МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ

Конспект лекцій

для студентів 1 курсу
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
денної та заочної форми навчання,
освітнього ступеня «магістр»

СУМИ – 2024

УДК 620.93

Н66

Укладачі: Барсукова Г.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Юрченко О.Ю., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Лисенко В.В., завідувач навчально-методичного кабінету кафедри енергетики та електротехнічних систем

К 33 Науково-методичне забезпечення навчального процесу : конспект лекцій / укл.: Г.В. Барсукова, О.Ю. Юрченко, В.В. Лисенко. - Суми, 2024. – 68 с.

В конспекті лекцій приведені теоретичні питання щодо методологічної бази знань методики проведення енергетичного аудиту технологічного устаткування, систем електропостачання, та виконання аналізу ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів, рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, потенціалу енергозбереження..

Рецензенти:

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри «Технічного сервісу» СНАУ;
Василенко О.О., к.т.н., доцент кафедри «Охорони праці та фізики» СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 2 від «01» жовтня 2024 року

© Сумський національний аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

№	Лекції	Сторінки
1	Вступ. Формування послідовності проведення енергетичного аудиту. Попереднє отримання інформації про об’єкта та її аналіз.	5
2	Поглиблене отримання інформації про використання ПЕР на підприємстві.	8
3	Визначення споживання енергії в системі вентиляції та кондиціювання.	12
4	Визначення споживання ПЕР шляхом оцінювання.	15
5	Перехресна перевірка даних.	19
6	Оброблення інформації про використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві.	22
7	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Системи стисненого повітря. Ч.1.	24
8	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Ч.2.	30
9	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Ч.3.	35
10	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Ч.4.	38
11	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Ч.5.	41
12	Шляхи підвищення енергоефективності деяких енергетичних установок. Система електропостачання. Ч.6.	44
13	Техніко-економічне обгрунтування заходів з енергозбереження в системі освітлення. Ч.1.	50
14	Техніко-економічне обгрунтування заходів з енергозбереження в системі електропостачання. Ч.2.	52
15	Техніко-економічне обгрунтування заходів з енергозбереження в системі опалення. Ч.3.	57
16	Техніко-економічне обгрунтування заходів з енергозбереження в системі опалення. Ч.4.	60
17	Техніко-економічне обгрунтування використання нетрадиційних джерел енергії. Ч.5.	64

Лекція 1. ВСТУП. ФОРМУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ. ПОПЕРЕДНЄ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ОБ'ЄКТ ЕА ТА ЇЇ АНАЛІЗ.

Вступ.

На початку багатьох справ в світі, наприклад розробки стратегій бойових дій, чи планування туристичного маршруту, люди часто вивчають схематичні матеріали, які дадуть уявлення про всю пророблену роботу. Такими матеріалами є карта, на якій видно одразу всі об'єкти, що розташовані на шляху дослідника. Енергетиний аудит є справою, яка є сама по собі творча, а точніше творчим поєднанням багатьох відомих методів енергозбереження. Тому розпочнемо подальший діалог з того що спробуємо логічно зобразити схему проведення ЕА або стратегію його проведення.

Стратегія повинна містити не тільки послідовність проведення дослідження а й обґрунтування доцільності саме такої послідовності. Доцільність послідовності показує як за наявних фінансових, матеріальних, часових ресурсів аудитора та організації-замовника послуг можна ефективно провести енергетичний аудит.

Таким чином, сформуймо послідовність проведення дослідження енергоаудитора.

1. Формування послідовності проведення енергетичного аудиту.

Для побудови використаємо метод дедукції, який дозволяє пройти шлях пізнання того, що має відбутись під час проведення ЕА від загального до часткового. В загальному розумінні сказаного в попередньому реченні загальне є економія ПЕР і коштів на підприємстві і дохід для енергоаудиторам. Частковим є шляхи, проходження яких призведе до досягнення цих результатів.

Отож складемо таку послідовність:

1. Ефект від енергозбереження, дохід для енергоаудитора
2. Реалізація енергозберігаючих заходів
3. Обґрунтування доцільності реалізації енергозберігаючих заходів
4. Визначення енергозберігаючих заходів
5. Отримання інформації на підприємстві, аналіз якої покаже енергозберігаючі заходи.

Розглядаючи вищеописану послідовність складемо схему проведення ЕА:

- Попереднє отримання інформації про підприємство
- Можливі напрямки енергозбереження, що випливають з отриманої інформації
- Попередній аналіз їх ефективності і терміну окупності з використанням метод експертних оцінок і інших методів
- Складання попереднього звіту про виконану експертизу, плану подальшого аудиторського дослідження (вид енергоаудиту; інформація, яку треба отримати для конкретизації заходів з енергозбереження; попередньо запропоновані заходи, дослідження ефективності яких буде проводитись) і укладання договору
- Перевірка ефективності вибраних заходів, оформлення звіту з ЕА і його презентація.

Творчий характер енергетичного аудита вказує на необхідність володіння знаннями з енергозберігаючих заходів, способів отримання та оброблення інформації та іншими знаннями. Знання розвиваються і зміцнюються в практиці. Практичні заняття і лабораторні роботи будуть нагодами для студента по виконанню завдань енергетичного аудиту.

2. Попереднє отримання інформації про об'єкт ЕА та її аналіз.

Під час переддоговірного етапу замовник енергоаудиторських послуг надає виконавцю, тобто енергоаудиторській організації необхідні дані про підприємство. Отримання інформації про характеристики об'єкта ЕА необхідне для визначення і аналізу заходів з енергозбереження, які можуть бути застосовані на підприємстві і складання попереднього висновку про доцільність проведення ЕА на об'єкті.

Інформація може бути отримана багатьма шляхами, наприклад через опитувальні листи, що підготовлені енергоаудиторської організацією і передаються замовнику, попередній енергетичний аудит та ін.

Після отримання інформації про енерговикористання підприємства, вона обробляється та аналізується. Аналіз направлений на те, щоб у попередньому звіті висвітлити факти, які будуть обґрунтовувати необхідність впровадження енергозберігаючих заходів в різних об'єктах енерговикористання підприємства або будуть допомагати під час проведення енергоаудиту.

Аналізуючи кожний пункт зібраної інформації потрібно:

1. Визначити наскільки корисна отримана інформація для проведення енергетичного аудиту;
2. Запропонувати заходи з енергозбереження, що випливають з цієї інформації (висновок з 1-го пункту аналізу);
3. Здійснити попередній аналіз ефективності енергозберігаючих заходів (тих, що подані в 2-му пункті аналізу);
4. Скласти звіт попереднього енергоаудиторського дослідження.
5. Сформувати план проведення енергетичного аудиту.

3. Корисність інформації для проведення енергетичного аудиту.

Виявлені виробничі системи, що пов'язані з використанням ПЕР можна проаналізувати таким чином:

1. Розташувати системи в напрямку, починаючи з найенергоємніших (які характеризуються високими або низькими температурами (у порівнянні з температурою навколишнього середовища), високою інтенсивністю виробництва, високим рівнем споживання води, пари, стисненого повітря, електричної та ін. видів енергії).

2. Поділити систем на підсистеми:

а) вироблення енергії (котел, компресор, насоси, електричний двигун або генератор);

б) розподілу, перетворення і передачі енергії (трубопроводи, кабельні або повітряні лінії, ремінні передачі);

в) навантаження (витрати електроенергії, теплової енергії, енергія стисненого повітря на виробництво якоїсь корисної дії).

3. Здійснити аналіз кожної з підсистем, під час якого визначити неекономні ланки систем і робити відповідні пропозиції, які будуть внесені в попередній звіт енергоаудитора. Доцільно почати розгляд виробничої системи для пошуку можливостей енергозбереження з кінця, тобто із підсистеми навантаження.

Для аналізу можна використати питання, що покажуть заходи з енергозбереження, які можна запропонувати підприємству:

а) для підсистеми навантаження:

- Чи виправдане навантаження даної установки? (насос працює цілий рік, а його робота потрібна лише 8 годин на добу. Захід з енергозбереження: організація дбайливого ставлення користувача насосом до своїх обов'язків; впровадження системи керування).
- Чи можна забезпечити навантаження використанням іншої системи? (Заходи з енергозбереження: транспортування деревного пилу за допомогою шнекового конвеєру замість стисненого повітря; пневмоінструмент може бути замінено інструментом з електроприводом (електроперфоратор); заміна конвективного теплообміну на променевий).
- Чи можна знизити навантаження? (Заходи з енергозбереження: удосконалення теплової ізоляції приміщення, зменшення потоку повітря, яке вентилює робоче приміщення, ліквідація недбалого ставлення до своїх обов'язків…).

б) для підсистеми розподілу, перетворення і передачі енергії:

- Наскільки великі втрати в мережі? (Витоки стисненого повітря, втрати тепла з поверхонь трубопроводів, втрати електроенергії в лініях і трансформаторах. Заходи з енергозбереження: ущільнення місць витоків, теплоізоляція трубопроводів, компенсація реактивної потужності).
- Які втрати при передачі енергії? (Незадовільний стан ремінних передач, незадовільне або відсутнє змащування. Заходи з енергозбереження: заміна зношених ремінних передач на нові, здійснити змащування).

в) для підсистеми вироблення енергії:

- Наскільки потужність продуктивної системи відповідає навантаженню (Заходи з енергозбереження: відключення трансформаторів, які суттєво недовантажені, застосування декількох компресорів меншої потужності і увімкнення їх за необхідності)?
- Наскільки добре система обслуговується (Заходи з енергозбереження: очищення фільтрів, поверхонь теплообмінників, світильників …)?

г) інші питання:

- Який рівень підготовки персоналу, інженерів, керівництва цехом і всім підприємством (Захід. Що сприяє енергозбереженню: забезпечення підвищення і підтримання на достатньому рівні кваліфікації персоналу)?
- Чи контролюється робота допоміжного устаткування (Захід з енергозбереження: при вимиканні котла або холодильної установки, допоміжні насоси і вентилятори іноді також можуть бути вимкнені)?
- Чи можлива рекуперація тепла для даної системи або тепла, що виробляється даною системою (Захід з енергозбереження: використання тепла компресорів і холодильних установок для систем гарячого водопостачання)?

4. Інші приклади аналізу інформації:

1. Режим роботи підприємства (являє собою інформацію про кількість годин роботи підприємства протягом доби, місяця, року, а також періоди роботи і зупинок, завантажені і незавантажені періоди: необхідно для розрахунку спожитих теплової, електричної енергії та інших показників, що пов'язані з режимом роботи підприємства).

2. Фінансовий стан підприємства (дозволяє визначити чи має підприємство кошти для впровадження енергозберігаючих заходів).

3. Кількість працівників (може бути необхідною для оцінювання умов виробництва, в яких працюють працівники і розроблення енергозберігаючих заходів з урахуванням кількості працівників, які працюють в кожному виробничому підрозділі).

4. Загальна площа підприємства (необхідна для розрахунків з підвищення ефективності систем освітлення, опалення та ін).

5. Наявність субабонентів (з метою визначення особливостей роботи субабонентів, їх технологічного процесу та частки використання ПЕР субабонентами, визначення їх впливу на ефективність використання ПЕР на підприємстві замовника, а також для розгляду можливості проведення ЕА підприємств субабонентів).

6. Показники споживання ПЕР за останні декілька років

- добові та річні графіки споживання ПЕР (з них визначаються тенденції споживання цих ресурсів у майбутньому; дані про погодинне споживання електроенергії дозволяють побачити причини збільшення фінансових витрат, пов'язаних з навантаженням в години, де вона дорожча);

- паливно-енергетичні баланси (дозволяють визначити втрати енергії та палива по підприємству);
- баланси фінансових витрат на споживання енергоносіїв (дозволяють визначити пріоритетність в обстеженні енергоносіїв);
- баланси фінансових витрат за споживану електричну енергію під час використання одноставкового та диференційованого тарифів (дозволяють оцінити ефективність зміщення споживання електроенергії з годин максимуму в інші години).

7. Система тарифів на енергоносії, що використовує підприємство (дозволяє визначити ефективність переходу на інші системи тарифів).

8. Наявність і характеристика систем обліку та контролю енергоспоживання (дозволяє визначити енергоаудитору можливості додаткового збору інформації, а також проаналізувати ефективність діючих систем обліку та контролю енергоспоживання і чи вони сприяють проведенню на підприємстві політики енергозбереження (напр. контролю виконання норм використання ПЕР)).

9. Інформація про енергетичні аудити підприємства, що були проведені раніше (дозволяє побачити які сфери використання ПЕР не потребують дослідження, а які ще не вдосконалені).

10. Існуючі на підприємстві виробничі системи, і ланки цих систем, що споживають ПЕР (дозволяє сформувати ефективну послідовність аналізу цих систем і їх ланок для отримання найбільш корисних для підприємства заходів з енергозбереження).

Лекція 2. ПОГЛИБЛЕНЕ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ПЕР НА ПІДПРИЄМСТВІ.

На цьому етапі проведення ЕА необхідно відобразити дані, які не були зібрані під час попереднього отримання інформації про об’єкт ЕА і необхідні для проведення аналізу ефективності використання заходів з енергозбереження, що вказані у плані проведення енергетичного аудиту.

Отримання додаткової інформації здійснюється згідно потреб, які зазначені в узгодженому плані проведення енергетичного аудиту. Для цього може бути витрачено більше часу і засобів ніж під час підготовчого етапу.

Шляхи отримання інформації, що існують на теперішній момент є:

– з використанням вимірювальних засобів;

або ж – з використанням оцінювання за допомогою різних аналітичних моделей.

Оцінювання використовується у випадках, де немає можливість отримання інформації за допомогою засобів вимірювання.

Розглянемо деякі приклади визначення споживання ПЕР з використанням вищеперерахованих шляхів:

1. Розрахунок рідкого палива і вугілля.

Розрахунок проводиться за результатами вимірювання маси палива (нафти, вугілля, мазуту). Тобто в такому випадку застосовується часткове вимірювання. Якщо енергоресурси поставляються у відомих кількостях і можливо виміряти обсяги постачань у будь-який час (цистерна, вагон), лічильники для прямого виміру спожитого палива використовувати не обов'язково.

Розрахунок здійснюється за такою формулою

$$\mathbf{M=M_{пост.}+M_{поч.}-M_{кін.}}$$

де **М** – маса використаного палива, що розраховується;

Мпост. – маса поставленого на склад палива;

Мпоч. – маса палива на складі, що було на момент поставки;

Мкін. – маса палива на складі на момент розрахунку

Розрахунок спожитого рідкого палива звичайно включає різні прийоми вимірювання: від традиційної масломірної лінійки до цифрових нафтових резервуарів. Перші два прийоми, які вимірюють скоріше об’єм, ніж тиск, можуть мати похибки відносно змін температури, якщо вона не зберігається на постійному рівні. Для горизонтальних циліндричних резервуарів, масломірної лінійки або поплавкового рівнеміра шкали повинні бути якнайкраще проградуйовані.

Приклади вимірювальних пристосувань:

- Цистерни з відомими об’ємами
- Поплавкові рівнеміри
- Манометр (аналоговий)
- Манометр (цифровий)

Розрахунок маси вугілля ускладнюється, якщо вугілля зберігається в шахті або звалено на землі.

2. Визначення витрат енергії після аналізу показників переносних вимірювачів.

На рис. 2.1 представлений приклад ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ, отриманого за допомогою складних вимірювальних приладів, таких як реєстратор споживання енергії або ультразвуковий витратомір. Важливість подібних діаграм полягає в тім, що вони демонструють зміну кількості спожитої енергії за період часу. Ця інформація допомагає порівняти фактичні зміни обсягу спожитої енергії з очікуваними, а також показує, наскільки успішно функціонують ручна й автоматична системи керування.

Визначаючи потенційні можливості енергозбереження, графіки навантаження можуть вказувати на наступні **фактори:**

- Ушкодження систем контролю;
- Системи контролю, керовані операторами вручну;
- Розходження ефективності електроспоживання на різних робочих змінах;
- Втрати і витоки.

Графіки споживання енергоносіїв і води повинні бути включені в звіти по енергоаудиту, тому що вони наочно відбивають існуючі проблеми і, таким чином, виявляють конкретні шляхи економії енергії.

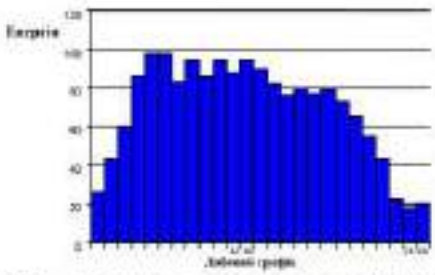


Рисунок 2.1 – Приклад добового графіка навантаження

Витрати енергії можуть також вимірюватись стаціонарними або переносними лічильниками за допомогою визначення величини параметрів, що відносяться до споживання енергії. Прикладами таких параметрів є електричний струм, витрата пари і наробіток у годинах. Для переведення цих 13 параметрів в одиниці споживаної енергії, необхідно знати такі параметри, як: напруга, ентальпія паротворення або середнє споживання потужності під час роботи.

Досвідчений енергоаудитор по деяких виміряних параметрах зможе визначити енергетичні потоки.

Наприклад, по виміряному струмі, споживання електричної енергії можна розрахувати за допомогою величини напруги і коефіцієнта потужності.

При дослідженні тепловикористовуючого устаткування, енергоспоживання можна визначити за допомогою розрахунку ентальпії пари, що подається і конденсату, що повертається.

Для устаткування, що працює з постійним графіком навантаження, одногодинні лічильники використовуються для визначення загальної величини споживання.

3. Визначення спожитої енергії з використанням регресійного аналізу.

Цей метод являє собою математичний прийом, заснований на порівнянні змін кількості використаної енергії зі змінами іншої змінної, від якої може залежати споживання енергії. Наприклад, можна порівняти величину споживання енергії на місяць з місячним виробленням на підприємстві. Математичний аналіз поділяє обсяг спожитої енергії на ПОСТІЙНЕ НАВАНТАЖЕННЯ (тобто на кількість енергоносія, що необхідна для підтримки на підприємстві нульового рівня виробництва) і ЗМІННЕ НАВАНТАЖЕННЯ (кількість енергоносія для виробництва кожної додаткової одиниці продукції, що випускається,). Регресійний аналіз дозволяє контролювати використання енергії і виявляти шляхи економії.

На рис. 2.2 представлений загальний вигляд типового графіка регресійного аналізу. Хрестиками позначена кількість спожитої енергії при відповідному обсязі зробленої продукції за визначений проміжок часу, наприклад, за чи тиждень місяць. "Ідеальними" прямими виділяють постійне і змінне енергетичне навантаження. У багатьох випадках, зокрема, коли витрата енергії ретельно контролюється, таку пряму можна оцінити на око. Однак, перевага надається використанню точного математичного методу "лінійного регресійного аналізу".

У табл. 2.1 показано, як постійні і змінні складові витрат енергії пов'язані з різними змінними величинами, а також приведені характеристики постійного і змінного навантаження. Слід зазначити, що будь-які втрати, такі як витік пари, викликаний поганою ізоляцією труб, включаються в постійні витрати. Іноді декілька змінних співвідносять з одним джерелом енергії, тому енергоаудитор повинний самостійно визначити найбільш надійну змінну. Для цього відносно кожної альтернативної змінної застосовується регресійний аналіз, а потім визначається найбільш прийнятне співвідношення двох видів даних. Однак найчастіше це рішення ґрунтується на здоровому глузді.

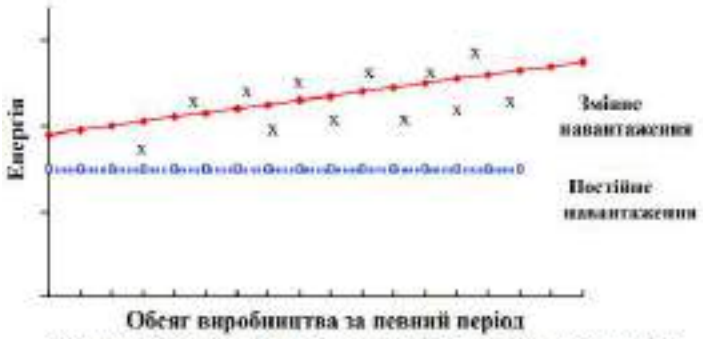


Рисунок 2.2 – Графічна ілюстрація регресійного аналізу

Таблиця 2.1 – Постійні і змінні складові витрат енергії

Енергія	Змінна, що вимірюється	Енергоспоживання	
		Постійне навантаження	Змінне навантаження
Котельне паливо для опалення приміщень	Градусо-дні*	Гаряча вода	Опалення приміщень
Водопостачання для центрального опалення	Градусо-дні*	Гаряча вода	Опалення приміщень
Котельне паливо	Вироблена пара	Втрати котельної	Технологічна пара
Пара, що подається на завод	Заводська продукція	Втрати в розподільчій мережі	Технологічна пара
Електроенергія, що подається на завод	Заводська продукція	Невиробниче електроспоживання Втрати в мережах	Виробниче споживання

* - Градусо-дні – величина того, скільки потрібно енергії для опалення приміщень.

