефективності
----------------------	--

	добрий	задовільний	посередній	поганий	дуже поганий
Опалення централізоване	<0,59	0,67	0,81	0,93	>0,93
Додаткове опалення (електроенергія)	<0,08	0,10	0,15	0,22	>0,22
Разом	<0,67	0,77	0,96	0,15	>1,15

### 3.2 Аналіз ефективності використання енергії на об'єкті

Після закінчення обстеження енергоспоживання на об'єкті енергоаудитор приступає до аналізу ефективності використання енергії. Аналіз містить таблиці, графіки і короткий коментар. Основна мета аналізу визначити області енергоспоживання, де можна очікувати значну економію енергії, чи грошових коштів.

Аналіз має на меті вирішити такі питання:

1. Розрахувати обсяг споживання енергії різними споживачами в межах об'єкту.
2. Розподілити фінансові видатки на енергію пропорційно між всіма споживачами.
3. Порівняти енергоспоживання з випуском продукції.
4. Визначити відхилення від норми щодо споживання енергії (тобто неочікувано високі чи низькі рівні споживання, або помилково визначене споживання під час регресивного аналізу).

Іноді в процесі аналізу виявляються відхилення від норми. Відхилення можуть бути зумовлені невірними рахунками постачальників палива, в таких випадках інколи можна добитися повернення грошей. В інших випадках можуть бути виявлені відхилення від норм, викликані зловживаннями у використанні енергії. В такій ситуації аудитор зобов'язаний чітко окреслити цю негативну практику.

### 3.3 Елементи аналізу ефективності енерговикористання

Для досягнення згаданих вище цілей енергоаудитор використовує всі або деякі з таких елементів:

- звіт про річну закупівлю палива та енергії;

- графічне представлення аналізу;
- таблицю енергоаудиту;
- коефіцієнти вартості палива;
- діаграму Сенкі;
- кругові діаграми енергоспоживання.

### 3.3.1 Звіт про закупівлю палива та енергії протягом року

Цей звіт звичайно подають в табличній формі. Таблиці складають на підставі щомісячних рахунків постачальників палива та енергії, вони містять всю необхідну технічну і фінансову інформацію (табл. 3.4, 3.5)

Таблиця 3.4 - Споживання палива (енергії)

Місяць, рік	Види палива (енергії)					
	Електрик а,	Приро д. газ,	Дизельн е	Паливни й мазут,	Скрап л. газ,	Кокс, т
Січень, 07	531900	0	42,99	158,19	2300	0
Лютий, 07	9952100	0	266,67	1004,44	81800	291,4
Березень,0	11167800	0	264,87	1046,30	31500	299,8
Квітень, 07	7884000	0	208,72	777,28	25700	303,1
Травень, 07	11237200	0	178,63	1075,05	21500	329,1
Червень, 07	8527200	0	232,91	633,16	20800	314,9
Липень, 07	3810400	161100	84,62	245,68	13800	91,6
Серпень,	9301300	297800	213,25	657,67	22800	284,3
Вересень,0	10907900	360000	139,40	683,42	23300	370,9
Жовтень,	4401000	256300	238,21	525,99	24500	95,0
Листопад,0	8394300	339100	204,62	650,00	34500	320,0
Грудень, 07	11396300	418600	266,75	804,86	33600	338,5
<b>Разом</b>	<b>97514400</b>	<b>183290</b>	<b>2301,62</b>	<b>8280,91</b>	<b>286100</b>	<b>3038,6</b>

Таблиця 3.5 - Видатки на оплату палива (енергії), тис. грн.

Місяць, рік	Види палива (енергії)					
	Електрик а	Природ . газ	Дизельн е	Паливни й мазут	Скрап л. газ	Кокс
Січень, 07	108,04	0	69,61	91,71	4,52	0
Лютий, 07	2021,47	0	431,80	582,30	160,59	124,25
Березень,	2268,40	0	428,89	606,56	61,84	127,83
Квітень, 07	1601,40	0	337,97	450,61	50,45	129,24
Травень, 07	2282,50	0	289,25	623,23	42,21	140,33
Червень, 07	1732,05	0	377,14	367,06	40,83	134,27
Липень, 07	773,97	72,43	137,02	142,43	27,09	39,06
Серпень, 07	1889,28	133,89	345,30	381,27	44,76	121,22
Вересень,	2215,61	161,86	225,72	396,19	45,74	158,15
Жовтень,	894,54	115,23	385,64	304,93	48,10	40,51
Листопад,	1705,05	152,46	331,33	377,13	67,73	136,45
Грудень, 07	2314,87	188,20	431,93	466,58	65,96	144,34



<b>Разом</b>	19807,13	824,07	3791,60	4800,62	561,67	1295,6
--------------	----------	--------	---------	---------	--------	--------

### 3.3.2 Графічне представлення аналізу

Під час аналізу та у звітах з енергоаудиту застосовують два види графіків:

- *графік зміни енергоспоживання в часі (так званий лінійний графік енергоспоживання), на якому крім помісячного енергоспоживання можуть бути нанесені дані про температуру навколишнього середовища та інші фактори, що впливають на споживання енергії (рис. 3.2 а);*
- *графік регресивного аналізу (рис. 3.2 б);*

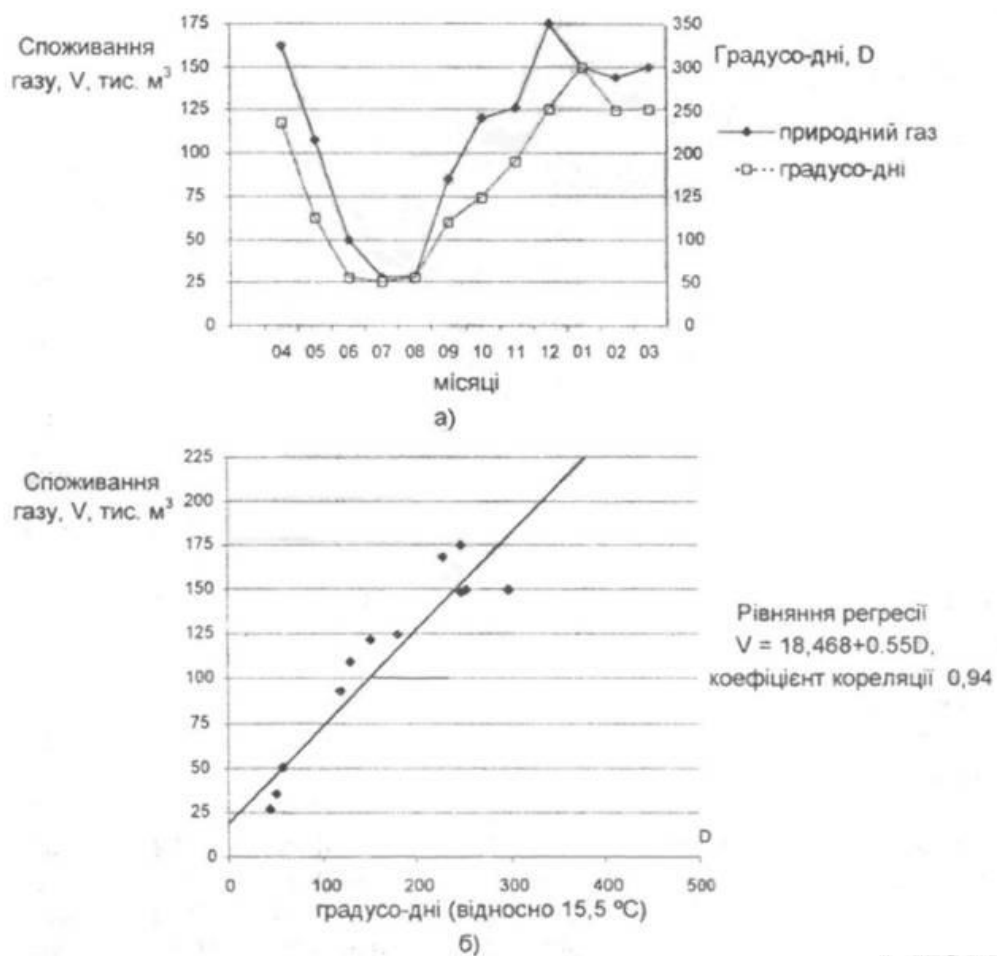


Рисунок 3.2 - Графічне представлення аналізу.

На рис. 3.2а як приклад наведено помісячний графік споживання газу опалювальною системою та показник зовнішньої температури - градусо-дні. Чим нижча температура оточуючого середовища, тим більше градусо-днів. Графік ілюструє вплив погодних умов на споживання газу. Зокрема, спостерігається аномалія в грудні і січні. Споживання у грудні більше, хоч

градусо-днів навпаки, в січні більше ніж у грудні. Це може бути зумовлено тим, що зчитування показів лічильника за грудень у зв'язку з новорічними святами було відкладено на початок січня.

Графік на рис. 3.2б показує результат регресивного аналізу залежності між споживанням енергії і незалежною змінною, в даному випадку між споживанням газу на опалення і градусо-днями. На основі регресивного аналізу визначене базове споживання (18468 м<sup>3</sup> газу) і швидкість наростання змінного споживання (550,0 м<sup>3</sup>/градусо-день), а також коефіцієнт кореляції. В нашому випадку має місце досить тісна кореляція з коефіцієнтом, рівним 0,94.

### 3.3.3 Таблиця енергоаудиту

В таблиці енергоаудиту всі види енергії і всі види палива, одержані об'єктом, діляться між певними групами енергоспоживачів. Фінансові видатки в таблиці ділять пропорційно до цього енергоспоживання. Енергоспоживання кожним користувачем подають в тих одиницях, які використовують під час придбання цієї форми енергії чи енергоносія, а також в єдиних одиницях, що дозволяє порівняти між собою використання різних видів енергії. Таблиця ілюструє також частку споживання і частку вартості енергії для кожного споживача.

Приклад таблиці енергоаудиту наведено нижче (таблиця 3.6).

Вартість спожитої конкретним приймачем енергії визначалась як добуток вартості одиниці електроенергії чи газу на кількість спожитих електроенергії чи газу. Колонка "вартість" показує скільки підприємство сплачує за кожен вид спожитої конкретним споживачем енергії. Колонка "частка споживання" та "частка вартості" ілюструють долю кожного споживача в загальній кількості використаної енергії. Можна зауважити, що "частка вартості" електроенергії вища її "частки споживання", а для газу - навпаки. Це пояснюється вищою вартістю електроенергії порівняно з газом.

### 3.3.4 Коефіцієнти вартості палива і енергії

Ці коефіцієнти співвідносять споживання і вартість енергії з обсягом виробництва, зовнішньою температурою, розмірами будівлі, тобто з факторами, від яких залежить обсяг енергоспоживання. Таким чином, коефіцієнти вартості палива і енергії є простими показниками роботи. Ці показники використовують, як інформацію про вартість енергії, що спожита в певних зонах. Їх також використовують для порівняння ефективності використання енергії на кількох однотипних об'єктах. Приклад типових коефіцієнтів вартості палива наведений в табл.3.7.

Під час обстеження одного з офісів (майже нового будинку з доброю тепловою ізоляцією та із системою кондиціонування повітря) встановлено, що на опалення витрачається майже вдвічі більше енергії, ніж це потрібно було б за доброго рівня енерговикористання. Однією з причин було цілодобове підтримання температури в офісі на рівні 21°C. Переналаштування регулятора системи кондиціонування повітря на підтримання в позаробочий час температури 16°C дозволило зменшити споживання енергії на опалення на 30% фактично з нульовими видатками.

Таблиця 3.6 - Таблиця енергоаудиту

Споживання	В натур. одиницях вимірюв.	В спільних одиницях вимір., ГДж	Вартість, грн.	Частка споживання, %	Частка вартості, %
<b>Електроенергія (кВт*год)</b>					
Внутрішнє освітлення	115340	415,22	49079,00	7,1	15,9
Зовнішнє освітлення	15811	56,92	6727,90	1,0	2,2
Котельня	18905	68,06	8044,70	1,2	2,6
Кухня	62115	233,61	26430,70	3,8	8,6
Пральня	81304	292,69	34596,00	5,0	11,2
Помпування води	96108	345,99	40896,00	6,0	13,2
Різне офісне обладнання	32116	115,62	13666,30	2,0	4,4
Разом	421699	1518,11	179440,60	26,1	58,1
<b>Газ (м<sup>3</sup>)</b>					
Опалення приміщень	67121,1	2611,01	78591,40	44,9	25,4
Гаряча вода комунально-побутового призначення	6270,4	243,92	7342,00	4,2	2,4

Кухня	15458,1	601,32	18099,77	10,3	5,9
Пральня	18139,0	705,61	21238,90	12,2	6,9
Втрати розподілу	3397,7	132,17	3978,30	2,3	1,3
Разом	4294,03	4294,03	129250,30	73,9	41,9
Підсумок	5812,14	5812,14	308690,90	100,0	100,0

Таблиця 3.7 - Коефіцієнти вартості палива

Назва коефіцієнта	Кількісне значення
Енергія для освітлення 1 м <sup>2</sup>	19,46 кВт*год (0,070 ГДж)
Вартість енергії 1 м <sup>2</sup>	8,05 грн.
Паливо, необхідне для опалення 1 м <sup>2</sup> приміщень	1,68 ГДж
Вартість палива для опалення 1 м <sup>2</sup> приміщень	50,60 грн.
Паливо, необхідне для забезпечення гарячою водою комунально-побутового призначення (ГВКПП) (1 особа)	10,2 ГДж
Вартість палива для забезпечення ГВКПП (1 особа)	307,6 грн.
Паливо, необхідне для приготування 1 страви	0,006 ГДж
Вартість палива для приготування 1 страви	0,32 грн.
Паливо необхідне для прання 1 комплекту одягу	0,005 ГДж
Вартість палива для прання 1 комплекту одягу	0,25 грн.
Разом палива, що споживається на 1 м <sup>2</sup>	2,10 ГДж
Вартість палива, що споживається на 1 м <sup>2</sup>	94,5 грн.
Разом палива, що споживається на 1 м <sup>3</sup>	6,3 ГДж
Вартість палива, що споживається на 1 м <sup>3</sup>	283,5 грн.
Загальна огорожена площа приміщень	42000 м <sup>2</sup>
Загальний огорожений об'єм будівель	126000 м <sup>3</sup>
Кількість споживачів	800
Річна кількість приготованих страв	584000
Річна кількість випраних комплектів одягу	166400

### 3.3.5 Діаграма Сенкі

Діаграма Сенкі - це графічне зображення потоків енергії, в якому товщина різних елементів діаграми пропорційна відповідній кількості енергії. Деякі діаграми Сенкі відображають циклічний рух енергопотоків. наприклад, повернення конденсату в котельню. Приклад діаграми Сенкі наведена на рис.3.3.

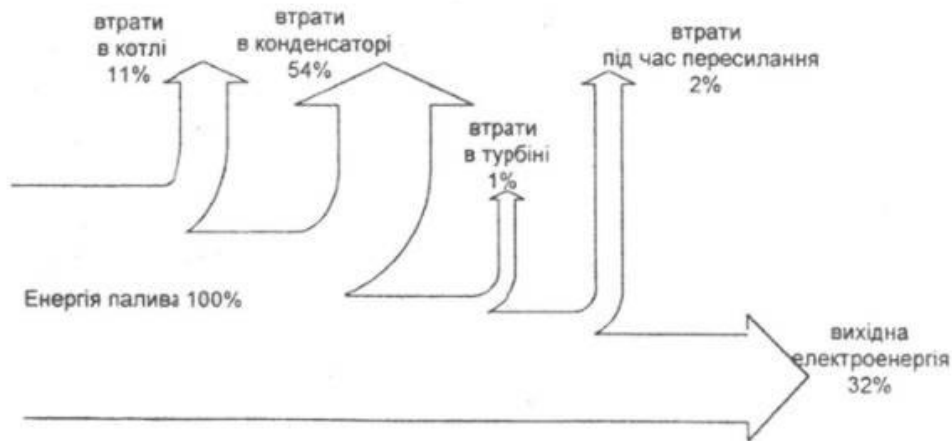


Рисунок 3.3 - Приклад діаграми Сенкі

### 3.3.6 Кругові діаграми енергоспоживання

Більш поширеною, ніж діаграма Сенкі, в енергоаудиті є кругова діаграма, за допомогою якої можна графічно зобразити споживання енергії як в натуральних, так і у відносних одиницях. Приклад кругової діаграми наведений на рис. 3.4.

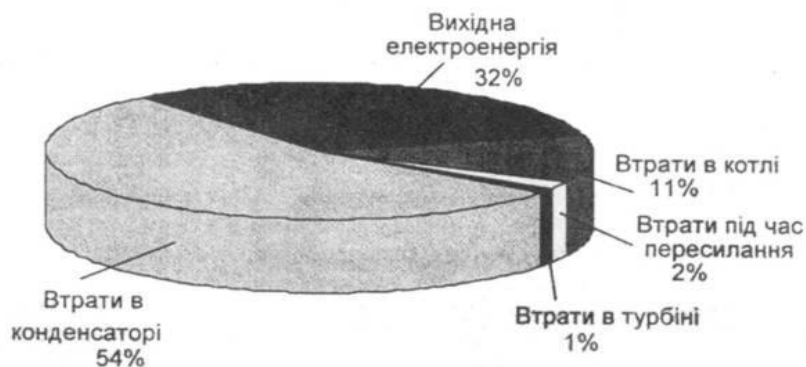


Рисунок 3.4 - Приклад кругової діаграми

### 3.4 Приклад аналізу енергоспоживання підприємства

Досліджуваний об'єкт є великим комплексом, побудованим від 15 до 60 років тому. Компанія займається випуском металів, виробництвом сплавів для сталеливарної промисловості, з'єднань вольфраму, а також з'єднань рідкоземельних елементів. Є декілька печей як газових, так і електричних, які використовуються для плавки металів, легування, окислення і відновлення. Пара виробляється в газових котлах і

використовується для хімічних процесів, а також для нагріву приміщень. Завод працює 24 години на добу, 5 днів на тиждень.

Рахунок, що виставляється за споживання енергії за рік, складає 1,7 млн. доларів. Проводиться якісне вимірювання витрати газу і електричної енергії по всіх основних заводських статтях, а кожний з цехів контролюється окремо. Показання знімаються в кінці кожного місяця. В бойлерній установлені лічильники пари, але немає додаткових лічильників в цехах.

Ви провели на заводському майданчику два тижні і закінчили аналіз показань лічильників газу і електричної енергії за останні дванадцять місяців.

#### 3.4.1 Збір та аналіз первинних даних

Показання лічильників споживання газу за останні дванадцять місяців наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 -Покази лічильників газу та вартість спожитого газу

Назва лічильника	Споживання, тис. м <sup>3</sup>	Вартість, \$
Основний лічильник	8 325,2	690 992
Цех 1	2775,1	230333
Цех 2	334,1	27730
Цех 3	883,5	73331
Цех 4	606,0	50298
Цех 5	296,0	24 568
Бойлерна	1 803,8	149715
Офісні площі	67,9	5636

#### Питання

1. На які проблеми це вказує?
2. Які заходи ви вживете, щоб розв'язати ці проблеми?
3. У якому цеху(ах), приміщенні(ях) ви хотіли б розпочати більш глибоке дослідження?

#### 3.4.2 Вивчення ситуації

Ваш аналіз показань за останній рік для цеху №1 (головний плавильний цех), представлено у табл. 3.9, 3.10.

Піч на п'ять тонн працює як резервна по відношенню до печі на 10 тонн, остання є основним видом плавильного устаткування в цеху. Весь метал, що виплавляється в цих двох печах, спочатку пропускається через підігрівач. Плавка відходів алюмінію є окремим процесом і здійснюється за допомогою чотирьох газових шурових ломів, які вставляються у відходи у відкритий ківш. Знежирювач титана не пов'язаний з вищезгаданим устаткуванням.





Таблиця 3.9 - Споживання газу та вартість спожитого газу в цеху №1

Заводське устаткування/Процес	Споживання газу (тис. м <sup>3</sup> )	Вартість, \$
Піч для виплавки 10 тонн алюмінію	884,90	73446
Піч для виплавки 5 тонн алюмінію	145,62	12086
Підігрівач алюмінію	134,41	11 156
Плавка відходів алюмінію в ковшах	618,87	51 366
Підігрівачі ковшей для сталі	128,81	10692
Знежирювачі відходів титана	78,41	6508
Підігрівачі інших ковшей	134,41	11 156
Підігрівачі форм	53,21	4416
Опалення приміщень	249,23	20686
Баланс (не вимірювався) - додаткові підігрівачі, газові шурові ломи і т.д.	347,24	28821

Таблиця 3.10 - Споживання електроенергії в цеху №1 та її вартість

Заводське устаткування/Процес	Споживання (МВт-ч)	Вартість, \$
Індукційні печі		
Піч №1, виплавка сталі	2031	101 550
Піч №2	1 662	83 100
Піч №3	910	45500
Піч №4	806	40300
Піч №5	487	24350
Піч №6	405	20250
Піч №7	215	10750
Градирні	612	30600
Піч №1, Установа для газоочищення	701	35050
Установа для газоочищення печі №3	205	10250
Освітлення	466	23300
Загальне споживання	817	40850

Піч на п'ять тонн працює як резервна по відношенню до печі на 10 тонн, остання є основним видом плавильного устаткування в цеху. Весь метал, що виплавляється в цих двох печах, спочатку пропускається через підігрівач. Плавка відходів алюмінію є окремим процесом і здійснюється

за допомогою чотирьох газових шурових ломів, які вставляються у відходи у відкритий ківш. Знежирювач титана не пов'язаний з вищезгаданим устаткуванням.