4. Визначення потужності споживачів ПЕР з використанням перевірочного тесту.

Метод перевірочного тесту заснований на спостереженні за зміною РІВНЯ енергоспоживання після вимикання приладів. У мережі, де кілька користувачів енергії підключені до одного лічильника, цей прийом використовується для знаходження кількості енергії, що використовується одним або групою споживачів.

Якщо декілька енергоспоживачів живляться від одного вимірюваного джерела, індивідуальне споживання енергії кожним зі споживачів може вимірятися шляхом включення і вимикання різних навантажень і наступним спостереженням за зміною величини енергоспоживання.

Розглянемо як перевірочний тест використовується для виявлення величини енергоспоживання однієї з двох установок, приєднаних до одного електролічильника (рис. 2.3). У цьому прикладі МИТТЄВЕ споживання електроенергії розраховується шляхом визначення частоти оборотів обертового диска в електролічильнику.

Перевірочні тести також застосовні до інших типів лічильників, наприклад, до газових і парових. Хоча в таких лічильниках немає обертових дисків, частоту оборотів яких можна виміряти, ми можемо простежити час, за який переміститься стрілка лічильника.

Таким чином, принцип залишається той же, хоча період зняття показань може збільшитись. Для одержання точних результатів перевірочних тестів ми повинні бути впевнені в тому, що енергоспоживання устаткування, що тестується, знаходиться на нормальному рівні і не змінюється протягом періоду тестування, наприклад, автоматичними системами керування.

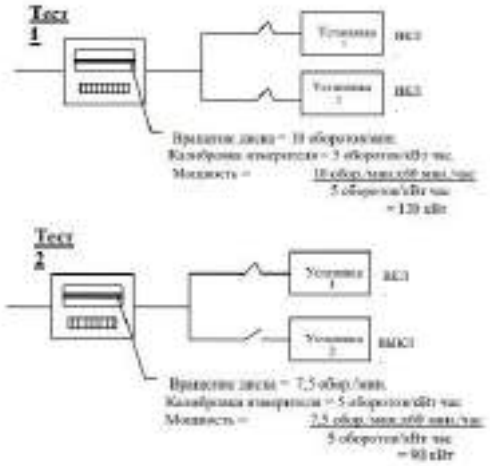


Рисунок 2.3 – Використання перевірочного тесту

Висновок

Установка 1. Середнє навантаження = 90 кВт,

Установка 2. Середнє навантаження = 30 кВт.

Інші приклади використання перевірочних тестів:

Електропостачання виробничого устаткування і освітлення.

Коли виробничий процес зупиняється (наприклад, під час обіду або наприкінці робочого дня), освітлення на кілька хвилин залишається включеним. За умови, що виключено все устаткування виробничого приміщення, прив'язане до одного лічильника, ви зможете точно визначити кількість електроенергії, споживаної освітленням.

Стиснене повітря.

Коли виробничий процес зупиняється і немає потреби в стисненому повітрі (наприклад, у випадку застосування пневматичних систем керування) залишіть повітряні компресори включеними. Споживана компресорами енергія вкаже на розмір витоків стиснутого повітря. Якщо включення/вимикання компресорів контролюється, вам належить виміряти час завантаженості/незавантаженості компресорів, щоб оцінити рівень втрат повітря і кількість спожитої електроенергії.

Перевірочні тести зазвичай найбільш ефективні при включенні всього устаткування і відключенні потім різних навантажень у різні інтервали часу. Дана система не завжди спрацьовує в зворотному напрямку, тому що деякі енергоспоживачі (а саме, флуоресцентні лампи, двигуни, системи стиснутого повітря) споживають більше енергії при включенні, чим у період операційного процесу.

Перевірочні тести застосовні винятково у відношенні устаткування, що споживає протягом тестування постійну кількість енергії. Наприклад, автоматичне включення і відключення устаткування в період тестування (холодильники) може дати помилковий результат.

Лекція 3. ВИЗНАЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ.

Вхідний енергетичний потік: електроенергія.

Вихідний енергетичний потік: енергія потоку повітря з визначеними фізичними властивостями (температурою, вологістю, швидкістю).

При проведенні енергоаудиту систем вентиляції і кондиціювання вимірюється споживана електрична енергія. Для оцінки виробленої корисної роботи можуть бути потрібні вимірювання таких величин, як швидкість обертання вала двигуна, швидкість потоку повітря, створюваний перепад повного тиску й ін.

Також необхідно звернути особливу увагу на втрати тепла з повітря, що видаляється з приміщення, у випадку використання витяжної вентиляції.

Загальна структурна схема системи вентиляції представлена на рис. 3.1.

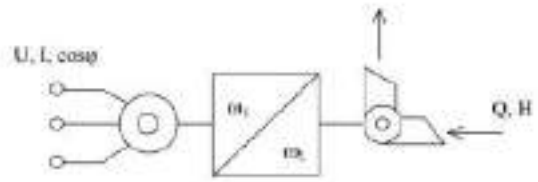


Рисунок 3.1 – Структурна схема вентиляційної системи

Якщо необхідно підігрівати або охолоджувати повітря, то в структурній схемі додається ще один елемент - кондиціонер, що змінює фізичні властивості робочого тіла.

Вимірювання споживаної вентиляційною установкою електричної потужності, як правило, здійснюється за допомогою ватметрів. Потужність трифазного струму, споживана двигуном, може бути виміряна двома однофазними ватметрами або ватметром трифазного струму.

Необхідно відмітити, що часто застосовуються комплексні прилади, що дозволяють одночасно робити вимірювання споживаних активних, реактивних, повної потужностей; фазної або лінійної напруги живильної мережі; електричного струму, що споживається навантаженням і коефіцієнта потужності.

При відсутності перерахованого вище устаткування споживана двигуном електрична потужність може бути визначена непрямим чином при вимірюванні напруги живильної мережі, споживаного струму і коефіцієнта потужності.

Вимірювання цих величин можна робити за допомогою вольтметра, амперметра і фазометра відповідно. У цьому випадку потужність розраховується по формулі:

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi),$$

де U [В] – лінійна напруга живильної мережі;
I [А] – споживаний з мережі струм;
cos(φ) – коефіцієнт потужності.

Вимірювальне устаткування, що здійснює безпосереднє вимірювання механічної потужності, відсутнє. Тому механічна потужність при обертальному русі може бути визначена непрямим способом по формулі:

$$P_{мех} = M \cdot \omega,$$

де M [Н·м] - момент, що розвивається двигуном;
ω [$с^{-1}$] - частота обертання вала двигуна.

Вимірювання частоти обертання, як правило, здійснюється за допомогою лічильників обертів, тахометрів і стробоскопів.

Обертаючий момент може бути виміряний за допомогою балансирного динамометра, що являє собою пристрій з вузлом, що хитається, момент рівноваги якого прямо пропорційний вимірюваному моментові. На практиці для визначення моменту, що розвивається двигуном, необхідно його від'єднання від системи вентиляції. В енергоаудиті такий метод використовується вкрай рідко. При орієнтованих розрахунках для визначення обертаючого моменту і потужності, що розвиваються двигуном, допускається використання табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані значення обертових моментів і потужностей двигунів

$\omega / \omega_н$	Без примусового охолодження		З примусовим охолодженням	
	$M / M_н$	$P / P_н$	$M / M_н$	$P / P_н$
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,8	0,9	0,71	1,0	0,8
0,6	0,8	0,46	1,0	0,6
0,4	0,6	0,25	1,0	0,4
0,2	0,4	0,09	1,0	0,2

У таблиці прийняті наступні позначення:
ω [с–1] – фактична частота обертання;
20 $\omega_н$ [с-1] - номінальна частота обертання;
М [Н.м] - фактичний обертаючий момент;
Мн [Н.м] - номінальний обертаючий момент.

Іншим, і більш точним, способом визначення механічної потужності, що розвивається двигуном, є вимірювання споживаної двигуном електричної потужності й аналітичне визначення втрат у двигуні. Потужність, що розвивається тоді двигуном, визначається по формулі:

$$P_{мех} = P_{ел} - \Delta P,$$

де Рел - споживана двигуном електрична потужність;
ΔР - втрати в двигуні при фактичному завантаженні.

Вимірювальне устаткування, що здійснює безпосереднє вимірювання аеродинамічної потужності, відсутнє. Тому аеродинамічна потужність може бути визначена непрямим чином по формулі:

$$P_{аеродин} = Q \cdot H,$$

де Н [Па] - повний тиск (напір), що розвивається вентиляторною установкою, що являє собою різницю повних тисків потоку при виході з вентиляторної установки і при вході в неї;
Q [$м^3/с$] - продуктивність (об'ємна витрата), що являє собою об'ємну кількість газу, що надходить у вентиляційну установку за одиницю часу.

Повні тиски в різних перерізах повітропроводу можна визначити шляхом вимірювання статичного тиску, що мало змінюється по перерізі (за допомогою отвору в стінці або трубкою) і додавання до нього (у нагнітальній частині воздуховоду, а в усмоктувальної - віднімання) динамічного тиску, обчисленого по середній швидкості:

$$H = P_{ст} \pm v^2 \cdot \frac{\rho}{2},$$

де $P_{ст}$ - виміряний статичний тиск, Па;
v - середня швидкість потоку, м/с;
ρ - щільність переміщуваного повітря, $кг/м^3$.

Якщо на розглянутій ділянці мається врізаний прилад для вимірювання витрати повітря (ротаметр, звужуючий пристрій), то використовуються покази цього пристрою. На ділянках, де таких вимірювачів немає, об'ємні витрати визначаються по середній швидкості потоку і геометричним розмірам трубопроводу по формулі:

$$Q = v \cdot F,$$

де v [м/с] - середня швидкість потоку;
F [$м^2$] - площа поперечного перерізу на вимірюваній ділянці.

Отже, для визначення аеродинамічної потужності необхідне застосування наступних приладів:

- Для виміру тиску - рідинні манометри, мікроманометри;
- Для відбирання тисків у трубопроводах - пневмометричні трубки;
- Для вимірювання швидкості потоку - чашкові і лопатеві (лопастные) анемометри, термоанемометри;
- Для визначення параметрів навколишнього повітря - барометри (для вимірювання атмосферного тиску), різного роду термометри (для вимірювання температури), психрометри (для визначення вологості повітря).

Необхідно відзначити, що в даний час є комплексні прилади, що дозволяють проводити вимірювання швидкості, тиску і температури потоку повітря; температури і вологості повітря навколишнього середовища й ін.

Вимірюється: Електроенергія, споживана двигуном, напруга, струм, коефіцієнт потужності, частота обертання приводу, статичний і динамічний тиск.

Оцінюється: Механічна потужність, втрати в двигуні і розподільних мережах.

Розраховується: Обертаючий момент, аеродинамічна потужність, об'ємна витрата повітря.

Лекція 4. ВИЗНАЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ ПЕР ШЛЯХОМ ОЦІНЮВАННЯ.

1. Визначення спожитої електроенергії електроприводами вентиляторів, насосів, компресорів та холодильних установок.

Якщо вимірювання енергії і енергопотоків лічильниками неможливо, варто оцінювати споживання енергії, ґрунтуючись на показаннях і режимі роботи наявного устаткування. На практиці, через обмеженість ресурсів і часу, це один із самих популярних методів розрахунку енергоспоживання. Суть цього методу відбита на рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку середнього рівня енергоспоживання

З рисунка видно, що СЕРЕДНІЙ рівень енергоспоживання розраховується шляхом множення НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ устаткування на КОЕФІЦІЄНТ ЗАВАНТАЖЕННЯ.

Інформацію з номінальної потужності устаткування можна одержати з декількох джерел: по маркуванню устаткування або з інструкції по експлуатації, хоча іноді необхідно враховувати минулий досвід роботи і використану потужність аналогічного устаткування.

Коефіцієнт середнього завантаження іноді вказується в інструкціях і опублікованих дослідженнях. Однак енергоаудитору часто прийдеться самостійно оцінювати значення завантаження протягом періоду експлуатації. Потім, для знаходження величини споживання енергії в рік отримана величина множиться на ЧАС ВИКОРИСТАННЯ УСТАТКУВАННЯ ЗА РІК.

Ця інформація може бути отримана з даних по аналогічним установкам. Опитування операторів - також гарне джерело для уточнення часу роботи, однак оператори часто не впевнені в тому, як часто використовується деяке устаткування. Тому ми повинні розрізняти бездіяльне устаткування й устаткування, що функціонує в нормальних умовах. Розраховуючи час використання устаткування за рік, необхідно враховувати простої устаткування в зв'язку з поточним ремонтом, запланованим і незапланованим.

Перевага даного методу полягає в тому, що для розрахунків не потрібно спеціальних інструментів, а недоліком є те, що метод заснований на визначених припущеннях і допущеннях.

Через необхідність робити припущення даний метод є надійним у тому випадку, якщо добре відомі деталі експлуатації устаткування. Наприклад, якщо ми знаємо кількість і потужність ламп, що освітлюють паркування машин, а також нам відомо, скільки часу в році ці лампи включені, описуваний метод розрахунку буде досить точний. Для більш складного устаткування, що автоматично змінює потужність протягом технологічного процесу, розрахунок енергоспоживання набагато складніше. У таких випадках можуть допомогти вимірювання, виконані на устаткуванні при його тестуванні. Крім того, можна використовувати дані, опубліковані інститутами енергетичних досліджень. Дуже часто буває важко розрахувати точну кількість годин споживання енергії устаткуванням. У подібних ситуаціях опитуються оператори і вивчаються журнали включення і відключення устаткування. Крім того, якщо робота устаткування контролюється автоматично (а саме, вимикачем з годинним механізмом), це теж забезпечить нас необхідною інформацією.

Щоб успішно використовувати в енергоаудиті розраховане споживання, аудитор повинний уміти застосовувати правильні коефіцієнти використання устаткування і проводити перехресну перевірку результатів, порівнюючи їх з відомими нормами і загальним споживанням енергії.

Розглянемо приклади оцінки споживання енергоресурсів.

а. Визначення спожитої електроенергії електроприводами вентиляторів і насосів.

Номінальна потужність обладнання:

- Потужність двигуна зазвичай вказана на інформаційній табличці.

Коефіцієнт середнього навантаження:

- Можна визначити за допомогою наявного амперметра.
- Можна обчислити шляхом вимірювання витрати повітря / води, яка порівнюється з максимально допустимою нормою, і потім відповідно визначити величину енергоспоживання.
- Необхідно враховувати системи автоматичного управління, такі як приводи з регульованою швидкістю.

Річне використання обладнання:

- Визначається виходячи з використання обладнання, що обслуговується вентилятором або насосом.
- Враховує знаходження двигуна в стані навантаженого / ненавантаженого резерву.
- Враховує системи автоматичного управління.

Розглянемо графіки енергоспоживання для вентилятора і насоса. Кількість електроенергії, спожитої вентиляторами або насосами залежить від потужності двигуна і продуктивності.

Двигун, що розрахований на повну потужність вентилювання або накачування запланованої максимальної кількості повітря або води, буде працювати з усталеним об'ємним навантаженням, а, отже – усталеним споживанням електроенергії. Коли потік води або повітря зменшується, споживання двигуном енергії також повинно знизитись. Зменшення споживання енергії залежить від використовуваного методу регулювання потоку.

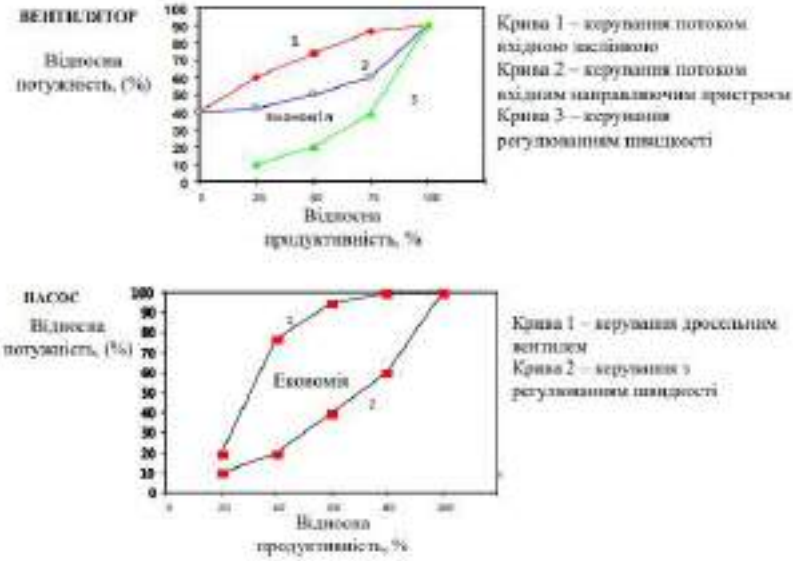


Рисунок 4.1 – Залежність відносної потужності електроприводу вентилятора та насоса для різних методів керування від їх продуктивності

Графіки на рис. 4.1 показують співвідношення між потоком рідини або газу і споживаної двигуном потужності для різних методів регулювання потоків. В обох випадках помітно, що використання механічних пристроїв, таких як заслінки і засувки, менш ефективно, ніж використання електронних регуляторів швидкості двигуна, таких як частотно регульовані електроприводи.

Таким чином, розраховуючи споживання енергії електроприводами вентиляторів і насосів, енергоаудитор повинен брати до уваги всі перераховані чинники. Враховуючи ці деталі, можна виявити потенційні можливості енергозбереження, наприклад, за допомогою більш ефективного управління потоками.

б. Визначення спожитої електроенергії електроприводами повітряних і холодильних компресорів.

Керовані електродвигунами повітряні та холодильні компресори по виду системи керування діляться на чотири головних **види:**

Керування «вмикання/вимикання». Використовується, головним чином, для невеликих поршневих компресорів. Компресор підвищує тиск повітря в системі і, при досягненні певного рівня тиску, зупиняється. Коли тиск падає, компресор вмикається знову.

Керування типу «з навантаженням/без навантаження».

Використовується для більш великих поршневих компресорів, в яких занадто багато включень можуть викликати згоряння двигуна. У ситуації, коли досягнуто бажаний рівень тиску, використовуються клапани, що дозволяють поршням рухатися вгору і вниз без подачі в приймальний пристрій стисненого повітря. Цей метод дозволяє заощадити велику кількість енергії, коли електродвигун включається, хоча компресор все ще використовує значну кількість енергії, працюючи без навантаження.

Керування типу «з повним навантаженням / половиною навантаження / без навантаження». Це підваріант зазначеного вище методу контролю, при якому існує стадія між становищем повного навантаження і

становищем без навантаження, під час якої механізм використовується наполовину, щоб скоротити рівень вироблення повітря.

Керування типу «повне регулювання». Цей метод зазвичай використовується при роботі з роторними гвинтовими компресорами або турбокомпресорами і дозволяє виробляти повітря у відповідності з попитом на нього. У деяких випадках можливо досягти діапазону зменшення кількості повітря у відношенні 3:1 або 4:1. Зазвичай для цього використовується регулювання робочого об'єму циліндрів гвинта або турбіни, хоча на деякому обладнанні використовуються двигуни із змінною швидкістю. Однак завжди при зменшенні навантаження спостерігається зниження ефективності.

Інформація, яку необхідно враховувати при оцінці електроенергії, спожитої повітряними і холодильними компресорами:

Номінальна потужність обладнання:

- Потужність зазвичай вказується на інформаційній табличці двигуна. Коефіцієнт середнього навантаження.
- Оцінка коефіцієнта навантаження зазвичай базується на вимірюванні часу роботи компресора на різних стадіях контрольного режиму.
- Дані про типові навантаженнях двигуна на різних стадіях контрольного режиму зазвичай є у виробників компресорів.

Річне використання обладнання:

- Ґрунтується на кількості годин, протягом яких потрібно стиснене повітря / охолодження.