Крім печі №1, всі печі споживають енергію від газових плавильних печей і використовуються для легування.

Питання:

1. Тепер ви хочете одержати більше "управлінської" і суб'єктивної інформації про установки і виробничі процеси. До кого ви звернетесь?

2. На якому устаткуванні або процесах ви сконцентруєте свою увагу? Чи не здаються вам деякі цифри надзвичайно високими на цьому етапі досліджень?

3. Вкажіть інформацію, яка вам потрібна, і вимірювання, які ви хотіли б зробити.

### 3.4.3 Аналіз ситуації

Ваші інтерв'ю і обхід заводу разом з деякими вимірюваннями і розрахунками дали наступну інформацію:

• Загальний ккд:

14% для плавильної печі на 10 тонн

9% для плавки відходів в ковшах

11% для підігрівача алюмінію

• Рекуперація використаного тепла не проводиться.

• Не працює автоматичний регулятор температури на печі на 10 тонн, а регулювання подачі газу або повітря може шунтуватися оператором печі.

• Немає регулятора відношення "газ/повітря" або регулятора температури ні на плавильному апараті для відходів, ні на підігрівачі, а диспетчерське управління слабе.

• Здається, що підігрівачі ковшів для сталі працюють ефективно, але немає управління тривалістю їх роботи.

• Решта нагрівачів ковшів і/або форм не має регуляторів тривалості роботи або температури.

• Обігрів приміщень здійснюється за допомогою газових радіаторів.

• На пічних майданчиках використовується велика кількість газових шурових ломів, що працюють на чистому газі (тобто без домішки повітря).

• Жодна з індукційних печей не має кришок.

• Типовий цикл роботи індукційної печі:

30 хвилин - нагрівання і легування

60 хвилин - витримка при певній температурі

30 хвилин - охолодження

- Оскільки котушки індукційної печі вимагають чотиригодинного охолодження в кінці кожного тижня, то ланцюги накачування працюють протягом вихідних днів.

- Вентилятори градирень не мають термостатичного регулювання.
- Газ випускається піччю №1 протягом 20 хвилин щогодини.
- Вентилятори і компресори установки для газоочищення працюють в безперервному режимі.
- Освітлення забезпечується ртутними лампами, яке можна вважати задовільним.

### Питання

Перерахуйте можливі шляхи економії енергії, з яких вам слід розпочати вивчення питання.

## 3.5 Рішення

### 3.5.1 Які виявлені проблеми?

Сума показань додаткових лічильників вказує на розбіжність в 19% щодо показань основного лічильника (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 - Аналіз споживання газу

Назва лічильника	Показання тис. м <sup>3</sup>	Відсоток (%)
Цех №1	2775,056	33,3
Цех №2	334,139	4,0
Цех №3	883,487	10,6
Цех №4	605,982	7,3
Цех №5	269,010	3,2
Бойлерна	1083,786	21,7
Офісні площі	67,960	0,8
Всього	6739,422	80,9
Основний лічильник	8325,169	100
Різниця	1585,746	19,1

### 3.5.2 Які заходи слід вжити?

Міри, які слід зробити приводяться по порядку:  
Перевірте, чи є у котла розбіжність місячних свідчень.  
Є.

Шляхом підсумовування показань окремих лічильників заводських установок, перевірте, чи є серед додаткових лічильників такі, показання яких не читаються.

*Ні.*

Повірте лінії подачі газу. Прослідіть, чи немає неконтрольованих користувачів газу.

*Всі користувачі враховані і контролюються лічильниками.*

Протягом одного тижня перевірте щоденні показання лічильників і відстежте розбіжність.

*Щоденна розбіжність коливається від 12% до 22%.*

Якщо основний лічильник перевіряла газова компанія, то вам могли зробити приписку.

*Приписок не було.*

Перевірте максимальне і мінімальне номінальні значення додаткових лічильників. Порівняйте максимальне номінальне значення з можливим навантаженням за умови, що всі установки, виведені на цей лічильник працювали на максимумі, тобто оцініть максимальну потребу.

*Лічильники трьох цехів не можуть реєструвати максимальні навантаження.*

Перевірте лічильник в бойлерній шляхом розрахунку теоретичного ккд бойлерів на підставі показань витрати газу і пари.

*Показання лічильника бойлерної викликає підозру.*

Подальші кроки:

Замініть погано відкалібровані лічильники у цехах. Відремонтуйте лічильник в бойлерній.

### 3.5.3 З чого слід починати глибший аналіз?

Глибше дослідження слід починати:

У цеху №1, оскільки він споживає одну третину загальної кількості газу.

Із заходів по підвищенню ккд бойлерів.

Починати слід з детальної перевірки витрати пари, оскільки це є важливою частиною аналізу ситуації.

#### **З ким говорити?**

Вам слід поговорити з:

- Менеджерами виробництва
- Диспетчерами
- Операторами установок
- Менеджером по технічному обслуговуванню
- Інженерами проекту
- Бухгалтерами по обліку витрат виробництва
- Співробітниками планового цеху

**На чому сконцентрувати свою увагу**

- На печі для виплавки алюмінію на 10 тонн
- На плавці відходів в ковшах
- На печах №1 і №2

Крім цього, наступні позиції мають явно високе споживання енергії:

- Опалювання приміщень – мабуть йде велика втрата тепла від печей.
- Неконтрольована витрата газу - це третій найвищий по величині параметр витрати в цеху; чому він не вимірюється?
- Споживання електроенергії на градирнях і установці газоочищення печі №1 вищий, ніж на деяких печах.

### **Перерахуйте додаткові вимірювання і/або інформацію**

Це відкрите питання, але основні області досліджень повинні включати:

- Подобиці виробничих операцій в цеху
- Продуктивність кожної печі і плавильних печей для відходів
- Робочий температурний режим і цикл роботи кожної з основних виробничих одиниць
- Засоби регулювання температури і відношення "газ/повітря" на печах і плавильних агрегатах для відходів
- Враховувалася яка-небудь рекуперація тепла?
- Як регулюється час підігріву?
- Чи регулюється час роботи градирні і установки для газоочищення?
- Який тип освітлення використовується? Чи задовільний рівень освітлення?
- Чи використовувалися у минулому які-небудь проекти по економії енергії?
- Які ідеї по заходах збереження енергії виказують опитувані?
- Основними вимірюваннями повинні бути вимірювання температури і інтенсивності подачі відпрацьованих газів.
- Ви можете також перевірити робочі температури, рівні освітлення і навантаження двигунів.

### **Можливі шляхи економії енергії**

Шляхи економії енергії повинні включати:

- Використовування відпрацьованого тепла газів, що виділяються піччю на 10 тонн для:
  1. Підігріву повітря для горіння
  2. Підігріву алюмінію і заміни наявного підігрівача
- Установку нових регуляторів температури і відношення "газ/повітря" на печі на 10 тонн

- Установку нових пальників з регуляторами відношення "газ/повітря" на плавильних агрегатах для відходів
- Заміну ковшей для плавки відходів, спеціально призначеною для цього піччю(не здійснюється)
- Установку автоматичних таймерів на підігрівачах ковшей для сталі
- Удосконалення систем згорання і регуляторів на решті підігрівачів
- Перегляд використання газових шурових ломів і установку нових пальників з регуляторами відношення "газ/повітря" на самих основних з них
- Установку кришок на індукційних печах протягом певного періоду циклу
- Установку термостатів на вентиляторах градирен
- Автоматичне регулювання часу роботи установки для газоочищення печі №1 після початку реакції
- Заміну ртутних ламп натрієвими лампами високого тиску

### **3.6 Приклади питань тестового контролю**

1. Для чого проводиться перехресна перевірка даних аудиту на підприємстві?
2. Як можна оцінити ефективність використання енергії при перехресній перевірці результатів аудиту?
3. Які елементи використовуються в енергоаудиті?
4. Які з перерахованих аспектів відносяться до вхідного/вихідного паливно- енергетичного балансу?
5. Для чого складається звіт про річну закупівлю енергоносіїв?
6. Для чого розраховуються питомі витрати на енергію?
7. Вказати види перехресної перевірки.
8. Які аспекти характеризують таблицю енергоаудита
9. Що відображає діаграма Сенкі?
10. Що відображає лінійний графік енергоспоживання?
11. Вказати правильні баланси маси котла.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ І ОПИС ПІДПРИЄМСТВА

### 4.1 Фінансова оцінка запропонованих заходів

Розроблення рекомендацій є найважливішим етапом енергоаудиту, оскільки заради одержання обґрунтованих пропозицій з підвищення ефективності використання енергії проводиться енергетичне обстеження. Важливо підкреслити, що не можна обмежуватися очевидними заходами, такими, наприклад, як запровадження енергоефективного обладнання. Слід звернути увагу на менш очевидні можливості підвищення енергоефективності, прикладами яких можуть бути зміни системи енергопостачання, застосування комплексного виробництва теплової і електричної енергії, використання як палива відходів виробництва, зміна методів виробництва на такі, що дозволяють використовувати дешевші енергетичні ресурси.

Крім того необхідно враховувати, що метою є не збереження енергії, а скорочення грошових видатків і не завжди це одне й те саме. Наприклад, у випадку електроопалення, найбільш ефективним заходом є впровадження баку-акумулятору і підігріву необхідної води на опалення в нічний час за низькими тарифами. При цьому добові витрати електроенергії можуть трохи підвищитись за рахунок тепловтрат баку (загальна кількість добових витрат енергії саме на опалення не змінюється), але грошові витрати зменшаться майже в чотири рази (нічний тариф на електричну енергію складає 0,25 від звичайного).

Є різні способи класифікації пропонованих рекомендацій з енергоощадності. Їх можна розділити стосовно категорій енергоспоживання або стосовно альтернативних вирішень однієї і тієї ж енергетичної проблеми. Однак, найчастіше застосовують розподіл заходів за їх вартістю, як наведено нижче.

#### **Безвитратні рекомендації:**

- оцадливе використання наявних ресурсів;
- покращення до нормативного технічного обслуговування обладнання;
- придбання палива від іншого постачальника за нижчою ціною.

#### **Низьковитратні рекомендації:**

- встановлення ефективнішого обладнання;
- встановлення нових (автономних) засобів керування;
- теплова ізоляція теплотрас і приміщень;
- зміна регламенту технічного обслуговування обладнання;
- навчання персоналу;
- контроль енергоспоживання і оперативне планування.