Розглянемо режим роботи повітряного компресора.

Поршневий повітряний компресор, що виробляє повітря при тиску в 7 бар, для забезпечення необхідного тиску в системі розподілу стисненого повітря працює на циклі повного навантаження / половини навантаження / без навантаження. Енергоаудитор визначає час роботи компресора на різних стадіях виробництва (визначаються звуком і показником зміни тиску повітря) протягом приблизно двадцяти хвилин в умовах нормального функціонування.

Результати вимірювань показані на графіку рис. 4.2 і в табл. 4.1.

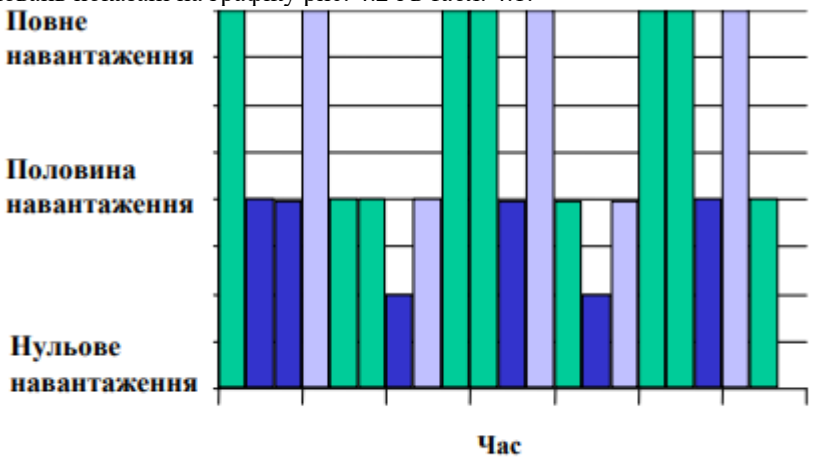


Рисунок 4.2 – Графік роботи повітряного компресора

Таблиця 4.1 – Параметри роботи повітряного компресора

Рівень навантаження	Секунди	%
Повне навантаження	371	31
Половина навантаження	697	59
Без навантаження	115	10
ВСЬОГО	1183	100

За даними виробників ми визначаємо такі характеристики компресора, як величина енергоспоживання та вироблення повітря (табл. 4.2):

Таблиця 4.2 – Енергетичні характеристики роботи повітряного компресора

Рівень навантаження	**Потужність, кВт**	**Продуктивність, $м^3$/хв**
Повне навантаження	120	2,345
Половина навантаження	73	1,116
Без навантаження	34	0

Табл. 4.2 показує, як вироблення повітря і споживання електроенергії змінюється на різних стадіях роботи компресора. З використанням цих даних здійснено розрахунок середнього споживання енергії компресором.

$$P_{ср} = \frac{(120кВт \cdot 371сек.) + (73кВт \cdot 697сек.) + (34кВт \cdot 115сек)}{1183сек} = 84, \text{ кВт}$$

Таким же способом можна розрахувати середню норму виробітку повітря:

$$Q_{ср} = \frac{(2{,}345 м^3/хв \cdot 371сек.) + (1{,}116 м^3/хв \cdot 697сек.) + (0 м^3/хв \cdot 115сек)}{1183сек} = 1{,}393, \text{ } м^3/хв$$

Потім, для визначення розміру витоку повітря, наприклад, через неправильну експлуатацію, цю середню норму можна порівняти з сумою номінального споживання повітря всім задіяним повітряно - компресорним устаткуванням.

2. Визначення споживання пер шляхом оцінювання. Визначення спожитої енергії системою освітлення.

Система освітлення.

Оскільки деякі види ламп споживають відому кількість електроенергії (крім ламп з регульованою освітленістю), енергію, що витрачається на освітлення, визначити легко. Приклад обчислення витрат електроенергії на освітлення представлений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок споживаної електроенергії системою освітлення

Територія	Встановлена потужність (кВт)	*Річна експлуатація*		Річне використання (кВт·год)
		(год.)	Коеф. навантаження	
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
Відділ інженерії	17	2400	0,7	28560
Зовнішнє освітлення	11	3600	0,9	35640
Разом	**180**			**545800**

Інформація, яку необхідно враховувати, оцінюючи споживання енергії освітлювальними установками:

Номінальна потужність обладнання:

- Це потужність лампи (Вт) плюс втрати в колі керування (Вт) для флуоресцентних і газорозрядних ламп.
- Вольфрамові лампи розжарювання і вольфрамово-галогенні лампи напругою 220 В не потребують ніякого механізму управління.
- Втрати в перетворювачі вольфрамово-галогенних ламп низької напруги зазвичай досягають 10% потужності ламп.

Коефіцієнт середнього навантаження:

- Повинні прийматися до уваги лампи, що працюють в режимі регульованої освітленості.
- Необхідно враховувати технічне обслуговування освітлювального обладнання. Наприклад, заводські цехи з високими прольотами можуть мати в середньому 10-20% несправних ламп між інтервалами поточного ремонту.

Річне використання обладнання:

- Оцінюється, виходячи з годин роботи з урахуванням завантаження (офіси) та періодів використання природного освітлення.
- Необхідно враховувати наявне автоматичне керування.

Лекція 5. ПЕРЕХРЕСНА ПЕРЕВІРКА ДАНИХ.

Для забезпечення повноти і достовірності вихідної інформації після завершення попередньої оцінки енергоспоживання енергоаудитор повинний зайнятися перевіркою даних шляхом підсумовування результатів оцінювання всіх споживачів електроенергії, усіх споживачів пари і т.д. Під час звірення даних часто виявляються невідповідності, тобто сума індивідуального оціненого енергоспоживання не завжди збігається із загальним виміряним енергоспоживанням. ПЕРЕХРЕСНА ПЕРЕВІРКА даних – це процес виявлення цих невідповідностей.

Існує кілька **різних методів перевірки** правильності виміряного або оціненого енергоспоживання:

- Вхідний/вихідний паливно-енергетичний баланс
- Баланс маси
- Ефективність використання енергії
- Порівняння з показниками роботи.

Приведемо приклади використання кожного методу.

1. Вхідний/вихідний паливно-енергетичний баланс.

Споживання заводом електроенергії Для наочності розглянемо приклад аудиту електроенергії на заводі. Аудитор розрахував річне споживання електроенергії, розділивши його на чотири категорії використання: освітлення, вентиляція, стиснене повітря і невиробничі споживачі. Потім він виміряв загальне споживання електроенергії за рік.

Загальне енергоспоживання за рік: *4 203 250 кВт·год.*
(За даними електролічильника компанії)
Перевірене споживання енергії
Освітлення = 980 000 кВт·год.
Вентиляція = 250 000 кВт·год.
Стиснене повітря = 1 412 000 кВт·год.
Невиробничі споживачі = 1 258 500 кВт·год.
УСЬОГО = 3 900 500 кВт·год.
Інше споживання = 302 750 кВт·год. = 7,2 % загального споживання

Обчисливши загальну суму споживання, аудитор помітив, що ця величина на **7,2%** менше аналогічної величини, зафіксованої заводськими електролічильниками. У цьому випадку невелика кількість спожитої енергії, виявлена в ході перехресної перевірки, може бути легко віднесена на різнорідні невеликі споживачі, що підтверджують його розрахунки.

Якщо різниця виявляється занадто великою або від'ємною, вона вказує на помилку в аудиті, яка повинна бути ліквідована шляхом додаткової перевірки.

2. Перехресна перевірка даних в системі теплопостачання та освітлення.

а. Вхідний/вихідний паливно-енергетичний баланс. Паровий котел.

У даному прикладі наведені попередні результати енергоаудиту котельні, при якому кількість спожитого палива (мазуту) і виробленої пари множаться на їхню теплотворну здатність і на чисту ентальпію. У такий спосіб дані величини переводять одиниці енергії (в наведеному прикладі, у ГДж).

Загальні витрати палива = 1 590 000 кг
Вища теплотворна здатність = 40,1 МДж/кг
Усього паливної енергії = 1 590 000 ·40,1·10^{-3}=63 759 ГДж

Усього виробленої пари = 25 200 т
Ентальпія пари = 2 730 кДж/кг
Ентальпія живильної води котла = 293 кДж/кг
Усього енергії пари =(2730·10^{3}-293·10^{3}) ·10^{6}·25200= 61 412 ГДж
Розрахована ефективність $E = \frac{61412}{63759} \cdot 100\% = 96{,}3\%$

Порівняння величин по витраті палива і по виробленню пари вказує на нереально високу ефективність котла і, отже, виявляє неточність деяких даних, що потребують повторної перевірки.

б. Баланс маси пари і конденсату.

Діаграма на рис. 1 ілюструє потоки пари і води, що можуть бути виміряні усередині системи парогенерації й утилізації. Така схема може бути використана в перехресній перевірці енергоспоживання. Наприклад, енергоаудитор розрахував споживання пари теплообмінниками і пароінжекторами. Ці величини сумуються і, у ході перехресної перевірки, порівнюються з загальним числом виробленої пари. Якщо виявляється, що сума пари, спожитої теплообмінниками і пароінжекторами більше загальної величини виробленої пари, то стає очевидним той факт, що, принаймні, одне з цих трьох вимірювань не вірно.

Наступним кроком у цій ситуації повинна бути перевірка точності роботи лічильника пари. Для цього порівнюють роботу парового лічильника з роботою лічильника живильної води (якщо такий є) або з величиною

витрати палива, помноженої на виміряну ефективність горіння. Якщо ці перевірки показують, що лічильник пари працює точно, то споживання пари теплообмінниками і (або) пароінжекторами визначено вірно.

Проводячи аудит цієї системи, ми можемо використовувати наступні співвідношення балансу маси для перехресної перевірки оцінок енергетичних потоків.

Вироблена пара (кг) = Підживлення котла (кг) - Продувка (кг);

Постачання котла (кг) = Поворотний конденсат (кг)+Холодна живильна вода (кг) -Миттєві втрати конденсатовідводника (кг);

Вироблена пара (кг) = Виробниче устаткування, Теплообмінники (кг) +Виробниче устаткування, Впорскування пари (кг)+Витік пари (кг);

Холодна підживлювальна вода (кг) = Виробниче устаткування, Впорскування пари (кг) +Витік пари (кг)+Миттєві втрати (кг) + Продувка (кг)

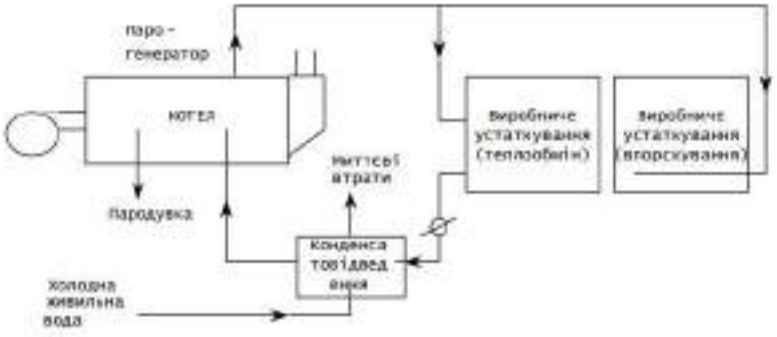


Рисунок 1 – Діаграма потоків пари та води в системі парогенерації та утилізації

Наступний етап – порівняння кількості спожитого інжекторами пари з кількістю свіжої живильної води, якщо ця величина виміряна. Нам відомо, що кількість живильної води дорівнює кількості пари, спожитої інжекторами плюс продувка, витоки і миттєві втрати. Величину продувки котла визначити відносно просто, виходячи з тиску котла, діаметра продувної труби, тривалості і частоти продувок. Аналогічно, існують інші способи підрахунку витоків пари і миттєвих втрат пари, які можна використовувати після дослідження системи пароросподілу. За умови, що кількість пари, спожитої пароінжекторами є суттєвою, вона може бути підрахована, і таким чином можна визначити розмір споживання пари як теплообмінниками, так і пароінжекторами.

в. Ефективність використання енергії. Потужність освітлення і досягнута освітленість.

На рисунку 2 показано, як вимірювання сили світла може бути використане для оцінювання електричного навантаження освітлювального устаткування.

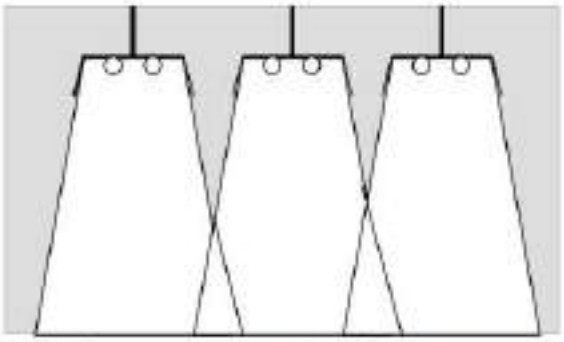


Рисунок 2 – Схема розташування освітлювального обладнання для оцінювання електричного навантаження

- *Завод освітлюється флуоресцентними лампами з оціненою встановленою потужністю 53 кВт.*
- *З використанням фотометричних даних, отриманих від виробників ламп, а також з урахуванням виміряних розмірів будинку, кольору підлоги, даху і стін, енергоаудитор розраховує очікувану освітленість на рівні 300 люкс.*
- *Аудитор вимірює досягнуті рівні освітленості і знаходить їх рівними діапазону від 180 люкс до 380 люкс, у середньому 280 люкс.*
- *Отже, вимірювана величина підтримує оцінку аудитора, дану на основі встановленої потужності освітлювального устаткування.*

г. Порівняння з показниками роботи.

Цей метод перехресної перевірки передбачає порівняння виміряного енергоаудитором питомого споживання енергії з найкращими показниками у відповідній галузі. У табл. 1 приведені приклади типових

показників роботи, за допомогою яких може бути визначена кількість використаної енергії. Ці показники визначають споживання енергії як "високе", "низьке", "дуже низьке". Вони також можуть використовуватися в перехресній перевірці енергетичних даних як індикатори швидкого реагування, коли кількість енергії різко збільшується або зменшується.

Таблиця 1. Приклади показників роботи

Споживання електроенергії	Типовий показник роботи
Устаткування освітлення	*кВт год/м^2 /рік*
Устаткування опалення приміщень	*ГДж/м^2 /рік*
Пральня	*кг пари/кг прання*
Устаткування виробництва паперу	*ГДж/т паперу*

Для головних споживачів енергії – виробничих процесів – показники роботи часто встановлюються індивідуально для різних стадій.

Лекція 6. ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ.

1. Побудова та аналіз характеристик режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Режими споживання ПЕР характеризуються графіками зміни споживання цих ресурсів протягом доби, місяця, року…, а також показниками цих графіків: коефіцієнти форми, завантаження, попиту, використання. Завдяки цим показникам можна побачити наскільки використання ПЕР є економічним і визначити інші показники, такі як споживана енергія, середня потужність навантаження, добові (місячні, річні) витрати води, газу, мазуту.

На цьому етапі ЕА необхідно, виходячи з отриманих даних про об'єкт енергетичного аудиту, побудувати необхідні графіки використання ПЕР а також порахувати відповідні їм показники. Далі потрібно здійснити аналіз графіків і показників, який допоможе уточнити напрямок енергозбереження на підприємстві: виявити найбільш важливі заходи з енергозбереження а також, можливо, запропонувати додаткові заходи, що не були виявлені під час попереднього аналізу отриманої інформації.

На рис. 1 показано діаграму споживання газу протягом року. Аналіз показує, що споживання газу в зимовий період в десять разів перевищує літнє споживання. Вартість газу, спожитого протягом одного зимового місяця при ціні 2200 грн/м3 перевищує 200000 грн. Тому, з огляду на характеристичну діаграму річного споживання газу на підприємстві, виникає зацікавлення в перевірці ефективності системи опалення, в якій використовується газ.

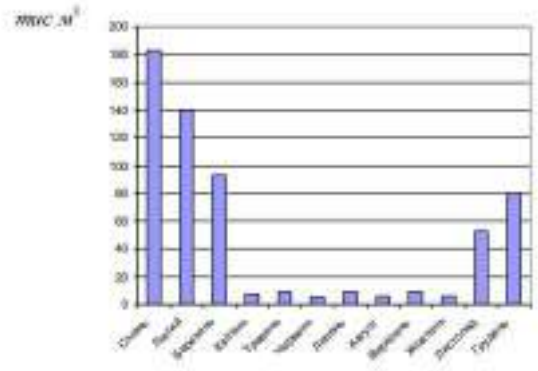


Рисунок 1 – Річне споживання газу підприємством за 2011 рік

Іншим прикладом є, наприклад, корисність побудови добового графіку споживання активної та реактивної енергії підприємством. Такий графік, після розрахунку коефіцієнта його форми, дозволяє більш точно розрахувати втрати енергії в трансформаторах та лініях, по яким передається електрична енергія. В результаті можна порахувати ефективність використання установок компенсації реактивної потужності.

Таким чином, характеристики режимів споживання паливно-енергетичних ресурсів дозволяють покращити реалізувати мету проведення ЕА – пропозицію рекомендацій з енергозбереження на основі техніко-економічного аналізу.

2. Складання та аналіз паливно-енергетичних балансів підприємства.

Паливно-енергетичні баланси підприємства являють собою сукупність показників, що характеризують паливно-енергетичні ресурси, що надходять на підприємство і ті, що використовуються на підприємстві на різних його ланках.

Паливно-енергетичні баланси будуються на основі розрахункових даних або даних оцінювання чи вимірювання обсягів використання ПЕР. Вони є інструментом енергозбереження, оскільки дають можливість наочно побачити величини і пропорції енерговикористання, а, отже, побачити необхідність застосування заходів з енергозбереження на ланках вироблення, розподілу і споживання ПЕР.

В цьому пункті енергоаудиторського дослідження необхідно побудувати паливно енергетичні баланси, які можуть бути у вигляді таблиць, графіків, діаграм, що показують напрямки і характеристики використання ПЕР на підприємстві а також визначити:

- найбільш енергоємні споживачі підприємства;
- величину втрат енергії при її передачі;
- неефективне використання енергії.

Приклад складеного і проаналізованого ПЕБ подано на рис.2. Цехи 9-й і 7-й, за початковими даними, мають практично однакові режими роботи і однакову кількість працівників. Однак з рис. 2. видно, що споживання води в цеху №7 на 25% вище ніж в цеху №9. Таким чином виникає необхідність більш детально дослідити систему водовикористання в цеху №7, в якому пропонується підтримувати економічне використання води за допомогою такого інструменту енергозбереження, як норми використання ПЕР.

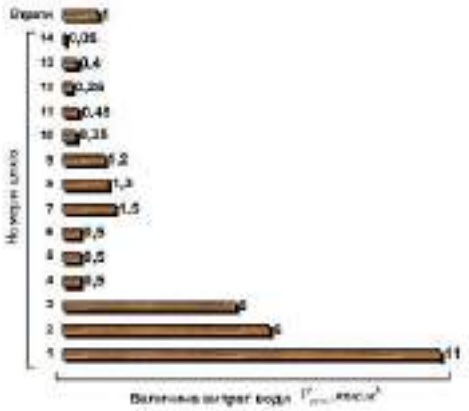


Рисунок 2 – Баланс використання води на підприємстві

Втрати води можуть бути визначені, як різниця між показами лічильників на вводі підприємства і отриманими розрахунковим або технічним шляхом (за допомогою лічильників технічного обліку) значеннями витрат кожним цехом.

3. Визначення питомих норм споживання ПЕР.

Для контролю економного витрачання ПЕР на виробництво корисної дії використовуються норми споживання ПЕР. Ці показники є відносними і можуть бути покращені в ході проведення енергоаудиту.

Норми використання ПЕР розрізняються на різних системи виробництва підприємства. Аудитор після проведених вимірювань розраховує норми і порівнює їх з такими, що використовуються в промисловості.

Енергоаудитор може розрахувати такі норми (ті, що можливо розрахувати за наявних вихідних даних):

1. Індивідуальна (визначається на одиницю продукції для установки, машини, агрегату в конкретних умовах виробництва).

2. Групова середньозважена (визначається на одиницю однойменної продукції для дільниці, цеху, підприємства, галузі).

Ці норми можуть бути:

- технологічні (враховують виробниче споживання ПЕР та їх втрати на виробництво певного виду продукції);
- загальновиробничі (враховують основне та допоміжне споживання ПЕР, а також витрати останніх на виробництво певного виду продукції).