#### **Високозатратні рекомендації:**

- зміна значної частини виробничого обладнання;
- встановлення комплексних систем керування;
- комплексне виробництво теплової і електричної енергії;
- рекуперація тепла.

Іншим шляхом є складання зведеної таблиці заходів, де в останній графі вказують пропоновану черговість впровадження заходів. Ті, що мають найбільшу віддачу, помічають як першочергові, і так далі. Питання привабливості того чи іншого заходу і порівняння одного з одним вирішують на основі фінансової експертизи кожного заходу.

Для визначення кращих рекомендацій потрібне розуміння технологічних процесів і знання доступної техніки і технологій.

Зміст цього розділу звіту з енергоаудиту в цілому може бути представлено у такому вигляді. Спочатку наведена таблиця, в якій перераховані пропоновані заходи, з вказівкою економії енергії (в ГДж, або кВт-год), економії кошт (грн.), капіталовкладень, строку окупності та черговість впровадження. Після цього кожний захід розглядається окремо і детальним образом. По-перше, йде опис заходу, який містить необхідні зміни, та аспекти заощадження, наприклад:

**Необхідні зміни:**

- модифікація підприємства і будівель;
- заміна обладнання;
- модернізація обладнання, систем керування, ізоляція;
- удосконалення технічного обслуговування обладнання;
- запровадження нових процедур керування.

**Аспекти заощадження енергії з впровадженням рекомендацій:**

- зменшення втрат;
- скорочення зайвих операцій (зниження температури повітря в приміщеннях в позаробочий час та у вихідні дні, виключення неробочого ходу обладнання);
- підвищення ефективності використання енергії;
- підвищення ефективності перетворення енергії (заміна котла на інший з вищим ККД, заміна пневмоприводу на електричний тощо);
- використання дешевих енергетичних ресурсів.

Далі йде детальна **фінансова оцінка** заходу, для якої необхідно визначити:

- капіталовкладення;
- економію енергії (грошових видатків);
- амортизаційні видатки,
- видатки на технічне обслуговування;
- доход від продажу обладнання, що замінюють;
- аналіз ефективності капіталовкладень.



Два перших аспекти повинні бути обов'язково, інші не завжди мають місце.

Найважливішим кроком є оцінювання економії. Треба зазначити, що аудитор, як правило, наводячи якусь пропозицію, повинен як мінімум розрахувати економію і капіталовкладення для визначення строку окупності. Наприклад, при огляді паропроводу визначено, що ізоляція у незадовільному стані. Недостатньо просто сказати, що її заміна буде безперечно вигідною – треба розрахувати конкретне значення економії енергії від впровадження цієї міри. Для цього, наприклад, необхідно оцінити, що існуюча стара ізоляція виконує свої функції лише на 20%, і виходячи з цього визначити теплові витрати до заміни ізоляції і після неї. Аналогічно, коли пропонується заміна старих вікон, в яких є великі щілини, то необхідно оцінити витрати теплоти через ці щілини, бо в протилежному випадку фінансова оцінка вкаже на недоцільність цієї заміни.

В цілому, методика оцінювання економії від впровадження заходів аналогічна до розрахунку нинішнього енергоспоживання. Різниця полягає в тому, що під час оцінювання заходів з енергоощадності потрібно прогнозувати, як зміниться ситуація після їх впровадження. А це тягне за собою зміну багатьох коефіцієнтів, таких як норма споживання енергії, коефіцієнт використання потужності і тривалість експлуатації обладнання впродовж року.

Покажемо, як можна розрахувати обсяг заощаджень енергії шляхом порівняння нинішньої ситуації з прогнозованою покращеною. Для деяких енергоощадних рекомендацій (наприклад, усунення витоків пари) заощаджена енергія відповідає сумарним втратам енергії до впровадження рекомендацій. Для розрахунку річного обсягу енергозаощаджень в інших випадках використовується формула, яка наведена нижче.

Показник	Нинішня ситуація	Покращена ситуація
Потужність обладнання, кВт	A	X
Коефіцієнт середнього завантаження	B	Y
Тривалість роботи впродовж року, годин	C	Z
Річне енергоспоживання, кВт-год	$A*B*C$	$X*Y*Z$

Таким чином обсяг заощадженої за рік енергії обчислюємо за формулою,  $кВт*год$ :

$$\Delta W = (A * B * C) - (X * Y * Z) \quad (4.1)$$

Визначення деяких показників в формулі (4.1) може потребувати значних розрахунків, чи досліджень. Наприклад, для обґрунтування встановлення частотного регулятора на димосос котла потрібно зібрати інформацію про кількість годин, які котел працював впродовж року в кожному режимі і потім розрахувати економію (дивись нижче приклад стосовно встановлення частотного регулятора на насос). А обґрунтування доцільності заміни димососа на такий, що має меншу потужність, може потребувати проведення аеродинамічного розрахунку котла. Як вже було вказано вище, детальність розрахунків в більшій мірі пов'язана з вартістю енергоаудиту.

## 4.2 Приклади розрахунку заощадження енергії

Наведемо кілька прикладів розрахунку економії, які покажуть різноманітність використовуваних способів, і зазначимо що такі розрахунки можуть потребувати знань процесів, що досліджуються, та принципів функціонування обладнання, що розглядається.

### 4.2.1 Заощадження енергії, що використовується на освітлення

Автостоянка освітлюється десятьма вольфрамовими лампами потужністю 500 Вт кожна. Лампи вмикаються і вимикаються охоронниками вручну, але інколи залишаються ввімкнутими в денний час. Оцінка роботи показала, що система працює в середньому за рік по 15 годин на добу.

У цілях економії енергії запропоновано замінити ці лампи десятьма натрієвими лампами високого тиску, які мають потужність 114 Вт кожна (включаючи втрати механізму управління), але завдяки вищій світловидатності зберігають такий же рівень освітленості. Крім того, запропоновано встановити автоматичне управління фотоелементами, що дозволить скоротити час роботи системи до середньорічного значення 10 годин на добу.

1. Визначити величину економії енергії за рік.
2. Які ще фактори повинні бути враховані?

Примітка: Припускається, що в очікуванні поточного ремонту в неробочому стані знаходяться, в середньому, дві з вольфрамових ламп і, завдяки вищій надійності, тільки одна натрієва лампа високого тиску.

#### ***Рішення:***

	Початкова ситуація	Поліпшена ситуація
Установлене навантаження	5,00 кВт	1,14 кВт
Коефіцієнт навантаження	0,8	0,9
Річна експлуатація	5 475 годин	3 650 годин
Річне енергоспоживання	21 900 кВт-год	3 745 кВт-год

Енергозбереження за рік = ( 21 900 - 3 745 ) кВт-год = 18 155 кВт-год

Треба врахувати також:

- витрати на заміну ламп
- витрати на оплату техобслуговування ламп
- якість освітлення
- продаж старого обладнання

#### 4.2.2 Енергозберігаючий блок управління двигуном

Водяний насос управляється електродвигуном потужністю 90 кВт. Кількість води, що накачується, регулюється затвором з сервоприводом, який узгоджується з тиском в системі. Вимірювання витрати води показують наступну кількість води, що потребується в різний час дня:

10 годин/день:	100% від максимальної витрати
6 годин/день:	70% від максимальної витрати
6 годин/день:	40% від максимальної витрати
2 години/день:	25% від максимальної витрати

У цілях економії енергії пропонується встановити привод з регульованою швидкістю, який автоматично реагує на тиск в системі.

Примітка. Припускається, що насос споживає 90 кВт енергії при 100% витраті, характеристики енергоспоживання дані на діаграмі (рис.2.9). Припускається, що регулятор швидкості має внутрішні втрати, рівні 1 кВт. Насос працює 24 години на добу, 350 днів на рік.

#### **Рішення**

Розрахунок середніх навантажень за даними графіка.

Навантаження	Регулювання дросельним вентилем	Регулювання швидкістю
100%	90 кВт x 1.00=90 кВт	(90 кВт x 1.00)+1 кВт = 91 кВт
70%	90 кВт x 1.00=90 кВт	(90 кВт x 0.55)+1 кВт = 50 кВт
40%	90 кВт x 0.85=76 кВт	(90 кВт x 0.25)+1 кВт = 24 кВт
25%	90 кВт x 0.50=45 кВт	(90 кВт x 0.15)+1 кВт = 15 кВт

Звідси розраховуємо заощадження:

10 год/день x 350днів/рік = 3500 год/рік x (90-91) кВт-год = - 3 500 кВт-год

6 год/день x 350 днів/рік = 2 100 год/рік x (90-50) кВт-год = 84 000 кВт-год

6 год/день x 350 днів/рік = 2 100 год/рік x (76-24) кВт-год = 109200 кВт-год

2 год/день x 350 днів/років =700 год/рік x (45-15) кВт-год = 21000 кВт-год

---

Всього заощадження за рік = 210 700 кВт-год

***Необхідно врахувати також:***

- зміну витрат на технічне обслуговування
- забезпечення захисту регульованого приводу від попадання води і електромагнітних перешкод
- чи потрібна нам байпасна/дублююча система для випадку, якщо регульований привод вийде з строю?

**4.2.3 Заощадження енергії, що використовується повітряними компресорами**

Енергетичне дослідження виявляє наступні дефекти в компресорній станції:

- Повітряно – всмоктувальні фільтри забруднені, що викликає перепад тиску на рівні 150 мм водяного стовпа (0,015 бар) замість паспортного перепаду тиску в 40 мм водяного стовпа (0,004 бар).

- Компресори всмоктують з компресорної станції повітря, температура якого в середньому на 15°C вище, ніж температура зовнішнього повітря.

Вирішено підвищити ефективність компресорної станції шляхом удосконалення графіка очищення/заміни повітряних фільтрів і установки нового трубопроводу, який всмоктує зовнішнє повітря.

1. Яким буде середній процент енергозбережень від вживання перерахованих вище заходів?

2. Які ще фактори потрібно взяти до уваги?

Примітка. Енергія, що використовується для стиснення повітря, приблизно пропорційна відношенню тиску (на виході/на вході) і абсолютній температурі засмоктуваного повітря .

Середньорічні умови приймаються на рівні 1,00 бар і 15°C, а тиск на виході – на рівні 7 бар (абс.)

***Рішення***

$$\text{Співвідношення початкового тиску} = \frac{7 \text{ бар}}{1 \text{ бар} - 0,015 \text{ бар}} = 7,1065$$

$$\text{Початкова температура всмоктування} = 15^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$\text{Співвідношення зменшеного тиску} = \frac{7 \text{ бар}}{1 \text{ бар} - 0,004 \text{ бар}} = 7,0281$$

$$\text{Знижена температура} = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$$

$$\text{Енергозбереження} = 100\% - 100 \times \frac{288 \times 7,0281}{303 \times 7,1065} = 6,0\%$$

Необхідно також врахувати:

- зміна перепаду тиску в новому трубопроводі, який всмоктує зовнішнє повітря в компресорну станцію?
- вартість робіт по очищенню фільтрів?