Приклад визначення питомих норм використання ПЕР на підприємстві подано нижче.

Енергоаудитором отримано інформацію про обсяги виробництва продукції та використання ПЕР на виробництво цієї продукції. На підприємстві виробляється така основна продукція: редуктори та насоси. Оскільки на підприємстві випускається декілька видів продукції, то доцільно буде розрахувати загальновиробничу норму використання електроенергії, газу, води на одиницю вартості продукції. Сумарна вартість за 2021 р. випущеної продукції склала ВΣ =11,2 млн. грн. Обсяги річного використання ПЕР:

Електроенергія: $W = 3000000$ кВт·год;
Газ: $V = 600000$ м^3;
Вода: $V = 30000$ м^3;

Загальновиробничі норми використання ПЕР розраховуються за формулою:

$$H = \frac{ПЕР}{B_\Sigma}, \text{од.ПЕР/грн.прод.}$$

де $ПЕР$ – обсяг спожитих паливно-енергетичних ресурсів;
B_Σ – вартість виробленої продукції.

Загальновиробнича по заводу норма використання електроенергії за 2011 р.:

$$H = \frac{3000000}{11200000} = 0{,}27\ кВт \cdot год / грн.прод.$$

Загальновиробнича по заводу норма використання газу за 2021 р.:

$$H = \frac{600000}{11200000} = 0{,}054\ м^3 / грн.прод.$$

Загальновиробнича по заводу норми використання води за 2021 р.:

$$H = \frac{30000}{11200000} = 0{,}0027\ м^3 / грн.прод.$$

Лекція 7. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. СИСТЕМИ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ. Ч.1.

1. Підсистема виробництва стисненого повітря.

Виробництво стисненого повітря - це вкрай неефективний процес. Близько 90% електроенергії, яка витрачається на виробництво стисненого повітря, втрачається у вигляді тепла. Менше 10% витраченої електроенергії перетворюється в корисну. Недосконала конструкція і витоки повітря з трубопроводів розподілення призводять до подальшого зниження ефективності ще на 30-50%). Як правило, на українських підприємствах використовуються розміщені на спільній компресорній станції об'ємні поршневі компресори для централізованої подачі стисненого повітря трубопроводами в будівлі і на окремі виробничі лінії. Продуктивність компресорів контролюється, зазвичай, за допомогою підпружиненого запобіжного клапана. Це призводить до того, що споживання електроенергії компресорами не змінюється навіть тоді, коли відпадає необхідність подачі стисненого повітря на короткий або тривалий період часу. Клапан просто випускає повітря в атмосферу, у той час як компресор продовжує працювати. Існує також проблема чистоти стисненого повітря. На деяких виробництвах (наприклад, у харчовій промисловості) досить актуальною є проблема подачі стисненого повітря без домішок води й олив.

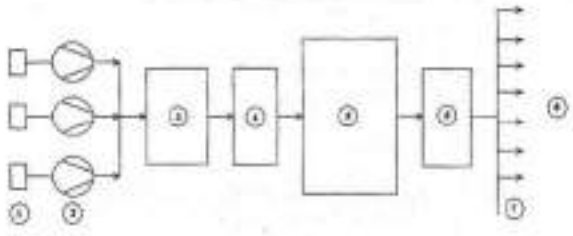


Рисунок 1 – Схема системи стисненого повітря
Елементи системи: 1-всмоктувальний повітряний фільтр; 2- компресори; 3- охолоджувач на вході; 4- мастиловологовідділювач; 5- повітроприймач; 6- додаткова сушарка повітря; 7- розподільча мережа; 8- пневмоінструмент.

Розглянемо деякі можливості енергозбереження для кожної підсистеми.

а. Виробництво стисненого повітря.

1.Керування продуктивністю компресора, якщо навантаження системи змінюється у часі.

2.Запобігання неробочому ходу компресора за тривалого нульового навантаження. По можливості, компресори повинні вимикатись.

3.Регулярне очищення всмоктувального фільтра (спад тиску на кожні 25 мбар через забруднений фільтр знижує ефективність роботи компресора на 2%).

4.Удосконалення системи керування роботою мережі компресорів для досягнення оптимальної пріоритетності процесів вмикання і вимикання.

5.Відбір (відновлення) тепла за наявності теплового навантаження.

Наприклад, можна опалювати виробничі приміщення за рахунок ефективного відбору теплоти від компресорів системи стисненого повітря.

6.Заміна кільцевих клапанів компресорів на прямоточні.

Раніше більшість компресорів випускалися з кільцевими або дисковими клапанами.

Ці клапани мали такі **недоліки:**

- прохідні перерізи були недостатніми, що викликало значні опори проходженню повітря; у результаті знижувалася подача компресора і збільшувалася питома витрата енергії;

- термін служби дискових і кільцевих клапанів не перевищує 3000 годин роботи (прямоточних - 8000 годин).

Багаторічні випробування і накопичений досвід експлуатації показали, що з установленням прямоточних клапанів замість кільцевих (пластинчастих) питома витрата електроенергії на вироблення стисненого повітря знижується в середньому на 13-15%. Річні нераціональні витрати електроенергії компресором внаслідок використання кільцевих клапанів замість прямоточних визначається за формулою:

$$\Delta W = k \cdot Pk \cdot t, \text{ кВт·год},$$

де k=0,13÷0,15-коефіцієнт зниження витрати електроенергії;
Pk- потужність, яку споживає компресор з мережі, кВт

$$Pk = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi}{1000},$$

де U- напруга мережі, В
I- фактичний струм електродвигуна компресора, А;
cosφ- коефіцієнт потужності електродвигуна компресора;
t- тривалість роботи компресора за рік, год;

Усунення витоків стисненого повітря через нещільності елементів системи транспортування повітря та деталей компресора.

У компресорній машині між деталями і вузлами існують зазори та нещільності, через які стиснене повітря може перетікати з області високого тиску в область з меншим тиском. Ці нещільності - наслідок неякісного виготовлення, монтажу, зношеності деталей і несвоєчасного ремонту компресора.

В поршневому компресорі витокам стисненого повітря **сприяють:**

• нещільності всмоктувальних і нагнітальних клапанів, спричинені низькою якістю пластин, утворенням твердого нагару, що заважає клапанові щільно закриватися;

• нещільності поршнів у циліндрі, що спричиняє перетоки повітря;

• завищені зазори і нещільно підігнані поршневі кільця;

• нещільності поршневих клапанів компресора;

• неправильний розподіл тисків між ступенями компресора високого тиску.

У ротаційних компресорах особливо великий вплив на зниження продуктивності спричиняє завищення поздовжніх (торцевих) зазорів і зношеність пластин. Ці причини призводять до різкого зниження продуктивності компресора, яке сягає 30% і вище.

У відцентровому компресорі перетікання повітря з області підвищеного тиску в область зниженого відбувається через завищені зазори лабіринтових ущільнень і нещільності в міжступінчатих охолоджувачах. Ці перетоки стисненого повітря можуть бути істотними, що призводить до зниження продуктивності компресора і збільшення витрат електроенергії на стиснення повітря.

8. Зменшення втрат електроенергії заміною застарілих компресорів на сучасні. Річні втрати електроенергії в компресорах застарілих конструкцій, які мають однакову подачу з компресорами нової конструкції визначають за формулою:

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \cdot t \text{, кВт·год,}$$

де P_1 - потужність електродвигуна компресора старої конструкції, кВт;

P_2 - потужність електродвигуна компресора нової конструкції, кВт;

t - тривалість річної роботи компресора, год/рік;

Приклад 1. На підприємстві є чотири 50-кіловатних компресори, які керуються вручну і працюють протягом 16 годин на добу, 220 діб у році. Система розподілу складається з 4 секцій, причому 2 секції задіяні протягом 16 годин на добу, 2 секції задіяні протягом 8 годин на добу. 40% продуктивності кожної із секцій ідуть на витоки. З 8:00 до 16:00 усі 4 секції активні, система завантажена на 100% (працюють усі 4 компресори). З 16:00 до 24:00 2 секції активні, система завантажена лише на 50%, однак у той же час 2 секції залишаються неактивними, але вони як і раніше "протікають" і це ще 20% навантаження, які витрачаються. Таким чином, сумарне завантаження - 70%. Для забезпечення такої продуктивності необхідно, щоб працювали 3 компресори.

Споживання електроенергії у цьому випадку становитиме:

$$4 \times 50 \text{ кВт} \times 8 \text{ (годин на добу)} \times 220 \text{ (діб у році)} +$$
$$+ 3 \times 50 \text{кВт} \times 8 \text{(годин на добу)} \times 220 \text{(діб у році)} = 616\,000 \text{ кВт·год/рік.}$$

Припустимо тепер, що встановлено два крани, які вручну відтинають неактивні секції. Тоді можна один компресор вимкнути. Економія енергії становитиме:

$$50 \text{ кВт} \times 8 \text{ (годин на добу)} \times 220 \text{ (діб у році)} = 88\,000 \text{ кВт·год.}$$

За середньої вартості електроенергії 1,1 (грн./кВт·год) економія коштів:

$$88\,000 \text{ кВт·год} \times 1{,}1 \text{ грн./ кВт·год} = 96800 \text{ грн.}$$

Вартість двох соленоїдних кранів 12000 грн.

Термін окупності соленоїдних кранів:

$$12000/96800 = 0{,}12 \text{ року.}$$

Додаткова перевага - зменшення потреби в обслуговуванні.

Приклад 2. Нехай є загальне споживання електроенергії компресорної станції - 1200000 кВт·год./рік.

Розглянути можливість використання відновлення тепла для потреб опалення будинку. Опалювальний період складає $t_р$ = 200 днів/рік.

Потенційна можливість відновлення тепла компресора складає П = 80 % витраченої електричної енергії. Інвестиції в додаткове устаткування для опалення будинку (теплообмінник, помпа з електроприводом, систему трубопроводів) сягають К = 350000 грн.

В діючій системі опалення використовуються 2 електричні котли марки «Титан», потужністю $Р_к$ = 60 кВт кожен. Котли працюють в однаковому режимі 24 годин на добу. Дослідження з використанням струмовимірювальних кліщів показало, що коефіцієнт використання котлів складає $k_в$ = 0,5.

Розрахунок: 1. Оцінка спожитої електроенергії котлами за опалювальний період

$$W_к = n_к \cdot P_к \cdot k_в \cdot t_р \cdot t_{доб} = 2 \cdot 60 \cdot 0{,}5 \cdot 200 \cdot 24 = 288000 \text{кВт·год.}$$

тут $n_к$ – кількість котлів, шт.;

$t_{доб}$ – тривалість роботи котла на добу, год.

2. Вартість спожитої електроенергії котлами, якщо тариф на електроенергію $C_W = 1{,}1$ грн./кВт·год

$$B_{Wк} = W_к \cdot C_W = 288000 \cdot 1{,}1 = 316800 \text{ грн.}$$

3. Для побудови системи опалення з відбиранням тепла від компресорів запропоновано використати помпу, потужністю $P_п = 5$ кВт. Вартість енергії, яку вона споживає складає

$$B_{Wп} = P_п \cdot t_р \cdot t_{доб} \cdot C_W = 5 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 1{,}1 = 26400 \text{ грн.}$$

4. Оскільки після використання тепла компресора використання тепла від котлів буде непотрібне, то економія коштів за рік з врахуванням обсягу спожитої енергії помпою модернізованої системи опалення буде:

$$E = B_{Wк} - B_{Wп} = 316800 - 26400 = 290400 \text{ грн.}$$

5. Термін окупності модернізованої системи опалення:

$$T = \frac{K}{E} = \frac{350000}{290400} = 1{,}2 \text{ р.}$$

2. Підсистеми транспортування, розподілення та споживання стисненого повітря.

1. Вимикання окремих секцій мережі за допомогою вентилів. Добре, якщо б це були дистанційно керовані електромагнітами вентилі. Якщо на даний момент часу в якійсь секції не використовується жоден споживач стисненого повітря, то стики і фланці в цій секції все одно протікають. Якщо неактивну секцію вимкнути за допомогою вентиля, то зникнуть і витоки в цій секції.

2. Поділ системи на дві або більшу кількість систем, якщо в одній і тій само системі використовуються різні рівні тиску (наприклад, зменшенням тиску на деяких компресорах до 2 бар можна скоротити витрату енергії на 15%).

3. Усунення витоків стисненого повітря з повітропроводів низького тиску.

Раціональне використання стисненого повітря споживачами набуває не меншого, якщо не більшого, значення для економічної роботи компресора, ніж його номінальна продуктивність.

Багато організацій, які займаються випробуваннями і налагодженням компресорних установок, основну увагу звертають на підвищення продуктивності компресора, залишаючи осторонь питання транспортування і раціонального споживання стисненого повітря. Тому дуже часто робота з налагодження компресора виявляється безрезультативною внаслідок значних втрат при споживанні і транспортуванні стисненого повітря.

Тим часом величезні резерви економії стисненого повітря й електроенергії містяться головним чином у налагодженні роботи повітряних мереж і раціональному використанні цих ресурсів.

Випробування повітряних мереж на щільність показали, що непродуктивні втрати стисненого повітря перевищують 30%.

Необхідно прагнути, щоб в умовах експлуатації повітряного господарства невиробничі втрати стисненого повітря під час його транспортування не перевищували 8 - 10%.

Ефективним засобом боротьби з витоками повітря є систематична - не рідше 1 разу на рік - перевірка повітро проводу на щільність. Відімкнувши повітропровід від компресора, спостерігають (за показами манометра) за падінням тиску протягом визначеного проміжку часу. Знаючи об'єм відімкненого повітропроводу, визначають витік.

Найпростіше визначити витоки за допомогою чутливого повітроміра. Періодично здійснюються заміри витрати стисненого повітря цехом, групою споживачів і окремими споживачами, які приєднані до мережі, але не працюють. У цьому випадку витрата повітря характеризує стан запірних і регулюючих пристроїв, шлангів і повітропроводів.

Розглянемо способи визначення втрат стисненого повітря.

А. За наявності витратомірів на початку і в кінці розподільної мережі втрата повітря:

$$C = C_п - C_к,$$

де $C_п$, $C_к$ – витрата стисненого повітря протягом часу випробувань відповідно на початку і в кінці ділянки, м^3/хв.

Втрата електроенергії визначається шляхом перемноження величини абсолютних витоків на норму витрати електроенергії для вироблення стисненого повітря.

Б. За відсутності приладів або неможливості з їхньою допомогою встановити розмір невиробничих витрат, витоку, досить просто знаходять падіння тиску у відімкненій мережі. Під час випробовувань усі пневматичні приймачі повинні бути підімкнені до мережі, але не повинні працювати, тобто випробувана ділянка повинна знаходиться в робочому стані. Для точнішого визначення витоків бажано мати якомога більший об'єм відімкненої магістралі, тобто по можливості приєднати до випробовуваної ділянки магістралі повітрозбірники, водовідділювачі, ємні ділянки трубопроводів за умови достатньої щільності ємностей, які приєднуються. Випробування на щільність може аналогічним чином здійснюватися для повітропровідних магістралей з вимкненими споживачами.

В. Визначення маси повітря у вимкненій магістралі до і після випробування - це найпростіший спосіб визначення витоків. Внутрішній об'єм випробуваної магістралі попередньо визначається за кресленням або іншим способом, наприклад, заповненням водою. Різниця тисків на початку і наприкінці випробування повинна бути невеликою, щоб умови випробування наближалися до робочих.

Маса повітря, кг, у відімкненій магістралі на початку випробування визначається як:

$$m_1 = \frac{P_1 \cdot V_0}{R \cdot T_1},$$

а наприкінці випробування

$$m_2 = \frac{P_2 \cdot V_0}{R \cdot T_2},$$

де P_1, P_2 – тиск повітря на початку і наприкінці випробування, Па;
T_1, T_2 – температура повітря на початку і наприкінці випробування, К;
V_0 – об'єм вимкненої магістралі, м^3;
R=287 Дж/(кг·град).

Витік у кг/год протягом випробування дорівнює:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{V_0}{R}\left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right),$$

Витік вимірювався за середньої різниці робочого й атмосферного тиску

$$\Delta P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2} - P_0,$$

де P_0 – тиск навколишнього середовища, Па (кг/м^2).

У реальних робочих умовах витік відбувається за різниці тисків $\Delta P = P_1 - P_0$, тому витік, приведений до дійсних робочих умов дорівнює:

$$\Delta m_0 = \frac{V_0 \cdot 60}{R \cdot \tau}\left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta P_{cp}},$$

де τ - тривалість випробувань, хв.
Відсоток витоку визначається за формулою

$$q = \frac{\Delta m_0}{\rho_0 \cdot V} \cdot 100\%,$$

де ρ_0 - густина повітря, кг/м^3
V - годинна витрата повітря в магістралі відімкненими споживачами, м^3/год;

4. Зменшення витоків стисненого повітря через нещільності в арматурі і шлангах.

Витоки стисненого повітря відбуваються головним чином у триходових кранах і через отвори в шлангах та залежать від тиску в мережі і діаметра отвору.

Втрати електроенергії на витоки стисненого повітря орієнтовно визначаються виразом:

$$\Delta W = \alpha \cdot n \cdot w \cdot t, \text{ кВт·год};$$

де α - коефіцієнт витрати повітря через нещільності арматури і шлангів, м^3/хв.;
n - кількість точок, де потрібно усунути витоки стисненого повітря;
w - питома витрата електроенергії на виробництво 1м^3 стисненого повітря, кВт·год/м^3;
t - тривалість знаходження повітропроводу під тиском, хв.

5. Зменшення витоків стисненого повітря з повітропроводів високого тиску.

Для визначення витоків стисненого повітря з повітропроводів високого тиску необхідно наповнити повітряну мережу стисненим повітрям, виміряти його температуру, робочий тиск, зупинити компресор і привести його у теплову рівновагу. Для цього повітряна мережа знаходиться під тиском протягом 2 годин, після чого здійснюються заміри.

Значення відносного витоку визначається за формулою:

$$Y = 100 \cdot (1 - \frac{P_k \cdot (t_n + 273)}{P_n \cdot (t_k + 273)}),$$

де P_n - тиск у трубопроводі на початку досліду, МПа;

P_k – тиск повітря в трубопроводі наприкінці досліду, МПа;

t_n – температура стисненого повітря на початку досліду, ° С;

t_k - температура стисненого повітря наприкінці досліду, ° С.

Труднощі визначення початкової і кінцевої температури стисненого повітря в трубопроводі знижують точність отриманих результатів, але вони в практичних умовах достатньо характеризують стан повітряної мережі.

Щільними вважаються трубопроводи, якщо значення витоку в них не перевищує 5%.

Споживання стисненого повітря.

На багатьох підприємствах у зимовий час замість опалення продувних ліній повітрозбірників і мастилово-логовідділювачів на них залишають не повністю закритими спускні крани, через які стиснене повітря безперервно випускається в атмосферу, запобігаючи їх замерзанню.

З метою осушення стисненого повітря від вологи в цехах, що споживають стиснене повітря, також часто залишають відкритими продувні вентилі від місцевих мастило-вологовідділювачів. Так, наприклад, втрати стисненого повітря через продувки на деяких підприємствах перевищують 10%.

На багатьох підприємствах спускання конденсату з мастиловологовідділювачів здійснюється вручну, відкриванням вентиля замість застосування автоматичних конденсатовідвідників, які значно скорочують непродуктивні втрати стисненого повітря.

Отже, деякі можливості енергозбереження для підсистеми споживання стисненого повітря це:

1. Вимкнення пневмоінструменту, що не використовується. Зниження навантаження легко підрахувати, знаючи потужність, тривалість роботи і кількість устаткування, яке вимикається.

2. Заміна стисненого повітря іншими енергоносіями. Застосування стисненого повітря для роботи приводів різних механізмів зазвичай супроводжується втратами його через виробку ущільнювальних манжет і запірних клапанів. Крім того, влітку волога в стисненому повітрі викликає корозію пневматичних пристроїв, що сприяє збільшенню витоків.

Коефіцієнт корисної дії ручного пневмоінструменту дуже низький, тому доцільно замінити його електроінструментом. У середньому економія електроенергії в цьому випадку складає 7.. 10%.

Якщо за умовами виробництва є доцільною заміна стисненого повітря вентиляторним дуттям, отримується значний економічний ефект.

Річна економія електроенергії, кВт·год:

$$\Delta W = (W_s - W_n) \cdot Q,$$

де W_s – питома витрата електроенергії на вироблення стисненого повітря, кВт·год/м^3;

$W_n = \frac{60 \cdot P}{G}$ - питома витрата електроенергії на вироблення вентиляційного повітря, кВт·год/м^3;

P – потужність електродвигуна, кВт;

G – продуктивність вентилятора, м^3/хв;

Q – річний виробіток стисненого повітря, м^3.

3. Вибір оптимального робочого тиску стисненого повітря.

Нерідко прямі втрати стисненого повітря (витоки в мережах, невиробничі витрати, невпорядкованість повітряного господарства і незадовільна його експлуатація) сягають 20... 25% і в окремих випадках складають половину вироблення стисненого повітря на підприємстві.

Споживання стисненого повітря під тиском вищим від необхідного призводить до непродуктивної витрати електроенергії на його вироблення. Зниження тиску в споживачів може бути здійснене застосуванням редукторів, інжекторів, дроселів і регуляторів тиску.

Річні втрати електричної енергії внаслідок використання стисненого повітря з тиском вищим від номінального визначають за формулою:

$$\Delta W = \frac{0.9 \cdot (L_1 - L_2) \cdot Q \cdot t}{\eta_e \cdot \eta_t \cdot \eta_{ep} \cdot \eta_м \cdot \eta_i} \cdot 10^{-3}$$

де L_1, L_2 – робота стиснення 1м^3 свіжого повітря в залежності від тиску, визначається за характеристикою компресора, кгм/м^2;
Q - подача компресора, м^3/хв;
t - тривалість роботи компресора за рік, год;
$\eta_e \eta_t \eta_{ep}$ -ККД електричної мережі, електродвигуна, передачі(0,8….0,99);
$\eta_м$ - механічний ККД компресора(0,85…0,95);
η_i - індикаторний ККД;

Кінцевий тиск стисненого повітря значною мірою впливає на питому витрату електроенергії. Наприклад, зростання тиску на 0,98 МПа збільшує витрату електроенергії на 6...7%. Крім того необхідно врахувати, що з підвищенням тиску зростають втрати стисненого повітря в пневматичних двигунах і повітропроводах.

Значну економію електроенергії, яка йде на виробництво стисненого повітря, дає застосування повітря зниженого тиску для обдування у ливарному виробництві, у дрібних піскоструминних апаратах тощо.

Застосовуючи з цією метою повітря тиском 0,294 МПа замість звичайних 0,588 МПа, можна знизити витрату електроенергії на 30%. Якщо на підприємствах є лише одна система стисненого повітря, є доцільним застосовування редукування тиску для окремих цехів, які мають можливість працювати на зниженому тиску.

Цей метод менш ефективний ніж система двох тисків, оскільки тиск повітря доводиться збільшувати до високого рівня, а потім редукувати його, але все-таки це дає економію.

4. Підігрівання стисненого повітря перед пневмоприймачами. Підігрівання повітря, яке надходить до споживачів -ефективний засіб зменшення його витрати за рахунок збільшення питомого об'єму і зниження масової витрати обернено пропорційно температурі підігрівання.

Значення економії електроенергії у цьому випадку визначається виразом:

$$\Delta W = 0,22 \cdot G \cdot \Delta t \cdot \omega \cdot \tau, кВт \cdot год,$$

де G - витрата стисненого повітря, м^3/хв.;
Δt - величина підігріву повітря, ^{0}C;
ω - питома витрата електроенергії на виробництво стисненого повітря, кВт·год/м^3;
τ - тривалість роботи компресійної установки за рік, год.

З нагріванням повітря поліпшується робота піскоструминних апаратів, що запобігає забиванню сопел і зменшує простої.

Можливе використання підігрітого повітря і для ручних пневматичних інструментів, але з температурою 90-100 °С, що зменшує витрату повітря на 10% і збільшує працездатність, особливо в зимовий час.

Для підігрівання повітря можуть використовуватися рекуператори, встановлювані в борови нагрівальних печей, а за їх відсутності рекуперативні труби можна розташовувати під подом печі або безпосередньо над нею в спеціальній повітропідігрівній камері.

Велика кількість стисненого повітря споживається в ковальських молотах. Втрати стисненого повітря в повітряних ковальських молотах часто перевищують 40% загальної витрати. Ці втрати викликані збільшеними зазорами між циліндром і поршневими кільцями внаслідок їх швидкої зношуваності і частої поломки; збільшеними зазорами між золотником і втулкою; нещільностями в сальниках; неправильним встановленням золотника і нещільністю в дроселі; нещільностями запірних пристроїв керування в молотах, що не забезпечує відмикання стисненого повітря на час перерви в роботі молота.

Усунення витоків стисненого повітря в розподільних золотниках повинне дати помітний ефект у зменшенні витрати стисненого повітря в ковальських цехах.

5. Використання нових систем стисненого повітря.

У випадку, якщо підприємство вирішує придбати або установити нову систему стисненого повітря необхідно звернути увагу на такі важливі **моменти**:

• необхідно запобігти збільшенню тиску в системі понад 5 бар. Зниження тиску в системі на 1 бар дозволяє знизити витрату електроенергії на 5-10%;

• необхідно передбачити автоматичне відімкнення компресорів за нульового навантаження;

• у компресор повинно всмоктуватися повітря, охолоджене до мінімально можливої температури. Зростання температури всмоктуваного компресором повітря на кожні 4 С збільшує витрату енергії на 1%;

• у сучасних компресорах споживання енергії на неробочому ході складає всього 30% від споживання при повному навантаженні. У типових компресорах застарілих конструкцій ця цифра сягає 90%; швидкість потоку у повітропроводах не повинна перевищувати 6 м/с.

Швидкість потоку 9 м/с буде коштувати на 2% дорожче.

Лекція 8. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. Ч.2.

1. Холодильне устаткування.

Холодильне устаткування споживає значну частину електроенергії в різних галузях промисловості особливо в харчовій. Більшість холодильних установок працює на основі стандартного циклу випаровування - компресії .

Значної економії енергії можна досягти шляхом поліпшення конструкції, покращення експлуатації й обслуговування холодильних установок.

У пошуках економії в холодильних установках перше, що спадає на думку, - це спробувати мінімізувати холодильне навантаження. Зазвичай навантаження складається із суми декількох **складових**:

• втрати при передачі; • втрати на вентиляцію, або пропускання повітря;

• внутрішні джерела тепла (освітлення, вентилятори, пристрої розморожування, люди в холодильній камері, вантажівки, і т.п.);

• охолодження продукції від початкової вищої температури до кінцевої нижчої;

• втрати в розподільній системі (наприклад, погано ізольовані труби).

Проаналізувавши навантаження холодильного устаткування, можна знизити споживання енергії в холодильній установці. Деякі з пов'язаних з цим можливостей економії - це типові маловитратні або зовсім безкоштовні заходи (наприклад, зменшення часу, протягом якого відкриті дверні отвори в холодильних камерах). Типові можливості для економії на компресорах найчастіше пов'язані зі стратегією керування. Дуже важливо уникати роботи при частковому завантаженні, особливо це стосується гвинтових компресорів.

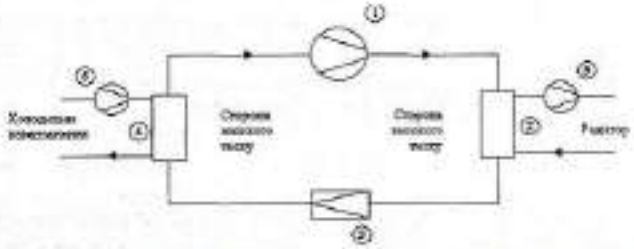


Рисунок 12.1 – Схема простої одноступеневої холодильної системи

Елементи системи: 1- Компресор; 2- Конденсатор; 3- Розширювальний клапан; 4- Випарник; 5- Насос або вентилятор для охолоджування конденсату; 6- Насос або вентилятор для холодної сторони.

Можна локалізувати деяку економію на "гарячій стороні" холодильної машини, тобто біля конденсатора. Іноді можна зменшити температуру конденсації за рахунок поліпшення теплопередачі, наприклад, на практиці часто зустрічаються сильно засмічені або заіржавілі форсунки випарника. Пам'ятайте, що на кожному градусі, на який Ви знижуєте температуру конденсатора, заощаджується 2-5% енергії.

Перелічимо деякі можливості енергозбереження.

1. Зменшення навантаження, що створюється за рахунок охолодження.

2. Зменшення холодильного навантаження шляхом поліпшення термоізоляції холодильних камер і зменшення їхньої внутрішньої вентиляції.

3.Підвищення ефективності холодильної системи шляхом підвищення температури на холодній стороні і зниження на гарячій.

4.Поліпшення розморожувальних систем.

Ефективність обмерзлого випарника вкрай низька.

5.Скорочення часу відкривання дверей і отворів, а також зменшення витоків у холодильних камерах.

Якщо за технологією двері і отвори неминучі, то час, протягом якого вони відкриті, повинен бути зведений до мінімуму. Де тільки можливо використовуйте автоматичні двері або хоча б теплоізолюючі завіси. Оптимізуйте транспортні потоки через холодильну камеру.

6. Автоматичне керування продуктивністю холодильних машин, (наприклад, за допомогою термостата) особливо у випадку, якщо навантаження не є сталим.

7. Зменшення теплових втрат у мережі передачі холодоагенту за рахунок поліпшення термоізоляції.

8. Зменшення кількості тепла, яке віддається в холодильній камері різними об'єктами (помпами, освітленням, присутніми там людьми тощо). Освітлення в холодильній камері повинно бути вимкнуто, краще застосовувати "холодні" джерела світла.

9. Контроль за теплопередачею на випарнику і конден саторі. 3. Холодильна система повинна бути включена в сферу інтересів енергетичного менеджера на підприємстві. Рекомендується оснащувати холодильну систему постійно діючими вимірювальними приладами. Кількість і частота вимірювань буде залежати від того, наскільки значним є споживання енергії холодильної системи в порівнянні з іншими системами й установками підприємства. Потрібно бути уважним, щоб не створити витоку холодоагентів під час вимірювання тиску.

2. Вентиляційні системи.

Споживання енергії вентиляційними системами (рис. 1) становить значну частину від загального споживання на підприємстві.

Як правило, ці системи є елементами технологічних установок і засобом забезпечення у виробничих приміщеннях необхідних санітарно-гігієнічних умов. У той само час, ці системи значно впливають на споживання енергії системами опалення й охолодження будинків.

Можна припустити, що в зв'язку з прийняттям нових стандартів з кліматичних умов всередині виробничих та інших будівель, у майбутньому буде встановлюватися все більша кількість вентиляційних систем.

Споживання енергії працюючими вентиляторами дуже просто оцінити виходячи з часу їхнього наробітку. Однак загальне споживання енергії з урахуванням нагрівання повітряного потоку може бути істотним.

Як приклад можна сказати, що споживання електроенергії постійно діючою вентиляційною установкою з потоком 1 кг/с (або 3000 м^3 /год) становить близько 20000 кВт·тод/рік. Якщо врахувати споживання енергії на нагрівання повітря в холодні дні, її загальне споживання може збільшитися в 5 разів (близько 100000 кВттод/рік). До початку робіт з енергозбереження слід розгляд-нути наявне навантаження. Потрібно з'ясувати, яка реальна потреба у вентиляції, чи змінилася ця потреба з того моменту, коли конструювалася і споруджувалася вентиляційна система. Потім доцільно визначити параметри основного навантаження: теплове навантаження, вологість, а також наявність викидів різних газів у вентильованому приміщенні, присутність у повітрі твердих часток і т. ін.

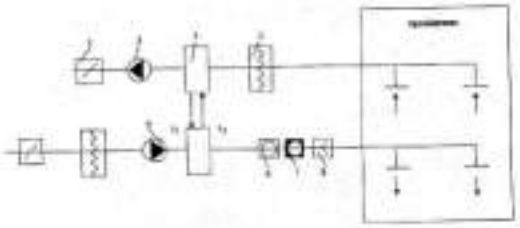


Рисунок 1 – Схематичне зображення системи вентиляції

Елементи системи: 1-шибер; 2-фільтр; 3-витяжний вентилятор; 4-нагнітальний вентилятор; 5-теплообмінник; 6-охолоджувальна поверхня; 7-нагрівальна поверхня; 8-зволожувач.

Необхідно також з'ясувати розподіл цих параметрів у часі протягом дня, тижня, року. Занадто часто системи вентиляції працюють з надлишковою продуктивністю.

Розглянемо типові можливості енергозбереження.

1. Модифікація основного і допоміжного електроустаткування. Іноді теплове навантаження або, наприклад, деякі гази, що генеруються одним якимось пристроєм у вентильованій зоні вимагають майже всієї продуктивності вентиляційної системи. Модифікуючи такий пристрій або процес, можна одержати деякі переваги як в ефективності самого технологічного процесу, так і виграти за рахунок підвищення ефективності вентиляції. Як приклад можна навести заміну застарілих освітлювальних систем у приміщеннях з кондиціонуванням. Економія, скажемо, 100000 кВттод за рік у самій освітлювальній системі призведе крім того до додаткової економії близько 30000 кВттод на рік на установці кондиціонування повітря. Потік повітря від системи вентиляції може бути також зменшений.

2.Скорочення тривалості відчиненого стану дверей. Під час охолодження або обігрівання будинків за допомогою вентиляційних систем великі втрати можуть виникнути внаслідок інфільтрації зовнішнього повітря. Використовуючи можливості створити закриті перехідні камери на дверях, застосовуючи пластикові завіси або інші пристрої, можна ці втрати значно скоротити.

3.Блокування вентиляторів повітряних завіс з механізмом відкривання воріт. У випадку блокування вентиляторів теплових завіс із механізмами відкривання воріт теплова завіса вмикається автоматично і працює протягом відкритого стану воріт, а після закривання їх завіса вимикається.

Річна економія електроенергії може бути визначена за формулою:

$$\Delta W_e = \sum_{i=1}^{m} P_i \cdot n_{об} \cdot (T - \tau),$$

де P_i - потужність електродвигуна і-ої теплової завіси, кВт;

$n_{об}$ - тривалість опалювального періоду, діб;

m- кількість теплових завіс;

T - кількість годин роботи цеху, год.(одиозмінна робота-8год, двозмінна-16год.);

τ - тривалість відкритого стану воріт за добу, год.

Очікувана економія від заходу - до 20%.

4. Зменшення витоків з вентиляційних повітроводів.

Витоки повітря можуть бути особливо значними з неякісно склепаних повітроводів прямокутного перерізу. Вони збільшують втрати і тим самим збільшують навантаження на вентилятори.

5. Відключення вентиляторів у позаробочий нічний час. Частину вентиляторів також варто відключати на час перезмінювання і обідніх перерв. Очікувана економія від заходу – до 20%.

6.Узгодження існуючої продуктивності вентиляторів з фактичним навантаженням.

7.Автоматизація керування продуктивністю. Відповідне керування повинне залежати від часу доби і реалізується за допомогою простого годинникового механізму (таймера).

8.Автоматизація керування вентиляційними системами з урахуванням температури зовнішнього повітря.

9.Використання місцевих витяжних пристроїв. Захід дозволяє зменшити навантаження на основну вентиляційну систему. У багатьох виробничих компаніях рекомендується, щоб одна центральна вентиляційна система була доповнена декількома місцевими витяжними пристроями.

10. Удосконалювання конструкції вентиляційної системи.

Для поліпшення ефективності вентиляційної системи необхідно звернути увагу на наступні **аспекти:**

• Потрібно розглянути втрати тиску в системі. Втрати на тертя повітря у повітропроводі зменшаться на 75% збільшенням його внутрішнього діаметра на 50%. Уникайте швидкості повітря понад 10 м/с. У випадку, коли продуктивність змінюють шляхом дроселювання деякої заслінки, потрібно розглянути інші способи керування продуктивністю, наприклад: увімкнення/вимкнення одного чи кількох невеликих вентиляторів, які працюють паралельно, керування швидкістю потоку повітря - неперервно чи дискретно.

• Якщо продуктивність занадто висока, необхідно змінити передавальне число ремінного приводу вентиляторів.

Пам'ятайте, що подвоєння швидкості потоку:

- подвоїть продуктивність, - збільшить тиск у 4 рази,
- збільшить споживання енергії в 8 разів.

• Необхідно уникати втрат у системі внаслідок неправильної установки вентиляторів.

• Потрібно замінити електродвигуни, з великою тривалістю роботи впродовж року енергоефективнішими двигунами.

• Необхідно досліджувати, чи немає значних втрат у ремінних приводах вентиляторів і в підшипниках.

11. Застосування сучасних типів вентиляторів.

Заміна застарілих типів вентиляторів з низьким ККД на сучасні **дозволить** заощадити енергію:

$$\Delta W = \frac{H \cdot G \cdot (\eta_2 - \eta_1) \cdot \tau}{10^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_e \cdot \eta_м}, \text{ кВт·год}$$

де H – напір вентилятора, м.вод.ст.;
G – подача вентилятора, м^3/год.;
η_2, η_1 - ККД застарілого і сучасного вентиляторів;
$\eta_e, \eta_м$ - ККД електродвигуна і мережі відповідно;
τ - тривалість роботи вентилятора протягом року, год.

12. Застосування багатошвидкісних електродвигунів замість регулювання шиберами в напірній лінії вентиляційної установки (економія 20...30%).

13. Регулювання подачі повітродувок шиберами на всмоктуванні замість регулювання на нагнітанні (економія 15%).

14. Регулювання витяжної вентиляції шиберами на робочих місцях замість регулювання на нагнітанні (економія до 10%).

15. Блокування індивідуальних витяжних систем з робочими механізмами (економія до 25...30%). Для того, щоб ефективно використовувати вентиляційну систему, необхідно її якісно і систематично обслуговувати.

Наприклад, дуже важлива хоч і часто недооцінювана операція - очищення повітряних фільтрів. Вентиляційні системи повинні бути включені в загальну систему енергетичного менеджменту підприємства.

3. Насосні установки.

Помпи - це пристрої, які входять до складу більшості нагрівальних або охолоджувальних систем, а також систем водопостачання, передачі різних рідин і суспензій (рис.2). Якщо керування помпами організовано неправильно, вони можуть серйозно збільшувати споживання енергії. Якщо помпи працюють без навантаження, то вони також істотно впливають на загальне споживання енергії.

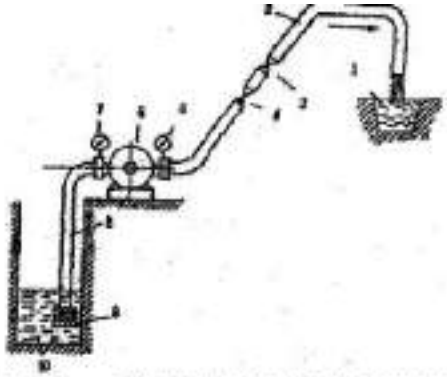


Рисунок – 2 . Гідравлічна схема помпово установки
Елементи системи: 1 – водоприймальний бассейн; 2 – нагнітальний трубопровід; 3 – зворотний клапан; 4 – засувка; 5 – манометр; 6 – помпа; 7 – вакуумметр; 8- всмоктувальний трубопровід; 9- всмоктувальний клапан; 10 – водозбірник.

Для опрацювання карти енергоспоживання підприємства споживання електроенергії помпами досить просто оцінити, ґрунтуючись на тривалості роботи T_p їхніх двигунів, продуктивності, повному напорі і густині рідини. При цьому зручно користуватися такою формулою:

$$W = \frac{QHy}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ кВт·год},$$

де Q - продуктивність, або дійсна подача помпи, м³/год.
H - повний напір з урахуванням висоти всмоктування, м.
y - густина рідини, кг/м³;
η_1, η_2, η_3 - ККД передачі, помпи, двигуна.
Для випадку водопостачання ($y = 1000$кг/м³) цей вираз спроститься

$$W = 2{,}72 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{QH}{\eta_2 \eta_3} \cdot T_p.$$

У ході вивчення чинного навантаження необхідно оцінити реальну потребу в перекачуванні рідини помпами, встановити, чи змінилося навантаження після того, як була спроектована і встановлена помпова система. Необхідно досліджувати графік зміни цього навантаження протягом дня, тижня, року. Дуже часто помпові системи експлуатуються з надмірною продуктивністю протягом тривалого періоду часу або навпаки, вони довго працюють недовантаженими.