#### 4.2.4 Енергозбереження в котлах

У результаті проведення тесту на ефективність горіння виявилось, що коефіцієнт середньої ефективності горіння (це теплота палива за вирахуванням втрат з газами, що відходять) рівний 79%. Котел має ручну систему продування, на яке витрачається (в першому наближенні) 1% від загальної кількості теплової енергії, поглиненої котлом. В ході аудиту котельної визначені наступні величини:

Споживане паливо	= 62 000 ГДж	(100%)
Втрати з газами, що відходять	= 13 020 ГДж	(21%)
Теплота, поглинена котлом	= 48 980 ГДж	(79%)
<b>Всього</b>	<b>= 62 000 ГДж</b>	<b>(100%)</b>
Тепловтрати через обшивку котла	= 1 000 ГДж	
Тепловтрати при продуванні	= 500 ГДж	
Корисна теплота пари	= 47 480 ГДж	
<b>Всього</b>	<b>= 48 980 ГДж</b>	

У цілях економії енергії запропоновано встановити в котельній системі автоматичного тріміровання кисню і систему автоматичного продування. Припускається, що перший захід підвищить ефективність горіння в середньому до 83%, а другий – скоротить продування на 50% від її теперішнього рівня.

1. Визначити річну економію енергії?
2. Які ще фактори повинні бути враховані?

**Рішення:**

Скорочення рівня продування заощадить 50% поточних втрат на продування, тобто 250 ГДж.

Звідси, загальна величина необхідної теплоти:

$$\text{Всього необхідної теплоти} = 48 980 \text{ ГДж} - 250 \text{ ГДж} = 48 730 \text{ ГДж}$$

З урахуванням того, що середня ефективністю горіння підвищиться до 83%, кількість енергії палива, що вимагається для генерації цієї теплоти, дорівнює:

$$\text{Необхідна енергія палива} = \frac{48730 \text{ ГДж}}{0,83} = 58711 \text{ ГДж}$$

$$\text{Річна економія енергії палива} = (62000 - 58711) = 3289 \text{ ГДж}$$

Необхідно також врахувати:

- Капітальні/амортизаційні витрати на системи автоматичного управління;
- Витрати на технічне обслуговування систем автоматичного управління;
- Можливу економію від зменшення кількості персоналу;
- Зниження витрат на очищення води.

### 4.3 Перехресна перевірка пропозицій з заощадження енергії

Після визначення потенціалу заощадження енергії для об'єкту обстеження енергоаудитор повинен ретельно перевірити всі розрахунки і обґрунтування перед введенням їх до звіту з енергообстеження.

Перевірка даних необхідна для того, щоб переконатися, що потенційні заощадження узгоджуються з загальним використанням енергії на об'єкті. Найчастіше застосовують такі прийоми перехресної перевірки:

- співставлення обсягу потенційного заощадження енергії з початковим енергоспоживанням; це дозволить уникнути ситуації, коли енергоаудитор проголошує можливість заощадити енергії більше, ніж нині споживає об'єкт;
- порівняння пропонованих рівнів споживання енергії на одиницю продукції з кращими практично досягнутими результатами;
- аналіз потоків енергії;
- несумісність рекомендацій, тобто фактична можливість впровадити лише одну з кількох рекомендацій, наприклад, або відремонтувати систему паророзподілу, або децентралізувати паророзподільвальне обладнання, енергоаудитор повинен пояснити, яку з пропозицій він вважає найприйнятнішою;
- зменшене граничне повернення.

#### 4.3.1 Зменшене граничне повернення

На останньому пункті слід зупинитися детальніше. Концепція "зменшених граничних повернень" добре знайома економістам, вона в багатьох випадках може бути застосована до заходів з заощадження енергії, її суть полягає в тому, що потенційне енергозбереження від впровадження певного заходу скорочується, якщо, інший енергоощадний захід був впроваджений раніше. Інколи кажуть, що йдеться про взаємодію заходів чи взаємодію проектів. Розглядаючи кілька проектів для системи, не можна оцінювати потенційні заощадження ізольовано.

Метою проекту А (рис.4.1) було зменшення кінцевого споживання і очікуване (розрахункове) заощадження становить 30%.



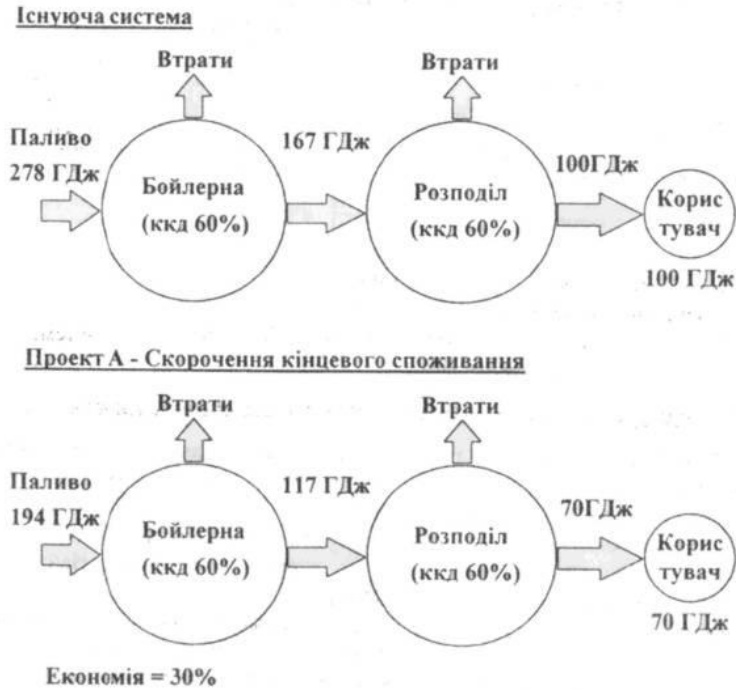


Рисунок 4.1 - Схематичне зображення результатів впровадження заходу А

За проектом Б (рис. 4.2а) очікуване заощадження за рахунок покращення розподільовальної системи становить 25%.

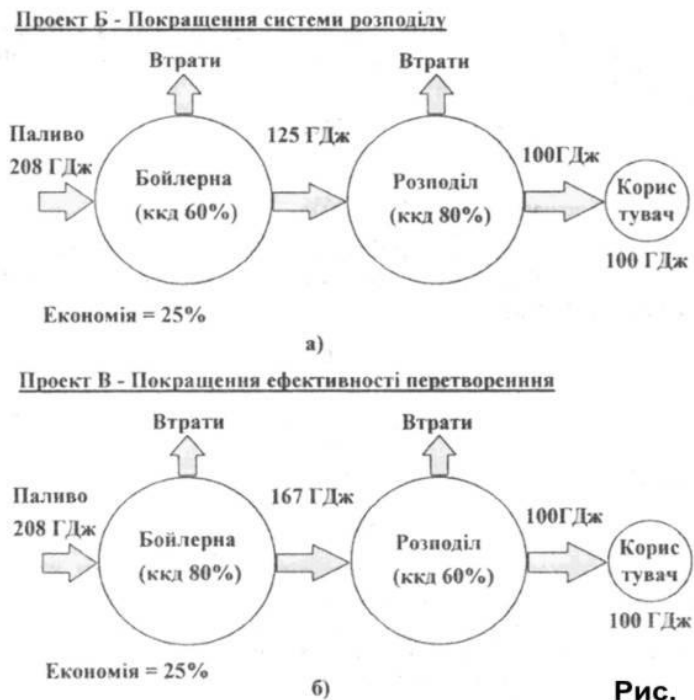


Рис.

Рисунок 4.2 - Результати впровадження заходів Б і В

За проектом В (рис.4.2) покращення бойлерного господарства дає додаткове заощадження 25%.

Якщо розглядати всі три проекти (А, Б та В) ізольовано можна дійти хибного висновку, що загальне заощадження становитиме 80% хоч в дійсності це не так. Рис.4.3 ілюструє ефект впровадження всіх трьох проектів.

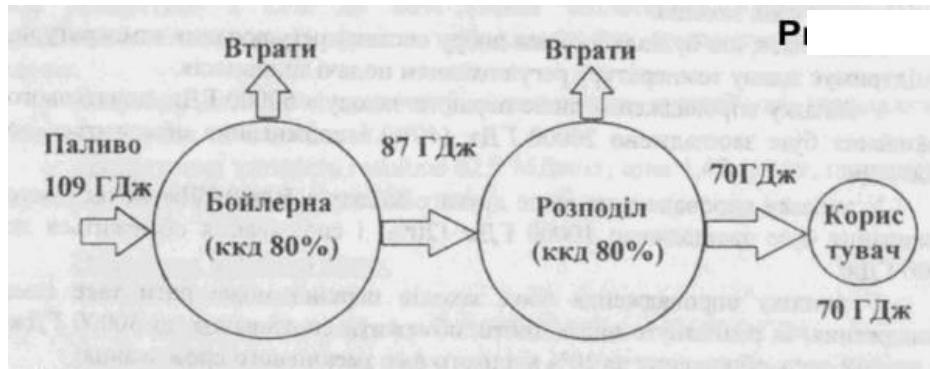


Рисунок 4.3 - Результат впровадження всіх трьох проектів

У вихідному стані системи для одержання кінцевим споживачем енергії 100 ГДж, коли ККД бойлерної і розподільовальної системи становили 60%, бойлерна повинна була одержувати:

$$100 \cdot \frac{1}{0,6} \cdot \frac{1}{0,6} = 278 \text{ (ГДж)}$$

результуючий ККД становив -  $\frac{100}{278} \cdot 100\% = 36\%$

Після впровадження трьох проектів для одержання кінцевим споживачем енергії 70 ГДж, коли ККД бойлерної і розподільовальної системи зросли до 80%, бойлерна повинна одержувати:

$$70 \cdot \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{0,8} = 109 \text{ (ГДж)}$$

Результуючий ККД систем зріс і становить  $\frac{70}{109} \cdot 100\% = 64\%$ .  
Загальне заощадження від всіх проектів:

$$\frac{278 - 109}{278} \cdot 100\% = 61\%$$

Таким чином, загальна економія = 61% < 30% + 25% + 25% = 80%

#### 4.3.2 Заощадження первинної і вторинної енергії

Однією з найважливіших особливостей звіту з енергозбереження, хоч часто нею нехтують, є усвідомлення відмінностей між заощадженням первинної і заощадженням вторинної енергії. Зупинимося на цьому питанні детальніше.