Таким чином, ґрунтуючись на реальному навантаженні помпи, необхідно відповідним чином керувати її продуктивністю. Часто керування продуктивністю ґрунтується на принципі часової залежності. Це досягається шляхом ручного керування або автоматично. У будь-якому випадку керування швидкістю потоку для підтримання визначеного рівня тиску, а отже, продуктивності може призвести до значної економії.

Розглянемо типові можливості енергозбереження.

1. Заміна малопродуктивних помп продуктивнішими з високим ККД.

Для систем водопостачання економія електроенергії складе:

$$\Delta W = 2{,}72 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{QHT_p(\eta_{2H} - \eta_{2C})}{\eta_3 \cdot \eta_{2H} \cdot \eta_{2C}}, \text{ кВт·год},$$

де η_3-ККД двигуна, а η_{2H} і η_{2C}-ККД нової і старої помп, а решта позначень – як у попередній формулі.

2.Забезпечення максимального завантаження помп. Найменша питома витрата електроенергії має місце у випадку роботи помпи з максимальною подачею.

3.Заміна помпи відповідно до характеристики трубопроводу.

4. Підвищення ККД помп до їхніх паспортних значень встановленням нових ущільнень і ретельного балансування робочих коліс.

5.Установка робочого колеса безпосередньо на валу двигуна.

6. Поліпшення конструкції системи шляхом збільшення діаметра трубопроводу. Втрати внаслідок тертя рідини в трубах можна зменшити на 75% збільшенням діаметра труби на 50%.

7.Керування продуктивністю. Наприклад, можна використовувати кілька невеликих помп, які працюють паралельно. Керування швидкістю потоку може бути неперервне або ступінчасте. У випадку, якщо продуктивність керується дросельною заслінкою, розгляньте інші способи.

8.Якщо продуктивність помпової системи завищена, необхідно змінити передавальне число ремінної, або іншої передачі.

Не слід забувати, що подвоєння діаметра:

• збільшить продуктивність у 8 разів,

• підвищує тиск в 4 рази,

збільшить споживану потужність у 32 рази.

9.Зменшення кавітації.

Для цього:

• розміщуйте помпу якнайнижче або рідину якнайвище,

• у простих замкнутих системах, наприклад, бойлерах, розміщуйте діафрагмовий розширювальний бак як перший елемент системи, а потім помпу у лінії теплорозподільної системи,

• виконуйте забірні патрубки якомога коротшими з найменшою кількістю з'єднань у них, щоб уникнути перепадів тиску,

• за можливості збільшуйте діаметр забірних патрубків,

• знижуйте температуру рідини.

10.Встановлення акумулятора води на висоті необхідного напору з пристроєм автоматичного вимикання помпового агрегату у випадку заповнення акумулятора водою. Це врахує ту обставину, що потреба в максимальній потужності на практиці буває короткочасною.

11.Якісне і систематичне обслуговування. Помпова система повинна бути включена в загальну систему енергетичного менеджменту підприємства. Загальний ККД відцентрових помп, обумовлений гідравлічними, об'ємними і механічними втратами, зазвичай складає для помп низького напору 0,4...0,7, середнього напору - 0,5...0,7, високого напору - 0,6...0,8. Помпи нових конструкцій мають ККД, який дорівнює 0,9. Значення ККД поршневих помп коливається від 0,6 до 0,9 у залежності від розмірів, типів, стану помп і передачі. 12. Зниження питомої витрати енергії на подачу води через зменшення напору в результаті усунення зайвої арматури і непотрібних поворотів трубопроводу або зниження їхнього опору згладжуванням гострих кутів.

Втрата напору в трубопроводі на прямій ділянці:

$$\Delta H = \frac{0{,}083 \cdot \lambda \cdot L \cdot Q^2}{d^5},$$

Для місцевих опорів:

$$\Delta H = \frac{0{,}083 \cdot f \cdot Q^2}{d^4},$$

де λ - коефіцієнт тертя води об стінки труб(0,02….0,03);

L - довжина ділянки трубопроводу, м;

Q - дійсна витрата, м^3/год;

d - діаметр трубопроводу, м;

f - коефіцієнт місцевого опору, рівний для засувок 0,5, для закругленого на 90^0 – 0,3, для зворотного клапана – 5,0.

13. Впровадження оборотного водопостачання.

Це може скоротити витрати первинної води вдвічі і забезпечити економію електроенергії на 15-20%. Річна економія електроенергії від впровадження заходів щодо скорочення витрати води

$$\Delta W = W_{пит}(Q_1 - Q_2) \cdot T \cdot 10^{-3}, \text{ кВт·год},$$

де $W_{пит}$ - питома витрата електроенергії, кВт·год/м^3;

$Q_1 - Q_2$ - витрати води до впровадження заходів і після їх впровадження, м^3/год.

Лекція 9. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. Ч.3.

1. Електропривод.

Електропривод - основний постачальник механічної енергії на промислових підприємствах, а також основний споживач електричної енергії.

В роботі з електродвигунами головне - правильно "господарювати". Якщо електродвигуни перевантажені, то вони швидко виходять з ладу, якщо вони недовантажені, то працюють неефективно, знижується їх ККД і cosφ.

За результатами енергоаудиту принципово можливі **два підходи** до підвищення енергоефективності електропривода:

• заміна недовантажених двигунів на двигуни меншої потужності;

• застосування регульованого електропривода.

Зі зміною технологічного процесу можливе недовантаження асинхронних електродвигунів. Якщо підвищення корисного навантаження робочої машини протягом тривалого періоду часу неможливе, а електродвигун має значний невикористаний резерв потужності, доцільна постановка питання про заміну недовантаженого електродвигуна.

Заміна дозволить збільшити ступінь використання електродвигуна, збільшити коефіцієнт навантаження і зменшити споживання реактивної і активної енергії.

Заміна рекомендується, якщо середній коефіцієнт навантаження менший 40...45%. Якщо навантаження лежить у межах 45...70%, то доцільність заміни вирішується техніко-економічним обгрунтуванням.

Втрати в системі електропостачання й електродвигуні у випадку його заміни повинні знижуватися. Доцільність вилучення надлишкової потужності асинхронних електродвигунів визначається наступним виразом:

$$(P_1 + K_K \cdot Q_1) - (P_2 + K_K \cdot Q_2) > 0,$$

де P_1 і Q_1 – втрати активної потужності і реактивна потужність двигуна, який замінюється, за існуючого навантаження;

P_2 і Q_2 – втрати активної потужності і реактивна потужність двигуна, яким замінюють наявний, при тому самому навантаженні;

K – коефіцієнт підвищення втрат (можна приймати 0,05...0,10; більші значення стосуються часу максимуму енергосистеми).

Сумарні втрати активної потужності можуть бути визначені за формулою [4]:

$$P_{сум} = Q_{НХ} \cdot K_E (1 - K_з^2) + K_з^2 \cdot Q_Н \cdot K_E + \Delta P_{НХ} + K_з^2 \cdot \Delta P_{нН},$$

де $Q_{НХ} = \sqrt{3} \cdot U_Н \cdot I_{НХ}$ - реактивна потужність, яка споживається електродвигуном з мережі в режимі неробочого ходу, квар;

$I_{НХ}$ - струм неробочого ходу електродвигуна, А;

$U_Н$ - номінальна напруга електродвигуна, В;

$K_з = \frac{P}{P_N}$ - коефіцієнт завантаження електродвигуна;

P - середнє навантаження електродвигуна, кВт;

$P_н$ - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$Q_Н = \frac{P_Н}{\eta_н} \cdot tg\phi_Н$ - реактивна потужність електродвигуна за номінального навантаження, квар;

$\eta_н$ - ККД електродвигуна при повному навантаженні;

$tg\phi_Н$ - номінальний коефіцієнт потужності електродвигуна;

K_E - коефіцієнт підвищення втрат;

$\Delta P_{нх} = P_Н \left(\frac{1-\eta_н}{\eta_н}\right)\left(\frac{\nu}{1+\nu}\right)$ - втрати активної потужності в режимі неробочого ходу електродвигуна, кВт.

$\Delta P_{нН} = P_Н \left(\frac{1-\eta_н}{\eta_н}\right)\left(\frac{\nu}{1+\nu}\right)$ - приріст втрат активної потужності в електродвигуні за 100%навантаження,кВт;

$\nu = \frac{\Delta P_{нх}}{\Delta P_{нН}} = \frac{\Delta P_{нх}\%}{(1-\eta_н,\%) - (\Delta P_{нх},\%)}$ - розрахунковий коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна;

$\Delta P_{нх},\%$ - активні втрати неробочого ходу у відсотках від активної потужності, що споживається двигуном за 100% завантаження.

Доцільність застосування регульованого електропривода **визначається** характером механічного, а отже і електричного навантаження:

• зі змінним кутовим моментом - для помп, вентиляторів, транспортерів, конвеєрів, відцентрових компресорів, нагнітачів;

• зі сталим кутовим моментом - для змішувачів, перемішувачів, млинів і т.д.;

• зі сталою потужністю - для електроінструментів.

Зазвичай системи керування швидкістю електродвигунів застосовують для оптимізації технологічного керування, поліпшення якості продукту, який виробляється, та з метою підвищення продуктивності праці. На практиці найкращі можливості для економії енергії існують тоді, коли помпи або вентилятори протягом тривалого часу працюють у режимі часткового навантаження.

Вивчення можливостей енерозбереження повинне охоплювати дослідження таких чинників:

•загальна тривалість роботи (у годинах);

•зміна навантаження в часі;

•вартість електроенергії;

•робочі технологічні цикли.

Відмітимо однак, що оцінювати лише чисто енергетичний ефект від застосування керованих електроприводів принципово невірно. У сфері технології ефект виявляється істотно вищим, ніж просто економія електроенергії.

Мета застосування будь-яких електроприводів зі змінюваною (керованою) швидкістю - це підтримка швидкості двигуна якнайближчою до оптимальної або заданої, що диктується вимогами технологічного процесу або необхідністю зниження питомої витрати електроенергії.

Оцінювальні значення економії електроенергії у випадку заміни нерегульованого електропривода регульованим такі:

• для вентиляційних систем - 50%;

• для компресорів - 40-50%;

• для повітродувок і вентиляторів - 30%;

• для помп-25%.

Загальні рекомендації з енергозбереження, що стосуються будь-яких електродвигунів.

1. Електродвигуни повинні бути ретельно підібрані відповідно до потреб навантаження.

2. Повинен бути встановлений ефективний захист від ушкодження крильчаток вентиляторів на осях електродвигунів.

3. Необхідно поліпшувати елементи трансмісії.

4. Необхідно розглянути можливість встановлення приводів зі змінною швидкістю, особливо там, де двигуни значну частину часу працюють з неповним навантаженням.

5. Необхідно використовувати лише енергоефек-тивні електродвигуни, оскільки річна вартість річного споживання енергії електродвигунами може в кілька разів перевищувати вартість самих електродвигунів.

6. Необхідно відмовитися від експлуатації несправних або погано відремонтованих електродвигунів. Якщо ремонт електродвигунів технічно неминучий і економічно доцільний, то слід проводити його без зміни номінальних даних електродвигунів.

7. Електродвигуни верстатів, що працюють без потреби, повинні легко вимикатися. Необхідно передбачати обмеження неробочого ходу.

Втрати електроенергії за відсутності вимикачів неробочого ходу одного верстата визначаються за формулою:

$$\Delta W = \zeta \cdot T_0 \cdot \left[(1-\lambda) \cdot d \cdot \sum P_{н.д} \right], \text{кВт·год},$$

де T_0 – річний фонд робочого часу, год;

ζ - середня відносна тривалість увімкненого стану двигунів верстата до встановлення автоматичних вимикачів;

λ - середня відносна тривалість корисної роботи верстата за часом включення;

$d = \frac{P_{хх}}{P_н}$ - середнє значення споживаної потужності на неробочий хід головного двигуна верстата, віднесене до номінальної потужності двигуна;

$\sum P_{н.д}$ - сумарна потужність двигунів верстата, кВт.

Застосування обмежувачів неробочого ходу на верстатах, які мають міжопераційний час (тривалість неробочого ходу) понад 10 с, завжди призводить до економії електроенергії.

За допомогою діаграми (рис. 1) можна визначити розмір економії, який досягається, і встановити економічну доцільність застосування обмежувачів холостого ходу.

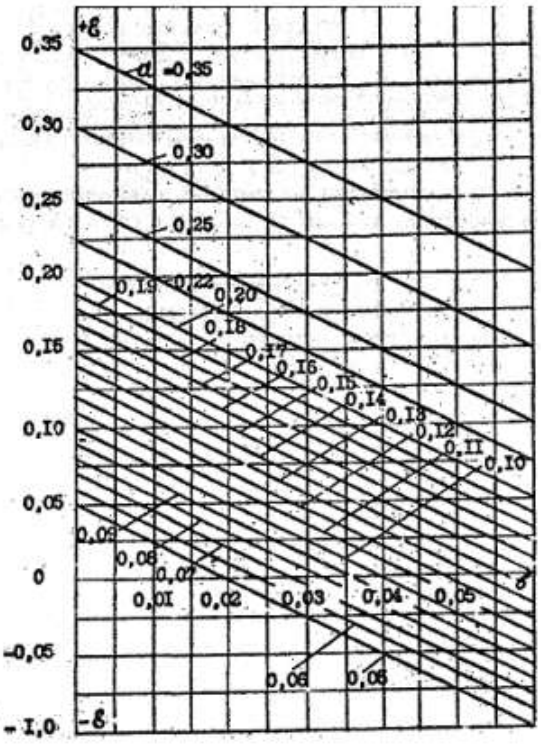


Рис. 1 Діаграма визначення ефективності обмежувачів неробочого ходу

Для цього визначаються параметри діаграми:

$$a = \frac{P_{нх}}{P_н}; \qquad b = \frac{1}{4T},$$

де $P_{нх}$ - потужність неробочого ходу, кВт;

$P_н$ - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

T – тривалість між операційного часу, с.

За параметрами на діаграмі знаходимо показник ефективності ε, за яким визначається економія електроенергії електропривода

$$W = \frac{\varepsilon \cdot P_н \cdot T \cdot n_ц}{3600}, \text{ кВт·год},$$

де $n_ц$ - число циклів роботи верстата.

Застосовуючи обмежувачі неробочого ходу необхідно враховувати можливість перегрівання обмоток електродвигунів.

Лекція 10. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. Ч.4.

1. Освітлювальні установки.

Впровадження нових прогресивних джерел світла, застосування світильників з високим ККД, впровадження нових конструкцій відбиваючої арматури і раціональних схем освітлення дозволяють у багатьох випадках різко підвищити ефективність електроосвітлювальних установок, збільшити освітленість робочих місць, досягти економії електроенергії.

На даний час значного поширення набули газорозрядні лампи, які економічніші ніж лампи розжарення. Світлова віддача вітчизняних люмінесцентних ламп лежить в межах

$$\eta_л = \Phi / P_л = 42...62 \text{ лм/Вт}$$

і значно перевершує світлову віддачу ламп розжарення, яка становить $\eta_л$ =5...20 лм/Вт.

де Φ — світловий потік, лм,

$P_н$ - номінальна потужність, Вт.

Світлова віддача деяких ламп за даними Асоціації інженерів-електроенергетиків США наведена в табл. 1.

Річні втрати електроенергії від використання ламп розжарення замість люмінесцентних складають:

$$\Delta W = P_р \cdot \left(1 - \frac{\eta_р}{\eta_л}\right) \cdot \tau_{ос}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $P_р$ - сумарна потужність ламп розжарення, кВт;

$\eta_р$, $\eta_л$ - світлова віддача ламп розжарення і люмінесцентних відповідно, лм/Вт;

$\tau_{ос}$ - число годин використання максимуму освітлювального навантаження, год.

Таблиця 1. Світлова віддача ламп

№	Тип лампи	$\eta_л$, лм/Вт
1	Лампа розжарення	5 ÷ 20
2	Вольфрамово-галоїдна лампа	15 ÷ 25
3	Галогенна інфрачервона відбиваюча лампа	20 ÷ 30
4	Ртутна лампа	25 ÷ 55
5	Компактна люмінесцентна лампа (5-26Вт)	20 ÷ 55
6	Компактна люмінесцентна лампа (27-55Вт)	50 ÷ 80
7	Люмінесцентна лампа	65 ÷ 100
8	Метало-галогенна лампа	45 ÷ 100
9	Компактна метало-галогенна лампа	45 ÷ 80

Річне число годин використання максимуму освітлювального навантаження ос τ для деяких споживачів наведене в табл. 2.

Таблиця 2. Число годин використання максимуму освітлювального навантаження для деяких споживачів.

Таблиця 2. Число годин використання максимуму освітлювального навантаження для деяких споживачів

Споживачі освітлювального навантаження	$\tau_{ос}$, год
Внутрішнє освітлення	
Робоче освітлення (для місцевості із широтою 56°):	
одномінна робота	250
двомінна робота	1850
тризмінна робота	4000
Аварійне загальне освітлення	4800
Зовнішнє освітлення	
Робоче освітлення заводських територій, що вимкається	
- до 24 год	1750
- до 1 год	2450
- на всю ніч	3600

За завищеної потужності освітлювальних установок річні втрати електроенергії визначаються за виразом:

$$\Delta W = (P_ф - P) \cdot \tau_{эс}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де *Рф* - фактична потужність ламп, кВт,

Р - потужність ламп, визначена проектом або необхідна за нормами освітлення, кВт.

У випадку вмикання джерел світла в денний час через порушення графіків вмикання і вимикання освітлення втрати електроенергії можна обчислити за встановленою потужністю освітлення даного цеху або ділянки і за тривалістю увімкненого стану освітлення в денний час:

$$\Delta W = P \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де Р - потужність усіх ламп, ввімкнених у денний час, кВт,

τ - тривалість увімкненого стану освітлення в денний час, год.

Забруднення світильників речовинами, що знаходяться в повітрі виробничих приміщень, призводить до різкого зниження їх ККД. Тому постійне підтримування світильників чистими має велике значення для раціонального використання електроенергії в електроосвітлювальних установках.

Очищення від бруду ламп і світильників у приміщеннях зі значним виділенням пилу і/або диму повинні проводитися двічі на місяць, в інших приміщеннях - один раз на три місяці, в установках зовнішнього освітлення - один раз на чотири місяці.

При проектуванні систем освітлення використовують різні методи розрахунку, в т.ч.:

• метод послідовних наближень - сучасний метод проектування, досить точний, але трудомісткий;

• метод світлового потоку; він досить простий, виходить із припущення однакової освітленості по всій площі, тому використовується частіше, і відповідно до цього методу кількість необхідних ламп визначається в такий спосіб:

$$N = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot L \cdot K_i},$$

де *Е*— необхідний рівень освітленості на робочому місці, лк (табл. 3);

А - площа приміщення, м ;

Ф - світловий потік у люменах на одну лампу;

L - коефіцієнт втрати світлового потоку;

Кі - коефіцієнт використання.

Таблиця 3. Необхідний рівень освітленості робочих місць об'єктів

№	Об'єкт	Е, лк
1	Офіс	500
2	ВТК	1000
3	Операційна	10000
4	Цех	300
5	Коридор	100
6	Паркувальний майданчик	20

Розглянемо деякі можливості енергозбереження.

1. Облаштування відбивачами простих люмінесцентних світильників, які працюють понад 5000 годин на рік. Це дозволяє збільшити світловий потік до двох разів або за того ж світлового потоку вдвічі скоротити кількість ламп.

2. Заміна ефективнішими джерелами світла звичайних ламп розжарення, що працюють понад 4000 годин на рік. За однакового рівня світлового потоку лампа розжарення споживає електроенергії в 6 разів більше ніж люмінесцентна. Не рекомендується встановлювати лампи розжарення, що працюють понад 3000 годин на рік у холодильниках або інших охолоджуваних приміщеннях.

3. Застосування електронних високочастотних баластів у люмінесцентних системах освітлення, що дозволяють заощаджувати до 30% електроенергії.

4. Використання металогалогенних ламп замість люмінесцентних для систем освітлення, встановлюваних на висоті понад 5 м від рівня освітлюваної поверхні.

5. Встановлення автоматичних вимикачів освітлення, наприклад, з регулюванням у залежності від рівня природної освітленості, в залежності від кількості працівників у приміщенні, у залежності від часу доби тощо.

6. Установка малогабаритних люмінесцентних ламп у коридорах, приймальнях, на сходах.

7. Використання вимикачів для зонного керування декількома джерелами світла (наприклад, у прольотах цехів, тунелях, складах і т.ін.).

Приклад 1. Цех обладнаний 80 люмінесцентними світильниками, що складаються з двох ламп 2х60 Вт і двох ПРА 2х12 Вт. Установивши відбивачі на світильники (вартість відбивачів, зі встановленням - 15 доларів), і видаливши одну лампу, без зменшення рівня світлового потоку можна одержати таку економію електроенергії за рік: 80 світильників х (0,06+0,012) кВт/відбивач х 16 год/день х 220 діб/рік = 20275 кВт·год.

Економія коштів за рік при вартості електроенергії 0.045 $/кВт·год:

20275 кВттод х 0,045 $/кВттод = 912 $.

Вартість додаткових робіт з очищення поверхонь відбивача приблизно складає:

2$/рік х 80=160$/рік.

Чиста економія:

912-160=752 $/рік.

Капіталовкладення:

15$ /відбивач х 80 відбивачів = 1200 $.

Термін окупності

1200/752 = 1,6 року.

2. Електрозварювальні установки.

Зниження питомих витрат електроенергії на зварювання можна забезпечити такими групами **заходів**:

• вибір оптимального способу електрозварювання;

• усунення або скорочення неробочого ходу зварювальних агрегатів;

• удосконалення технології електрозварювання.

У зв'язку з цим деякі можливості енергозбереження електрозварювальних установок можна сформулювати в такий спосіб.

1. Переведення зварювання з постійного на змінний струм знижує питомі витрати електроенергії на 1 кг плавленого металу

• для ручного дугового зварювання на 2,9 кВт·год; для автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом на 2,0 кВт·год.

2. Заміна ручного зварювання на автоматичне під шаром флюсу забезпечує зниження питомих витрат електроенергії

• на змінному струмі на 0,17 кВттод/кг;

• на постійному струмі на 0,65 кВттод/кг.

3. Перехід на точкове контактне зварювання. Ефективність переходу оцінюється зниженням витрати електроенергії в 2...2,5 рази.

4. Заміна ручного дугового зварювання на контактне шовне зварювання знижує витрату електроенергії на 15%.

5. Скорочення неробочого ходу зварювальних агрегатів. У попередніх розрахунках ефективності впровадження заходів щодо скорочення й усунення неробочого ходу зварювальних агрегатів можна приймати економію від 15 до 20%.

6. Застосування електродів з покриттям, у яке введений залізний порошок, дозволяє знизити питомі витрати електроенергії на 8%.

7. Заміна електродного суцільного дроту на порошковий знижує витрату електроенергії на 8... 12%.

8. Застосування напівавтоматичного й автоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу під флюсом дозволяє знизити питому витрату електроенергії На 30...40%.

9. Застосування зварювальних випрямлячів замість машинних перетворювачів зменшує втрати електроенергії, які визначаються виразом:

$$\Delta W = \left[\frac{I_{зв} \cdot U_д}{10^3} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{пер}} - \frac{1}{\eta_{вип}} \right) \cdot K_{роб} + \left(P_{НХпер} - P_{НХвип} \right) \cdot K_{НХ} \right] \cdot T \cdot N, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $I_{зв}$ - зварювальний струм, А;

$U_д$ - напруга дуги, В;

$\eta_{пер}$ - ККД зварювального перетворювача;

$\eta_{вип}$ - ККД зварювального випрямляча;

$P_{НХпер}$ - потужність неробочого ходу зварювального перетворювача, кВт;

$P_{НХвип}$ - потужність неробочого ходу зварювального випрямляча, кВт;

T - фонд часу роботи джерела за рік, год;

N - кількість замінюваного зварювального устаткування;

$K_{роб}$; $K_{НХ}$ - коефіцієнти, які враховують відносний час роботи устаткування в робочому режимі і на неробочому ході.

Лекція 11. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. Ч.5.

1. Електротермічні установки.

Устаткування, яке безпосередньо перетворює електроенергію в тепло, застосовується в основному в сільському господарстві та в промисловості - при обробленні металів. Загальна встановлена потужність електронагрівального і електропічного устаткування в Україні складає понад 3000 МВт.

Про значні резерви економії електроенергії говорить досить реалістичне припущення, що реконструкція лише електропічного господарства чорної металургії обіцяє економію паливно-енергетичних ресурсів у розмірі 30-50% від споживаних нині.

Оснащене автоматикою і пристроями акумуляції тепла електронагрівальне устаткування сільськогосподарських споживачів може стати основним регулятором споживання активної потужності (споживачем - регулятором).

Органи Держенергонагляду України під час видачі дозволу на використання електроенергії в термічних цілях розглядають ці питання за наявності:

• техніко-економічного обґрунтування доцільності електронагрівання;

• розроблення заходів, що забезпечують зниження навантаження електротермічної установки в годин максимуму енергосистеми. Під час оброблення металовиробів у електротермічних печах витрата електроенергії на нагрівання металу складає 40-60% від загальної витрати електроенергії, яка іде на виготовлення виробу. Заходи з економії електроенергії повинні проводитися в таких напрямках:

• підвищення продуктивності печей,

• зменшення теплових втрат,

• зменшення втрат на акумуляцію тепла,

• автоматизація керування температурним режимом печей,

• зміна технологічного або температурного режиму.

Проаналізуємо деякі можливості енергозбереження.

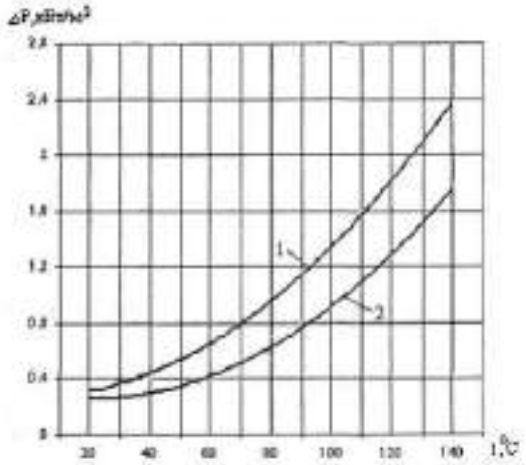
1. Зменшення непродуктивних теплових втрат печі через ізоляцію. Ця величина може бути визначена з рис. 1, за кривими 1 або 2. При цьому, річні втрати складуть:

$$\Delta W = (\Delta P_2 - \Delta P_1) \cdot F \cdot \tau, \text{кВт} \cdot \text{год},$$

де $\Delta P_2, \Delta P_1$ - питомі втрати теплоти відповідно за дійсної і розрахункової температур кожуха печі, $\text{кВт}/\text{м}^3$;

F - поверхня кожуха печі, м^2;

τ - тривалість роботи печі впродовж року, год.



1 – для кожуха печі, пофарбованого темною фарбою
2 – для кожуха печі, пофарбованого алюмінієвою фарбою

Рис. 1. Залежність питомих теплових втрат печі від температури її кожуха

Як видно з рис 1, фарбування кожуха печі алюмінієвою фарбою знижує втрати теплоти на теплове випромінювання і забезпечує зниження витрати електроенергії на 3...5%.

2. Поліпшення герметичності печей.

Усунення нещільностей завантажувальних дверцят, отворів для термопар, цегляної кладки, скорочення тривалості роботи печей з відкритими дверцятами істотно знижує втрати теплоти на теплове випромінювання.

Питомі втрати потужності на випромінювання теплоти залежать від номінальної робочої температури печі (табл. 1).

Таблиця 1. Питомі втрати потужності на випромінювання теплоти

Температура в печі, °С	600	700	800	900	1000
Втрати на випромінювання з 1м2 повєохні	17	27	39	57	78

Скорочення тривалості роботи печі з відкритим вікном і скорочення його площі призводить до зниження річних втрат на випромінювання:

$$\Delta W = \Delta P \cdot (S_1 \cdot T_1 - S_2 \cdot T_2),$$

де ΔР - втрати потужності на випромінювання для відповідної температури печі, кВт;

S_1, S_2 - площа вікна відповідно до і після здійснення заходів, $м^2$;

T_1, T_2 - річна тривалість роботи печі з відкритим вікном відповідно до і після здійснення заходів, год.

3. Раціональне завантаження печей.

Для кожної печі і кожного виду виробів повинні бути розроблені схема й об'єм завантаження печі, що забезпечують максимальну її продуктивність.

В процесах, де значну частину циклу займає витримка виробів з постійною температурою, доцільно піти на значне збільшення товщини шару виробів. У цьому випадку, незважаючи на збільшення тривалості нагрівання, продуктивність печі виявляється вище початкової, тому що час витримки залишається незмінним. Також доцільно збільшувати завантаження низькотемпературних печей із примусовою циркуляцією повітря. У випадку раціонального укладання деталей, яке забезпечує вільне обдування їх гарячим повітрям, продуктивність печі зростає пропорційно завантаженню.

Повна витрата електроенергії в печах опору в кВт·тод складається з корисної витрати на нагрівання металу WKop і витрати на покриття втрат Wemp через стінки,

низ, завантажувальні вікна:

$$W_{кор} + W_{втр} = C \cdot G \cdot (t_2 - t_1) \cdot \frac{1}{860} + P \cdot \tau,$$

де С – теплоємність металу, $ккал/кг \cdot °C$;

G - маса металу, кг;

t_2 - температура нагрівання металу, °С

t_1 - температура повітря приміщення, де встановлена електропіч, °С (початкова температура металу);

Р - середнє за годину споживання потужності на покриття сумарних втрат теплоти, кВт (береться з паспорта);

τ - тривалість термообробки, год.

Річні втрати електроенергії в кВт·год через низьке завантаження печі

$$\Delta W = P_p \cdot \left(\frac{W_1}{G_1} - \frac{W_2}{G_2} \right) \cdot G_{річ} \cdot 10^3,$$

де W_1, W_2 - повна витрата електроенергії відповідно за низького і повного завантаження печі, кВт·год;

G_1, G_2 - маса оброблюваного металу відповідно за низького і повного завантаження печі, кг;

$G_{річ}$ - річна продуктивність печі, т.

Збільшення завантаження печі в 2 рази скорочує питому витрату електроенергії в середньому вдвічі. Використання електропечей із завантаженням менше 70% заборонено. Автоматизація керування температурним режимом електропечей у всіх випадках забезпечує зниження питомих витрат електроенергії за рахунок точної відповідності споживаної потужності заданому температурному режиму.

Впровадження автоматизації, як показує досвід, знижує витрати електроенергії на 20...25%.

4. Раціональна організація роботи печей. Найраціональнішими, з погляду економії електроенергії, є безперервний режим роботи печі, що забезпечує максимальну її продуктивність.

Перерви в роботі печі викликають охолодження кладки і додаткові витрати енергії на розігрівання печі до її робочого стану. Тому в експлуатації термічних печей опору варто прагнути забезпечити повне завантаження і безперервну роботу печі.

Продуктивність печі G (кг/год) і питома витрата електроенергії Wпит (кВт·год/кг) відповідно визначаються виразами:

$$G = \frac{0{,}85 \cdot P + K_1 \cdot P_{вт}}{W_T}, \text{ кг/год},$$

$$W_{пит} = \frac{0{,}85 \cdot P + K_2 \cdot P_{вт}}{G}, \text{ кВт·год/кг},$$

де P – потужність печі, кВт;

$P_{вт}$ - потужність теплових втрат печі, кВт (береться з паспорту);

W_T - теоретична витрата енергії, яка необхідна для підігрівання 1 кг виробів до температури, яку вимагає технологічний процес, кВт·год/кг (при $t = 600^\circ C$ $W_T = 0{,}102$, при $t = 800^\circ C$ $W_T = 0{,}152$, при $t = 1000^\circ C$ $W_T = 0{,}2$).

Значення коефіцієнтів К1, К2 приймається в залежності від режимів роботи печі з табл. 2.

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів К1, К2 в залежності від режимів роботи печі.

Режим роботи печі	Двозмінна робота		Однозмінна робота	
	K1	*к2*	*K1*	*к2*
Піч ввімкнена на час роботи	1,44	0	2,6	0
Піч ввімкнена до початку зміни	1,11	0,33	1,4	1,2
Піч не вимикається на час простою	1,0	0,5	1,0	2,0

Річні втрати електроенергії (кВт·год) через нераціональну організацію роботи печі визначаються шляхом порівняння питомих витрат електроенергії:

$$\Delta W = (W^{I}_{пит} - W^{II}_{пит}) \cdot G_{річ} \cdot 10^3,$$

де W"пит і W'пит - питома витрата електроенергії відповідно за раціонального і нераціонального режимів роботи печі, кВттод/кг;

G річ - річна продуктивність печі, т.

5. Застосування печей з рухомим склепінням для можливої зміни їх робочого об'єму. В залежності від кількості оброблюваних виробів цей захід енергозбереження призводить до зниження споживання електроенергії на 25% і скороченню часу розігрівання на 40%.

6. Підтримання оптимальних рівнів напруги забезпечує мінімальну витрату електроенергії.

7. Використання для теплової ізоляції сучасних ізоляційних матеріалів знижує витрату електроенергії на 20...25%, скорочує час розігрівання до 30%.

8. Зменшення ваги і розмірів завантажувальної тари знижує витрату електроенергії до 10... 15% на 1 т оброблюваних виробів. Вага тари не повинна перевищувати 10% від ваги виробів, що завантажуються.

9. Застосування поверхневого загартування струмами високої частоти у порівнянні з технологією суцільного загартування підвищує продуктивність праці в десятки разів і скорочує витрату електроенергії в 3 - 4 рази.

10. Застосування автоматичного регулювання температури печей при вмиканні. Впровадження методу форсованого режиму нагрівання металу на початку процесу дає зниження витрати електроенергії до 25%о.

11. Переведення плавильних і термічних печей із двозмінної роботи на тризмінну знижує загальну витрату енергії на 20...30%);

12. Використання тепла нагрітих виробів, охолоджуваних за технологічними вимогами уповільнено для попереднього нагрівання наступної партії виробів може дати економію електричної енергії до 25...50%;

13. Заміна вугільних електродів електроплавильних печей графітизованими. Правильний вибір діаметра електродів і підтримання контактів в електротримачах у справному стані дає економію електроенергії 8...9%;

14. Впровадження сучасних способів лиття (кокільне, під тиском, відцентрове) дозволяє механізувати процес і скоротити витрату електроенергії до 20%;

Попереднє підігрівання шихти знижує питому витрату електроенергії.

Лекція 12. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ. Ч.6.

1. Трансформатори та електричні мережі.

Втрати електроенергії в трансформаторах в кВт·тод визначають за формулою:

$$\Delta W_{тр} = \Delta P_{НХ} \cdot \tau_п + K_з^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \tau_р,$$

де $\Delta P_{НХ}$ - активні втрати потужності в сталі трансформатора, кВт (приймаються за паспортними даними);

$\tau_п$ - час приєднання трансформатора до мережі, год;

$K_з$ - коефіцієнт завантаження трансформатора (дорівнює відношенню середнього фактичного навантаження трансформатора до його номінальної потужності;

$\Delta P_{кз}$ - активні втрати досліду короткого замикання трансформатора, кВт (приймаються за паспортними даними);

$\tau_р$ - тривалість роботи під навантаженням, год.

Величини ΔРкз , р τ , Кз , в три обмотковому трансформаторі приймається для кожної з обмоток, а в двообмотковому – для трансформатора в цілому.

Для визначення втрат електроенергії в двообмотковому трансформаторі необхідний ряд каталогових або фактичних даних:

- номінальна потужність трансформатора Sном , кВА;
- втрати неробочого ходу на номінальній напрузі НХ ΔР , кВт;
- втрати короткого замикання ΔРкз , кВт. Фактичні або розрахункові дані:
- електроенергія облікована за розрахунковий період лічильниками:

Wa , кВт год · ; Wp , квар год · (лічильники встановлені на стороні вищої напруги понижувального трансформатора;

- повна тривалість роботи трансформатора n τ , що приймається в січні, березні, травні, липні, серпні, жовтні, грудні рівною 744год, а у квітні, червні, вересні, листопаді – 720 год., лютому – 672 год. (для високосного року – 696 год.);
- тривалість роботи трансформатора з навантаженням р τ , яке приймається для підприємств, що працюють в одну зміну – 200год, у дві зміни – 450 год., у три зміни – 700 год. на місяць. За цими вихідними даними визначаються:

– середнє значення коефіцієнта потужності сер cosφ із співвідношення (коли відсутні лічильники реактивної потужності, замість сер cosφ приймається cosφ , розрахунковий на підставі даних реактивної потужності, що залишилася некомпенсованою)

$$\cos\varphi_{сер} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}},$$

– коефіцієнт завантаження трансформатора (за виміряною активною потужністю та коефіцієнтом потужності)

$$K_з = \frac{P_{сер}}{S_{ном} \cdot \cos\varphi_{сер}} = \frac{W_a}{S_{ном} \cdot \tau_п \cdot \cos\varphi_{сер}},$$

де $P_{сер} = \frac{W_a}{\tau_п}$, кВт – середня фактична активна потужність лінії за відрізок часу $\tau_п$;

– втрати електричної енергії в трансформаторі, кВт·год

$$\Delta W_{тр} = \Delta P_{НХ} \cdot \tau_п + K_з^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \tau_р.$$

Для визначення втрат активної електроенергії в три обмотковому трансформаторі необхідний ряд його каталогових або фактичних даних:

- номінальна потужність трансформатора Sном , кВА;
- потужність обмоток вищої, середньої і нижчої напруг S н = S ном ; Sсн ; Sнн (у паспорті або каталозі дані у відсотках від номінальної потужності), кВА;
- втрати неробочого ходу на номінальній напрузі НХ ΔР , кВт;
- втрати короткого замикання обмоток вищої, середньої і нижчої напруг за повного навантаження обмоток ΔРвн , ΔРсн , ΔРнн , кВт.

Фактичні або розрахункові дані:

- електроенергія, що пройшла через обмотки вищої $W_{a1вн} = W_{a1сн} + W_{a1нн}$, середньої $W_{a1сн}$ і нижчої $W_{a1нн}$ напруг, кВт·год;
- тривалість роботи трансформатора (приймається як і у випадку розрахунку втрат у двохобмотковому трансформаторі) $\tau_п$, год;
- тривалість роботи трансформатора з навантаженням (приймається як і у випадку розрахунку втрат у двохобмотковому трансформаторі) $\tau_р$, год.

За цими даними визначають:

– середнє завантаження коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{сер}$ на сторонах вищої, середньої і нижчої напруг: $\cos\varphi_{серівн}$; $\cos\varphi_{серісн}$; $\cos\varphi_{серінн}$ (середні значення коефіцієнтів потужності визначають за показами лічильників активної і реактивної енергії, а за відсутності лічильників реактивної енергії, також, як і у випадку двообмоткових трансформаторів, за сер $\cos\varphi$ приймається $\cos\varphi$, розрахований на підставі даних реактивної потужності, що залишилася некомпенсованою);

– коефіцієнти завантаження кожної обмотки трансформатора:

$$K_{вз} = \frac{W_{авн}}{S_{вн} \cdot \tau_п \cdot \cos\varphi_{серівн}}; \; K_{сз} = \frac{W_{асн}}{S_{сн} \cdot \tau_п \cdot \cos\varphi_{серісн}};$$

$$K_{нз} = \frac{W_{анн}}{S_{нн} \cdot \tau_п \cdot \cos\varphi_{серінн}};$$

– втрати електроенергії в трансформаторі, кВт·год

$$\Delta W_{тр} = \Delta P_{НХ} \cdot \tau_п + (\Delta P_{вн} \cdot K_{вз}^2 + \Delta P_{сн} \cdot K_{сз}^2 + \Delta P_{нн} \cdot K_{нз}^2) \cdot \tau_р$$

Втрати електроенергії в електричних мережах.

Навантаження промислового підприємства змінюється протягом доби, місяця, року, тому відбувається безперервна зміна активної і реактивної потужності. При цьому змінюється коефіцієнт потужності. В середньому втрати в електромережах (включаючи трансформатори) складають 4...7% від загального споживання електроенергії підприємством.

Вони залежать від цілого ряду **чинників:**

• величини навантаження підприємства;

• конфігурації і розгалуженості загальнозаводських і внутрішньоцехових мереж, їхнього перетину і довжини;

• режиму роботи трансформаторів;

• значення середньозваженого коефіцієнта потужності підприємства;

• потужності і місця установки компенсувальних пристроїв. Втрати електроенергії в електричних мережах промислових підприємств AWM складаються з втрат електроенергії в цехових AWц, загальнозаводських AW3 мережах, трансформаторах AWT, встановлених як на головній, так і на цехових підстанціях промислового підприємства.