***Заощадження первинної енергії палива за рахунок економії вторинної енергії.***

Заощадження вторинної енергії виявляє вплив на споживання первинної енергії. Найпростіший шлях обчислення економії первинної енергії - розділити кількість заощадженої вторинної енергії на коефіцієнт ефективності (електростанції чи котла). Заощадження вторинної енергії може негативно чи позитивно впливати на заощадження підприємства в цілому. Наприклад, зменшення заощадження вторинної енергії і збільшення навантаження на котел, може забезпечити його роботу в режимі оптимальних навантажень. Інколи економія вторинної енергії впливає на розподіл втрат, так скорочення рівня споживання пари може скоротити втрати пари в резервуарах збирання конденсату.

#### 4.3.3 Ефект заміни палива

Заміна одного джерела палива іншим джерелом економії коштів. Така заміна звичайно відбувається у тих випадках, коли є можливість придбати інше паливо за нижчою ціною на одиницю вмісту енергії. Фінансовий розрахунок заощаджень повинен враховувати також можливість зміни витрат на ремонт обладнання. Крім того, заміна палива може змінити коефіцієнти перетворення.

#### 4.3.4 Рекуперація тепла

Якщо потоки енергії вилучаються з утилізаційних систем чи виводяться як побічний продукт систем перетворення енергії (низькотемпературне тепло в системі комбінованого виробництва теплової та електричної енергії), то економія в цих енергопотоках не обов'язково приводить до заощаджень первинної енергії. Наприклад, коли гаряче водопостачання здійснюється системою комбінованого виробництва теплової і електричної енергії, яка в іншому випадку викинула б це тепло в атмосферу, то економія гарячої води не заощаджує палива, на якому працює комбінована система. З другого боку, якщо низькотемпературне тепло в системі комбінованого виробництва покриває лише частково потреби опалення, а решту забезпечує електричне опалення, то заощадження гарячої води зменшить витрати електроенергії.

### **4.4 Визначення величини капіталовкладень на впровадження проекту з енергоощадності**

Це також є важливим елементом енергоаудиту. Помилково оцінені видатки (звичайно занижені) можуть легко підірвати довіру до проекту в цілому. Як правило причина зниження видатків не в недооцінюванні видатків, а в тому, що виявляються повністю випущеними деякі їх компоненти.

Нижче наведено далеко не повний перелік таких компонентів:

- вартість придбання енергоощадного обладнання;
- закупівельна вартість допоміжного обладнання (регуляторів, інструментів, охоронного обладнання);
- видатки на доставку (митні формальності, встановлення обладнання на робочому місці);
- страхування.
- видатки на ізоляцію;
- передпускове тестування і введення установки в промислову експлуатацію;
- оплата консультацій;
- видатки на цивільне будівництво;
- видатки на переміщення виробничого обладнання;
- видатки на задоволення вимог техніки безпеки і охорони праці;
- перебудова будівлі у зв'язку з встановленням нового обладнання;
- вартість продукції, яка не буде вироблена через зупинку виробничого процесу на час реалізації заходів з заощадження енергії;
- навчання персоналу.

Визначення видатків на компонент загальної вартості вимагає джерел вартісної інформації.

Найнадійнішим джерелом є попередній особистий досвід впровадження аналогічною проекту, але і у цьому випадку слід бути уважними до обставин, які можуть викликати значну різницю видатків аналогічних проектів. Наприклад, установка електронного контролю на нафтохімічному заводі може коштувати набагато дорожче, ніж аналогічна установка на пивоварні у зв'язку з необхідністю використовувати обладнання, яке сертифіковане для використання у вибухонебезпечному середовищі.

Корисно також використати нотування і бюджетні розцінки постачальників, а також ціни, взяті з різних реклам і оголошень. Однак, і тут важливо переконатися, що ці джерела не приховують всі вартісні компоненти, бо, наприклад навіть провідні виготівники котлів можуть у вартість котла не включати вартість пальника, яка підвищить загальну вартість на 50-70%. Необхідно також з'ясувати, чи входить у вартість доставка і налагодження обладнання.

Прайс-листи - це простий і надійний шлях визначення ціни обладнання, але їх можна використовувати лише в тому випадку, коли трудові затрати незначні, або відомі.

Отже, джерелами для оцінки видатків можуть бути:

- прайс-листи на обладнання;
- публікації про вартість обладнання, витрати на оплату праці і загальні середні витрати (а саме, на 1 м<sup>2</sup>, на 1 кВт встановленої потужності тощо),
- розцінки постачальників (монтажників);
- інформація про вартість попередніх впроваджених проектів

Дуже важливо використовувати надійні фінансові критерії. Звичайно виконують аналіз дисконтованого грошового потоку, чистої приведеної вартості та (чи) внутрішньої норми прибутку для всіх, окрім найпростіших, заходів. Детально про методи фінансового оцінювання та критерії вибору методу подано в [5]. Наведемо основні відомості про методи чистої приведеної вартості та внутрішньої норми прибутку, які найбільш поширені у фінансовому аналізі.

**Чиста приведена вартість (ЧПВ).** Метод, в якому враховується змінювання вартості грошей у часі, є розрахунком чистої приведеної (поточної) вартості (ЧПВ). У такому методі оцінки враховуються вигоди від проекту на всьому протязі його дії. Він дозволяє приводити майбутні вигоди до поточної вартості грошей (тобто перераховувати їх на теперішній момент). Відповідні коефіцієнти дисконтування використовуються для приведення потоку готівки, і щорічні приведені суми складають, щоб отримати чисту приведену вартість. Для того, щоб проект виглядав привабливо, ЧПВ повинна бути більше нуля.

$$ЧПВ = ПВВ - ПВК$$

де ПВВ - приведена вартість вигод;

ПВК – приведена величина капітальних вкладень.

$$ПВВ = \sum_{j=1}^n ПВ_j = \sum_{j=1}^n (E \times k_j),$$

де E – річна економія коштів;

$k_j$  – коефіцієнт дисконтування.

$$k_j = \frac{1}{(1+r)^j},$$

де  $r$  - рівень дисконту у формі десяткового числа (дисконтна ставка);

$j$  – номер року.

Аналогічно визначається ПВК, з врахуванням того що, зазвичай капітальні витрати робляться до моменту впровадження обладнання. Момент передплати коштів за впровадження заходу умовно рахують як нульовий рік, бо ще не почала з'являтися економія. Коефіцієнт дисконтування для нульового року дорівнює одиниці.

Метод розрахунку *ЧПВ* показує, чи заробляє інвестиція більше (позитивна *ЧПВ*) або менше (негативна *ЧПВ*), ніж відповідно до наміченого темпу повернення. Іншими словами, проект заощадження енергії вважається вигідним, якщо *ЧПВ* більше нуля.

Значення дисконтної ставки, при якій *ЧПВ* рівно нулю називається **внутрішньою нормою прибутку ВНП**. Чим більше ВНП тим привабливіше проект. ВНП неможливо розрахувати аналітично. Її знаходять або графічним шляхом, як точку перетину функції  $ЧПВ = f(r)$  з віссю абсцис, чи за допомогою стандартної функції MS Excel.

Важливо, щоб дані фінансового аналізу були подані у формі, доступній і зрозумілій керівництву об'єкта та його підрозділів.

Додамо ще. що якщо захід вимагає великих капіталовкладень, чи існує великий ризик того, що оощадність не буде досягнуто, потрібне детальніше енергетичне обстеження.

## 4.5 Опис підприємства та будівель

Хоча цей розділ йде першим у звіті з енергоаудиту, але він є допоміжним, і тому рекомендації щодо його складання ми розміщуємо наприкінці.

Опис підприємства і будівель - це виклад спостережень енергоаудитора, на яких він обґрунтовував свої висновки і розробляв рекомендації з енергоощадності.

Існують різні підходи до опису об'єкту, що досліджується; два основних з них можна назвати: 1) *опис аспектів енергоспоживання* та 2) *опис категорій енергоспоживання*.

**Перший вид** опису містить деякі характеристики підприємства стосовно певних аспектів енергопостачання та енергоспоживання, коментарі та спостереження, таблиці й додатки.

**Постачання енергії на об'єкт.** Тут дають короткий опис обладнання, через яке здійснюється постачання енергії на об'єкт (труби, регулятори тиску, головні ввідні щити електроенергії), а також обладнання для зберігання палива, головне вимірювальне обладнання, централізовані (загальнозаводські) пристрої компенсації реактивної потужності.

**Обладнання перетворення енергії.** Цей пункт містить опис такого обладнання, як котли, системи комплексного виробництва теплової і електричної енергії (системи когенерації), повітряні компресори, холодильні установки.

**Розподіл енергії.** В цьому пункті наводять інформацію про системи розподілу енергії, зокрема, системи розподілу холодної і гарячої води, системи конденсування пари і системи розподілу стисненого повітря. Коментарі повинні орієнтувати на підвищення ефективності згаданих систем і приділяти особливу увагу причинам витрат енергії, таким, як недостатня теплова ізоляція чи витоки.

**Обладнання споживання енергії.** Тут описують обладнання, що споживає первинну чи вторинну енергію, а саме: виробничі механізми, системи вентиляції і кондиціонування повітря, освітлювальні системи, офісне обладнання тощо.

Опис повинен бути не просто переліком обладнання та інформацією, на основі якої можна проводити розрахунки енергоаудиту. Він повинен містити також коментарі і спостереження про способи використання енергії. До рекомендованих елементів опису належить:

- фізичний опис обладнання (тип, номер моделі, потужність, системи керування);
- спосіб використання обладнання (його призначення, години експлуатації, система керування);
- вимірювані параметри режимів роботи (електроенергія, витрата рідини, температура, вологість, рівні освітленості);

- загальні спостереження (ефективність керування, несправності, несумісне обладнання).

Частіше споживачі енергії групують в опису не за **аспектами енергоспоживання**, а за **категоріями**, зокрема:

- будівлі;
- котельня;
- система паророзподілу;
- холодильна система;
- установки вентиляції і кондиціонування повітря;
- постачання гарячої води;
- виробниче обладнання, що споживає пару;
- постачання і розподіл електроенергії;
- виробниче обладнання, що споживає електроенергію;
- система стисненого повітря;
- виробниче обладнання, що працює на газі (нафтопродуктах);
- офісне обладнання (різні енергоспоживачі);
- система освітлення;
- обладнання підприємств громадського харчування;
- обладнання пралень.

**Конструкція і структура будівель.** Цей пункт містить опис елементів конструкції будівель з точки зору дизайну і використаних матеріалів. Наприклад, може бути зазначено, що стіни виконані з цегли чи бетону, вікна - зі склопакетів, з одинарним чи подвійним заскленням. дах плоский чи має схили. Повинна бути характеристика наявної в будівлі системи вентиляції: природної чи штучної. Ці елементи опису разом з розмірами будівель мають бути достатніми для розрахунку тепловтрат будівлі. Результати розрахунків порівнюють з фактичним споживанням енергії. В описі повинен бути вказаний час перебування в будівлі працівників. Це потрібно для перевірки роботи установок, що регулюють температуру в приміщеннях.

Для зручності більша частина інформації, яка була зібрана під час енергетичного обстеження подається у вигляді таблиць як підрозділ розділу "Опис підприємства і будівель". Якщо таблиці виходять дуже об'ємними. їх можна оформити як додатки. Типовими даними, які включають в таблиці і додатки, є такі:

Перелік обладнання:

- перелік освітлювального обладнання;
- перелік обладнання опалювальної системи приміщень;
- перелік електроприводів;
- перелік обладнання підприємств громадського харчування;
- перелік обладнання пралень;
- перелік виробничого обладнання;
- перелік витоків;



- перелік неізолюваних трубопроводів гарячої води;

Вимірювані параметри:

- дані аналізу процесу спалювання палива;
- точкові заміри температури;
- точкові заміри рівнів освітленості;
- виміри потоків повітря (рідини);

Графічні матеріали:

- графіки навантаження обладнання (для якого вони знімалися);
- фотознімки (стандартні);
- фотознімки в інфрачервоних променях.

#### 4.6 Приклад опису об'єктів

##### Опис об'єктів (будівель) ЗГИА

До складу об'єктів Запорізької державної інженерної академії, належних енергоаудиту, входять наступні корпуси (рис 4.4):

- 1 – учбовий корпус;
- 2 – учбово-лабораторний корпус;
- 3 – лабораторний корпус;
- 4 – прибудова до учбового корпусу;
- 5 – спортзал з переходом;
- 6 – їдальня;
- 7 - гуртожиток № 1
- 8 - гуртожиток № 2

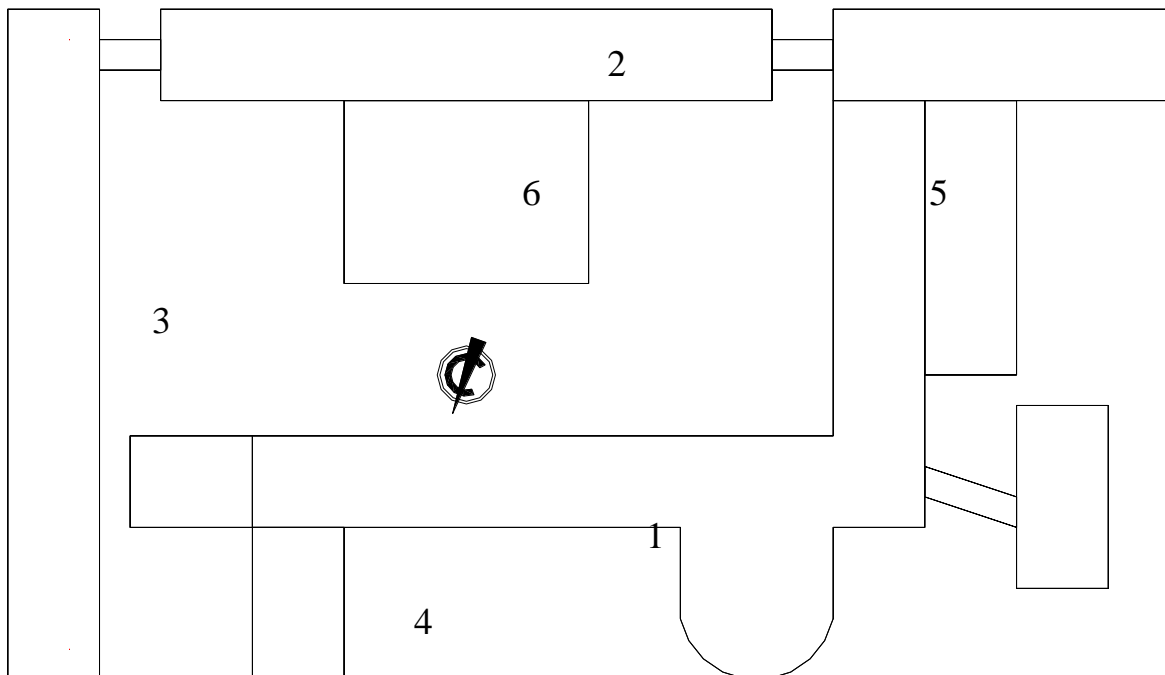


Рисунок 4.4 Схема розташування корпусів академії

**Навчальним (адміністративним) корпусом** (позиція 1 на схемі) є цегельна триповерхова будівля довоєнної споруди. Корпус складається з двох блоків-будівель, сполучених між собою триповерховим переходом із спортзалом (позиція 5), добудованих в 1979-80 р.р. до існуючого переходу. Основний корпус орієнтований головним фасадом на північний захід, другий блок – на південний схід. Будівля коридорного типу, з одностороннім розташуванням робочих приміщень (учбові аудиторії, лабораторії і службові кабінети). Будівля з підвалом, в якому розташовані спеціалізовані лабораторії, майстерні і комунікації.

Зовнішні стіни – цегельні, завтовшки 510 мм, зовнішня обробка – вапняно-цементно-песчаным розчином під «шубу», внутрішня обробка – покращувана штукатурка завтовшки 10-20 мм. Вікна – в дерев'яних рамах, з подвійним склінням. Перекриття і покриття – дранкове, крівля – ухильна, з хвилястого азбошифера.

**Навчально-лабораторним корпусом** (позиція 2 на схемі) є цегельна шестиповерхова будівля, орієнтована головним фасадом на південний схід. Будівля коридорного типу, з двостороннім розташуванням робочих приміщень (учбові аудиторії, лабораторії і службові приміщення). Будівля має підвал, в якому розташовані лабораторії, майстерні з силовим устаткуванням і комунікації.

Зовнішні стіни – цегельні, з силікатної цеглини, завтовшки 510 мм, з вертикальними пілястрами (випусками кладки) через кожних два вертикальні ряди віконних отворів. Зовнішня обробка – відсутня, внутрішня – покращувана штукатурка завтовшки 10-15 мм. Вікна – в дерев'яних рамах, з подвійним склінням в спарених палітурках. Перекриття і покриття – збірні залізобетонні круглопустотні плити. Крівля – малоуклонна рулонна (багатошаровий руберойдовий килим). У корпусі передбачена примусова вентиляція (вентиляційні короби в коридорах). Корпус сполучений з сусідніми будівлями за допомогою переходів в рівнях другого і третього поверхів.

До будівлі примикає прибудований двоповерховий пищеблок (позиція 6), що має аналогічні конструктивні характеристики. У прибудові розташовано спеціалізоване устаткування (холодильники, печі, духові шафи і ін.). У рівні покриття на другому поверсі влаштований світловий ліхтар.

**Лабораторним корпусом** (позиція 3 на схемі) є п'ятиповерхова будівля із залізобетонним каркасом, навісними залізобетонними стінними панелями, цегельними торцевими стінами і стрічковим склінням. Корпус орієнтований головним фасадом на північний схід. Будівля коридорного типу, з двостороннім розташуванням робочих приміщень (учбові аудиторії, лабораторії і службові приміщення). Будівля має підвал, в якому розташовані лабораторії, майстерні і комунікації.

Зовнішнє стінне обгороджування – навісні стінні панелі з керамзитобетону завтовшки 350 мм, торцеві стіни – цегельні, з силікатної цеглини, завтовшки 510 мм. Зовнішня обробка торцевих стінів – керамічна плитка, стінних панелей – відсутній, внутрішня обробка – штукатурка завтовшки 10-15 мм. Вікна – стрічкові, в дерев'яних рамах, з подвійним склінням в спарених палітурках. Перекриття і покриття – збірні залізобетонні плити. Крівля – малоуклонна рулонна (багатошаровий руберойдовий килим). У корпусі передбачена примусова вентиляція.

**Прибудова до учбового корпусу** (позиція 4 на схемі) є цегельною триповерховою будівлею, прибудованою перпендикулярно учбовому корпусу. Будівля коридорного типу, з однібічним розташуванням робочих приміщень (учбові аудиторії, лабораторії і службові приміщення). Будівля має підвал, в якому розташовані лабораторії і майстерні з силовим устаткуванням (зварювальний пост і преси).

Зовнішні стіни – цегельні, з силікатної цеглини, завтовшки 510 мм. Зовнішня обробка – відсутній, внутрішня – штукатурка завтовшки 10-15 мм. Вікна – в дерев'яних рамах, з подвійним склінням в спарених палітурках. Перекриття і покриття – збірні залізобетонні круглопустотні плити.

**Гуртожиток №1** є цегельною дев'ятиповерховою будівлею з ліфтами, складній конфігурації в плані, орієнтоване головним фасадом на південний схід. Будівля двосекційна, з блоковою компоновкою житлових приміщень в поповерхових і міжповерхових рівнях, сполучених сходовими ліфтовими холами. Будівля має підвальні службові приміщення, використовувані для господарських потреб.

Зовнішні стіни – цегельні, з силікатної цеглини, завтовшки 510 мм, з вертикальними пілястрами (випусками кладки). Зовнішня обробка – відсутній, внутрішня – покращувана штукатурка завтовшки 10-15 мм. Вікна – в дерев'яних рамах, з подвійним склінням в спарених палітурках. Перекриття і покриття – збірні залізобетонні круглопустотні плити. Крівля – малоуклонна рулонна (багатошаровий руберойдовий килим).

**Гуртожиток №2** є аналогічне гуртожитку №1 цегельна дев'ятиповерхова будівля з ліфтами, складній конфігурації в плані,

орієнтоване головним фасадом на північний захід. Будівля двосекційне, з блоковою компоновкою житлових приміщень в поперкових і міжповерхових рівнях, сполучених сходовими ліфтовими холами. Будівля має підвальні службові приміщення, використовувані для господарських потреб.

Зовнішні стіни – цегельні, з силікатної цеглини, завтовшки 510 мм, з вертикальними пілястрами (випусками кладки). Зовнішня обробка – відсутній, внутрішня – покращувана штукатурка завтовшки 10-15 мм. Вікна – в дерев'яних рамах, з подвійним склінням в спарених палітурках. Переkritтя і покриття – збірні залізобетонні круглопустотні плити. Крівля – малоуклонна рулонна (багатошаровий руберойдовий килим).

#### **4.7 Звіт з енергоаудиту**

Метою звіту з енергоаудиту є подання аудиторської інформації в єдиному рекомендаційному документі поряд з даними про енергетичні і фінансові видатки та заощадження. Звіт повинен бути інформативним, професійним, таким, щоб його цікаво було читати. У типовому випадку звіт має таку структуру:

- анотація;
- вступ;
- опис підприємства і будівель;
- аналіз стану енергоспоживання на об'єкті;
- рекомендації з ефективного використання енергії;
- висновки;
- додатки.

Анотація звіту має обсяг не більше двох чи трьох сторінок з чітко виділеними рубриками. Анотація являє собою самодостатній (без посилання на звіт) реферат для вищого керівництва, якому ніколи читати весь звіт. Для більшої виразності анотація може бути подана на папері іншого кольору.

Анотація зазвичай висвітлює такі моменти:

- стан енерговикористання на обстежуваному об'єкті (слабкий, задовільний, добрий рівень енерговикористання порівняно з іншими об'єктами);
- основні моменти енергообстеження (а саме, виключно високий (низький) рівень використання енергії);
- обґрунтування необхідних змін (рекомендований напрям дій, альтернативні дії);

- прогнозований результат (майбутня ситуація на об'єкті за умови реалізації рекомендацій).

В анотації пояснюється виявлена аудитором нинішня ситуація на об'єкті, визначаються важливі моменти стосовно використання енергії. Анотація повинна скеровувати читача на рекомендований напрям дій, покликаних покращити ефективність використання енергії на об'єкті, а також висвітлювати вигоди та наслідки, які може дати енергоощадність. Анотація повинна бути написана зрозуміло й коротко, без надмірного вживання технічної лексики.

Метою вступу є інформування читача про підготовку і хід обстеження на об'єкті, а також про очікувані результати.

У вступі наводять таку інформацію:

- виконавці звіту з енергообстеження (компанія, яка проводила обстеження);
- обґрунтування проекту (чи є цей проект одним з кількох проектів для різних підрозділів компанії, чи він є частиною нового проекту з енергоощадності);
- мета проекту (а саме, виявлення потенціалу енергозбереження);
- параметри звіту (виділення особливих аспектів енергоспоживання чи вилучення певних типів енергоспоживання, оскільки вони є частиною окремого обстеження);
- методи проведення перевірки (використання вимірювачів, візуальні: вивчення обладнання, аналіз енергетичної ситуації).

Опис підприємства і будівель (перший основний розділ звіту) характеризує наявні на об'єкті установки і обладнання, режими їх роботи та продуктивність. Детально інформація, яка входить в цей розділ, розглянута в підрозділі 4.5 цього посібника.

В другому основному розділі "Аналіз стану енергоспоживання на об'єкті" наводиться інформація про кількість і вартість енергії, що використовується споживачами об'єкта дослідження. Розглядається використання окремих видів енергії. Зміст цього розділу відповідає розділам 2 і 3 цього посібника.

Третій основний розділ звіту містить рекомендації з ефективного енерговикористання і обґрунтування дій з підвищення ефективності використання енергії. Розділ містить результати досліджені, різних аспектів з заощадження енергії. Він починається з опису рекомендацій з заощадження енергії, тобто опису тих дій, які повинні бути виконані, нових процедур, установки нового обладнання Далі йде оцінка енергоощадності, тобто розрахунок, який показує скільки енергії і відповідно коштів буде заощаджено, а також ефект від заощадження енергії, тобто очікуваний вплив заощадження енергії на показники роботи об'єкта, а саме, на показники ефективності за скороченого споживання енергії, на ремонтні витрати, на необхідні зміни в технології виробництва. Очевидно, що

впровадження заходів з енергоощадності вимагатиме певних видатків. Тому потрібно навести результати розрахунку вартості проекту з врахуванням всіх складових видатків на впровадження рекомендацій, а саме: вартості необхідного обладнання, робочої сили, втрат виробництва тощо.

Енергоаудитор повинен обґрунтувати життєздатність проекту, тобто показати наскільки життєздатними є впровадження рекомендацій з енергоощадності за наявних обмежень у вигляді необхідності зупинки виробництва, чутливості цін на паливо, інвестиційної політики тощо.

Висновки звичайно дають після рекомендацій щодо енергоощадності, в них викладають нинішній стан і потенціал енергоощадності об'єкта. Пункти висновків в основному подібні до пунктів анотації, однак вони зосереджені на діях аудитора під час виконання робіт. Тому висновки містять дані про обстеження об'єкта і джерела одержання необхідної інформації, зокрема, поділ енергії на різні категорії, виявлені невідповідність чи неправильне енергоспоживання, порівняння енергоспоживання на об'єкті з енергоспоживанням на аналогічних об'єктах. Далі наводять вартість і вигоди від реалізації безвитратних, низько- і високовитратних рекомендацій, характеристики альтернативних заходів, а також суму загальною потенціалу енергоощадності. Висновки містять обґрунтовані аргументи на користь одних рекомендацій стосовно інших, прогнози енергоощадності на об'єкті після впровадження заходів. Нарешті, висновки обґрунтовують необхідні подальші детальні обстеження і (чи) дії, які повинні бути здійснені на об'єкті, а також вказують загальну розраховану суму вигод від цих дій.

В додатках до звіту наводять детальні розрахунки, описи, кошториси, таблиці даних тощо, бо інакше ці матеріали переривали б хід звіту. Однак, вони безумовно підвищують якість звіту, забезпечуючи йому більшу повноту. В додатках дають опис решти пропозицій з енергоощадності, які аудитор не включили в основну частину звіту.

Звіт являє собою вагомий продукт, який клієнт одержує від консультанта. Він повинен бути написаний доброю мовою, ясно і лаконічно.

## **4.8 Вправи**

### **4.8.1 Заощадження електроенергії**

Невелика текстильна фабрика споживає за рік 2 550 000 кВт-год електроенергії. Середня місячна максимальна потреба в електроенергії складає 730 кВт. Річна вартість електроенергії — 196 830 Євро. Ця вартість складається з наступних елементів:

Постійна плата за електроенергію:

$$1\,000 \text{ Євро/місяць} * 12 \text{ місяців} = 12\,000 \text{ Євро}$$

Плата за одиницю енергії:

$$2\,550\,000 \text{ кВт-год} * 0,045 \text{ Євро/кВт-год} = 114\,750 \text{ Євро}$$

Вартість максимального електричного навантаження:

$$730 \text{ кВт} * \text{Євро/кВт} * 12 \text{ місяців} = 70\,080 \text{ Євро}$$

Загальна вартість: 196830 Євро

Середня вартість одиниці електроенергії = 0,0772 Євро/кВт-ч

У результаті проведення енергетичного дослідження запропоновано три шляхи по скороченню енергоспоживання:

- Замінити зовнішнє освітлення економічними освітлювачами.
- Замінити сушильну камеру з електричним опором камерою з інфрачервоним випромінюванням.
- Замінити електричний котел парогенератором, який працює на газі.

#### ***(а) Розрахунок заощаджень, отриманих при модернізації зовнішнього освітлення***

У даний час зовнішнє освітлення здійснюється за допомогою 20 вольфрамових ламп розжарювання потужністю 500 Вт, які працюють 3 650 годин на рік з коефіцієнтом використання 0,9 (оскільки в середньому у будь-який час 10 % ламп знаходяться в неробочому стані).

Пропонується замінити кожну з цих ламп лампами типа SON потужністю 70 Вт (що мають споживання потужності в мережі 81 Вт). У разі , якщо зміна коефіцієнта використання не очікується, скільки енергії і грошей буде заощаджено? Виходьте з того, що за день фабрика спожила максимум енергетичного навантаження, тому в даному випадку немає ніяких заощаджень максимальної потреби.

#### ***(б) Розрахунок заощаджень, отриманих при використуванні інфрачервоного нагріву в сушильній камері***

Запропоновано замінити систему просушування з електричним опором системою з ефективнішим інфрачервоним випромінюванням. Існуюча система має номінальну потужність 200 кВт і може працювати з коефіцієнтом використання до 85 % під час пікових періодів (а саме, 170 кВт-год кожну годину). Нова система має номінальну потужність 150 кВт і в пікові періоди працюватиме на 80 % максимального навантаження (а саме, з потужністю 120 кВт). Очікується, що в результаті підвищення ефективності споживання електроенергії на просушування скоротиться з

672 000 кВт-год до 475 000 кВт-год. Розрахуйте очікувану річну економію енергії і грошей.

**(с) Розрахунок заощаджень, отриманих при установці працюючого на газі парогенератора**

Для вироблення технологічної пари фабрика використовує електричний котел потужністю 100 кВт. Котел щорічно споживає 196 000 кВт-год електроенергії для виробництва необхідної кількості пари. Запропоновано замінити цей котел парогенератором, що працює на газі. З урахуванням витрат з газами, що відходять, нове устаткування використовуватиме 252000 кВт-год газу для виробництва такої ж кількості пари.

Яка очікується величина грошової економії, якщо вартість газу 0,015 Євро/кВт-год? Виходьте з припущення, що електричний котел споживає 100 кВт місячного максимального електричного навантаження. Для визначення цього розрахуйте наступні величини:

Скорочення	витрат	на	одиницю	енергії:
				_____
_Євро				
Зниження	вартості	максимального	електронавантаження:	
				_____ Євро
Збільшення	витрат	на	газ:	
				_____
_Євро				
Чисті				заощадження:
				_____
_Євро				

#### 4.8.2 Енергозбереження в парових системах

По відношенню до розглянутої у вправі 1 фабрики запропоновано застосувати два шляхи економії енергії. Перший шлях полягає в установці системи рекуперації теплоти в сушильній камері. Дана міра скоротить енергоспоживання приблизно на 35 %. Другий шлях полягає в установці нового котла з ефективністю горіння 85 %.

Розрахуйте розмір річної економії витрат і енергії палива, одержаної в результаті установки в сушильній камері системи рекуперації теплоти.

Розрахуйте розмір річної економії витрат і паливної енергії, одержаної в результаті установки котла більшої ефективності.

Розрахуйте загальну величину річної економії витрат і енергії палива, одержаної в результаті установки системи рекуперації теплоти і котла більшої ефективності.



#### **4.9 Приклади питань тестового контролю**

1. Яка мета розділу "Опис об'єкту"?
2. Що рекомендується включати в розділ "Виводи" звіту ?
3. Що входить в розділ "Опис об'єкту" звіту по енерговивченню?
4. В чому полягає технічна перевірка проекту?
5. Що потрібно включати в рекомендації по енергозбереженню?
6. Який підхід до проведення енергоаудиту найбільш важливий?
7. Що може бути причиною проведення аудиту на підприємстві?
8. Що з перерахованого входить в рекомендації по заощадженню енергії?
9. У якому об'ємі необхідно проводити енергоаудит?
- 10.Що повинна містити анотація письмового звіту по енергоаудиту?