Ці втрати становлять:

$$\Delta W_м = \Delta W_ц + \Delta W_з + \Delta W_т.$$

Для визначення втрат енергії у ланках цехових і загальнозаводських мереж у кВт·год може бути застосований наступний вираз:

$$\Delta W_м = 3 \cdot I_{макс}^2 \cdot R \cdot \tau_{макс} \cdot 10^{-3},$$

де $I_{макс}$ - максимальний струм навантаження,А;

R - активний опір проводу лінії або жили кабелю, Ом;

$\tau_{макс}$ - час максимальних втрат, год (знаходиться за кривими, наведеними на рис. 1).

Спрощено, але з достатньою точністю, втрати електроенергії ΔWм на ділянці мережі можна розрахувати, використовуючи дані обліку електроенергії, переданою певною лінією за виразом:

де $P_{сер} = \frac{W_a}{t}$ - середня фактична активна потужність лінії за відрізок часу t, кВт;

t - тривалість роботи лінії за розглянутий період часу (доба, місяць), год;

W_a - покази лічильника активної енергії за розглянутий період часу t, кВт·год;

R - опір одного проводу або жили кабелю, Ом;

U - напруга на початку лінії, кВ;

$\cos\varphi_{сер}$ - середньозважений коефіцієнт потужності за час t;

K_f - коефіцієнт форми, прийнятий в середньому рівним 1,05...1,1.

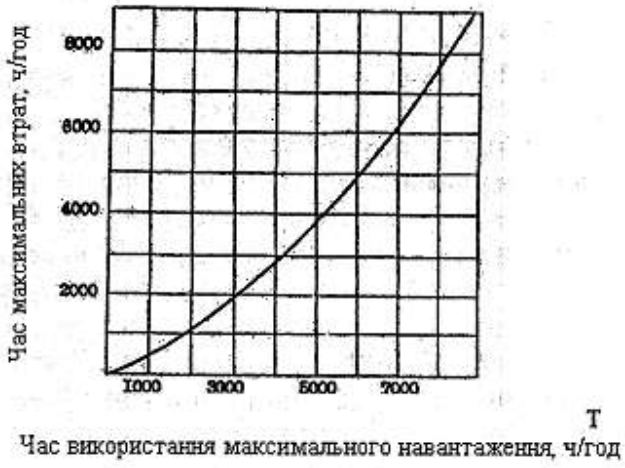


Рис. 1 - Залежність часу максимальних втрат від часу використання максимального навантаження

Основні шляхи зниження втрат в електричних мережах.

1. Розроблення доцільної конфігурації і вибір перерізів кабелів і проводів, виходячи з принципу оптімальності.
2. Застосування глибоких вводів високої напруги на підприємствах великої потужності (на напрузі 110 і 35 кВ).
3. Підвищення коефіцієнта потужності установок (один з головних факторів зниження втрат електроенергії в електричних мережах).
4. Застосування шинопроводів замість кабельних та інших ліній.
5. Реконструювання мереж 0,4... 10 кВ за наявності перевантажень окремих їх ділянок.

2. Перетворювальні установки.

Втрати електроенергії в перетворювальних електроустановках визначаються різницею підведеної до перетворювальної установки електроенергії Wпідв і відпущеної установкою Wвідп за показниками відповідних лічильників:

$$\Delta W_{п.у.} = W_{підв} - W_{відп}.$$

За відсутності лічильників на стороні випрямленого струму втрати у перетворювальній установці визначають розрахунковим шляхом за наближеним виразом:

$$\Delta W_{п.у.} = W_{відв}(1 - \eta_{п.у.}),$$

де $\eta_{п.у.}$ - середньозважений за розглянутий період ККД перетворювальної установки, який визначається для характерних режимів завантаження за кривою залежності ККД від завантаження, побудованої за даними випробувань, а за відсутності останніх – за відповідною паспортною характеристикою.

Для двигуна-генератора:

$$\eta_{п.у.} = \eta_д \cdot \eta_г,$$

де $\eta_д, \eta_г$ - відповідно ККД двигуна і генератора.

3. Компенсація реактивної потужності.

Компенсування реактивної потужності є складовою частиною комплексу організаційно-технічних заходів щодо регулювання режимів електроспоживання й обмеження максимумів навантаження на промислових підприємствах.

Реактивна потужність визначається за синусоїдної напруги мережі живлення в такий спосіб.

У випадку однофазних навантажень – як добуток діючих значень прикладеної напруги і першої гармоніки споживаного струму I(1) на синус кута зміщення φ між ними:

$$Q = U \cdot I_{(1)} \cdot \sin\varphi = P \cdot tg\varphi,$$

де $tg\varphi = Q/P$ - коефіцієнт реактивної потужності;

$P = U \cdot I_{(1)} \cdot \cos\varphi$ - активна потужність навантаження;

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності.

У випадку трифазних навантажень – як алгебраїчна сума фазних реактивних потужностей:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Реактивна потужність характеризується знаком (додатним для відстаючого струму ($\varphi > 0$), від'ємним для випереджувального струму ($\varphi < 0$)) і задовольняє умову балансу у всьому колі. Одиниця виміру реактивної потужності – вар (вольт ампер реактивний).

Рівень реактивної потужності, яка компенсується Q_k визначається як різниця реактивних потужностей навантаження підприємства Q_n і потужності, що обумовлена договором з енергосистемою на електропостачання підприємства Q_e

$$Q_k = Q_n - Q_e = P(tg\varphi_n - tg\varphi_e).$$

Електродвигуни, флюоресцентні лампи, індукційні печі, зварювальні апарати для дугового зварювання н змін нумо струмі або зварювання контактним опором споживають як активну потужність, так і значну реактивну.

Потреба в реактивній потужності зазвичай перевищує можливість її покриття генераторами на електростанціях, оскільки дуже велика частина промислових навантажень – це споживачі реактивної потужності.

Основними споживачами реактивної потужності на підприємствах є:

- асинхронні двигуни (45-65%);
- електропіч ні установки (8%); • вентильні перетворювачі (10%); • трансформатори всіх ступенів трансформації (20-25%).

Практично всі показники якості електроенергії за напругою залежать від обсягів споживання реактивної потужності промисловими навантаженнями.

Зниження споживання реактивної потужності, тобто збільшення коефіцієнта потужності дозволяє:
- знизити діюче значення спожитого струму і зменшити переріз передавальних елементів мережі:
- зменшити повну потужність і знизити встановлену потужність трансформаторів, а також їх кількість;
- скоротити втрати активної потужності і зменшити потужність генераторів на електростанціях.

У таблиці 1 наведені дані, що ілюструють як зміни cosφ позначаються на втратах електроенергії.

Попередній cosφ	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
Новий cosφ	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
Зниження струму, %	37,5	44,5	25	33	12,5	22	11
Зниження втрат електроенергії, %	61	69	43,5	55,5	23	39,5	21

Сутність будь-яких заходів щодо зниження споживаної реактивної потужності полягає в обмеженні впливу електроприймача на живильну мережу за допомогою впливу на сам електроприймач.

Типові можливості енергозбереження.

1. Підвищення завантаження технологічних агрегатів за потужністю:

- збільшення завантаження асинхронних двигунів (збільшення робочого струму асинхронних двигунів підвищує коефіцієнт потужності);
- перемикання обмоток недовантажених асинхронних двигунів від трикутника до зірки знижує потужність двигуна в 3 рази, і це цілком доцільно робити у випадку завантаження до 40%;
- потужність трансформаторів повинна вибиратися близькою до необхідного навантаження.

2. Підвищення завантаження технологічних агрегатів за часом, у тому числі застосування обмежувачів неробочого ходу асинхронних електродвигунів і зварювальних агрегатів.

3. Заміна асинхронних двигунів синхронними.

4. Заміна, перестановка і вимкнення мало завантажених технологічних агрегатів, наприклад трансформаторів, завантажених менш ніж на 30% номінальної потужності.

Технічні засоби компенсації реактивної потужності вибираються після ретельного техніко-економічного аналізу і зв'язку з високою їх вартістю і складністю. Компенсація реактивної потужності повинна здійснюватися до економічно виправданого рівня.

Під час розроблення заходів щодо зниження реактивної потужності спочатку необхідно знизити реактивність споживачів і тільки потім розглядати технічні засоби її компенсації.

Приклади технічних засобів компенсації реактивної потужності:

- обертові компенсатори (синхронні двигуни полегшеної конструкції без навантаження на валу);
- комплектні конденсаторні батареї;
- статичні компенсатори (наприклад, керовані ректори або конденсатори, що комутуються);
- тиристорні джерела реактивної потужності. Найбільший економічний ефект при розміщенні засобів компенсації в безпосередній близькості від електроприймача.

Індивідуальна компенсація найефективніша і найдоцільніша у потужних електроприймачів, але вона супроводжується вимкненням компенсую чого пристрою з вимкненням споживача.

Зниження втрат електроенергії в системі електропостачання за рахунок підвищення коефіцієнта потужності визначається за формулою:

$$\Delta W = K_q \cdot P_{сер} \cdot T \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2),$$

де K_q – економічний еквівалент реактивної енергії, що орієнтовно може бути прийнятий рівним:

- за живлення через 3 трансформації - 0,12;
- за живлення через 2 трансформації - 0,08;
- за живлення через 1 трансформацію - 0,05;
- за живлення генераторною напругою - 0,02;

$P_{сер} \cdot T$ - споживання активної енергії за розрахунковий період T, кВт·год;

$tg\varphi_1$, $tg\varphi_2$ – визначаються за значеннями коефіцієнта потужності до і після його підвищення.

Передбачається, що споживання активної енергії залишилося на попередньому рівні.

Як самостійна можливість енергозбереження в системі електропостачання може бути вимкнення силових трансформаторів на неробочі добу або зміну.

Цей захід зменшує втрати енергії в трансформаторах через відсутність втрат неробочого ходу, а також підвищує середнє значення коефіцієнта потужності завдяки зменшенню споживання реактивної енергії.

Загальне зменшення втрат електроенергії може бути розраховане за наступною наближеною формулою:

$$\Delta W = \frac{S \cdot t}{100}(5 \cdot K_q + 0,5),$$

де S – номінальна потужність трансформаторів, що відключаються, кВА;

K_q – економічний еквівалент реактивної потужності;

t – тривалість відключення трансформатора, год.

Числа 5 та 0,5 – усереднені значення відповідно струму неробочого ходу і втрат неробочого ходу трансформатора у відсотках від номінального струму і потужності трансформатора. Для більш точного розрахунку ці цифри повинні бути взяті з паспорта трансформатора.

Приклад 1.

У випадку встановлення статичного конденсатора ємністю Qc (квар) на одному з трансформаторів (централізовано), розрахунок може бути наступним.

Дано:

- Активна потужність споживача 407 кВт.
- Реактивна потужність споживача 374 квар.
- Повна потужність споживача 554 кВА.
- Коефіцієнт потужності в даний момент 0,735.
- Трансформатор 630 кВА; 10,5/0,4 кВ.
- Кількість робочих годин за рік 2355 год/рік.

Встановлюємо статичний конденсатор стандартної ємності 200 квар.

Нова реактивна потужність

$$375\text{-}200=175 \text{ (квар)}.$$

Нова повна потужність

$$\sqrt{407^2+175^2}=443(\text{кВА}).$$

Новий коефіцієнт потужності

$$\frac{407}{443}=0{,}919.$$

Скорочення втрат

$$\Delta P=3\cdot R(I_1^2-I_{нов}^2),$$

де $I_1^2, I_{нов}^2$ - реактивні струми на даний момент і після встановлення конденсатора, А:

$$I_1=\frac{375}{\sqrt{3}}\cdot 0{,}4=541(\text{А}),$$

$$I_{нов}=\frac{175}{\sqrt{3}}\cdot 0{,}4=253(\text{А});$$

R – загальний опір, Ом:

$$R=R_{кл}+R_{тр}=0{,}013 \text{ (Ом) на фазу},$$

де $R_{кл}$ – опір кабелю, Ом;

$R_{тр}$ – опір трансформатора, Ом.

Зменшення втрат

$$\Delta P=3\cdot 0{,}013\cdot(541^2-253^2)\cdot 10^{-3}=8{,}92(\text{кВт}).$$

Економія електроенергії

$$8{,}92 \text{ кВт} \times 2355 \text{ год} \approx 21000 \text{ кВт}\cdot\text{год на рік}.$$

З урахуванням європейський цін на електроенергію термін окупності складе 1-2 роки.

Лекція 13. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ОСВІТЛЕННЯ. Ч.1.

1. Перевірка ефективності системи освітлення.

Системи освітлення – системи з використанням електроенергії. Енергозбереження можливе шляхом оптимізації розрахунку системи освітлення, використання більш ефективних джерел світла, використання систем керування освітленням, організаційних заходів та ін.

Актуальність проведення аудиту зумовлена великою часткою освітлювального навантаження на підприємств, що досліджується.

Побудова математичної моделі перевірки ефективності заходу з енергозбереження:

Пропонується показник ефективності – значення приведеної річної економії коштів, що визначається за виразом:

$$Ep = \frac{B^{Л1} - B^{Л2}}{Tроз} \to max, \qquad 1$$

де: $B^{Л1}$, $B^{Л2}$ – витрати, що пов'язані з використанням відповідно працюючої і альтернативної ламп за розрахунковий період, грн.;

$Tроз$ – розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення, років.

$$Tроз = \frac{T_{макс}}{T_р}, \qquad 2$$

де: $T_{макс}$ – найбільший термін служби ламп, що порівнюються, год.;

$T_р$ – річний час роботи системи освітлення, год./рік.

2. Витрати на діючу систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л} = \left(Окр > \left\{ \frac{T_{макс} - T_{зал}}{T_Л} \right\} K_Л + P_{Лн} \cdot T_{макс} \cdot B_W \right) \cdot n, \qquad 3$$

де $Окр >$ – символ, що означає округлення результату фігурних дужок до більшого цілого;

$T_Л$ – номінальний термін служби ламп, система освітлення з використанням яких аналізується, год.;

$T_{зал}$ – залишковий термін роботи діючої лампи до її заміни;

$P_{Лн}$ – номінальна потужність лампи, грн.;

B_W – тариф на електроенергію, грн/кВт·год;

n – кількість ламп даного типу в системі освітлення.

Витрати на альтернативну систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л2} = \left(\frac{T_{макс}}{T_Л} K_Л + P_{Лн} \cdot T_{макс} \cdot B_W \right) \cdot n, \qquad 4$$

Система зовнішнього освітлення на ПРаТ "Машинобудівний завод" складається із 18 ртутних ламп потужністю 250 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає Тр = 2500 год. Тариф на активну електроенергію BW =1 грн/кВт·год.

Пропонується замінити ртутні лампи на натрієві. Світлова віддача натрієвих ламп майже в два рази вища ніж у ртутних. Для заміни ртутних ламп потужністю 250 Вт, необхідно встановити натрієві потужністю 150 Вт.

Характеристики обох видів ламп подані в табл. А.8.

Таблиця А.8 – Порівняльні характеристики дугових ртутних ламп (ДРЛ) і натрієвих ламп

Лампа	Потужність,Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
ДРЛ	250	13000	6000	E40	50
Натрієва	150	15000	12000	E40	120

Серед двох типів ламп, які досліджуються, з найбільшим строком служби є натрієва лампа. Тому $T_{макс} = 12000$год.

Лампи ДРЛ вже працювали 2 000 год, тому залишковий термін роботи до їх заміни приймаємо $T_{зал} = 6000 - 2000 = 4000$ год.

Витрати на систему освітлення з лампами ДРЛ за розрахунковий період,

$$B_{ДРЛ} = \left(Окр > \left\{ \frac{12000 - 4000}{6000} \right\} \cdot 50 + 250 \cdot 10^{-3} \cdot 12000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 55800 \text{грн.},$$

а з натрієвими лампами, згідно (21) –

$$B_{НЛ} = \left(\frac{12000}{12000} \cdot 120 + 150 \cdot 10^{-3} \cdot 12000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 34560 \text{грн.},$$

Розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення:

$$Троз = \frac{12000}{2500} = 4{,}8 \text{ року.}$$

Отже витрати, розраховані за виразами (3), (4) є в середньому за 4,8 років. Це справедливо за припущення, що всі лампи працюють точно визначений термін роботи. Реальні показники роботи можуть відрізнятись, тому розрахунки за таким принципом є наближені.

За виразом (1) визначимо приведену до одного року економію коштів внаслідок заміни в системі освітлення ламп ДРЛ на натрієві

$$Ер = \frac{55800 - 34560}{4{,}8} = 4425 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності модернізованої системи освітлення

$$T = \frac{K_{НЛ} \cdot n}{E_{р}} = \frac{120 \cdot 18}{4425} = 0{,}48 \text{ року.}$$

Таким чином, оскільки річна економія коштів внаслідок модернізації системи освітлення є близько 4,5 тис. грн., а термін окупності капіталовкладень не перевищує 0,5 року, модернізація системи освітлення шляхом заміни ламп ДРЛ на натрієві є ефективною. Аналогічним чином було проведено аналіз заміни ламп розжарення на люмінесцентні.

Лекція 14. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ. Ч.2.

Одним з найбільш ефективних заходів з енергозбереження в системі електропостачання є компенсація реактивної потужності.

Розглянемо послідовність техніко-економічного обґрунтування ефективності цього заходу.

Перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності (КРП) є доволі розповсюдженою задачею. На це вказує наявність на багатьох підприємствах великої частки реактивних навантажень (електроприводів, систем освітлення…).

Для виконання перевірки необхідно за однолінійною схемою системи електропостачання підприємства скласти електричну схему заміщення.

На рис. 1 показано однолінійну схему системи електропостачання ВАТ «Машинобудівний завод», яка містить: точку приєднання підприємства до підстанції енергосистеми напругою 10 кВ, ЦРП, дві двотрансформаторні цехові підстанції, а також середньорічні активні (Рнс1 – Рнс4) і реактивні навантаження цехів (Qнс1 – Qнс4), які приєднані до цих трансформаторів. На схемі також показано запропоновані місця встановлення конденсаторних батарей (Qк1 – Qк4).

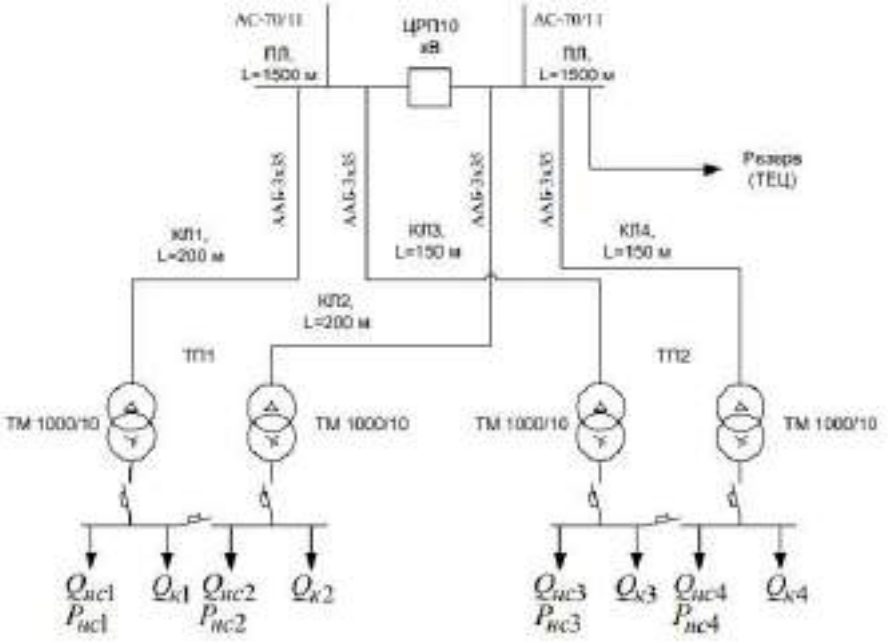


Рисунок 1 – Однолінійна схема системи електропостачання підприємства

Алгоритм аудиторської перевірки наведений нижче.

1. Критерій ефективності використання компенсації реактивної потужності на підприємстві:

$$T = \frac{K}{E}, \qquad (1)$$

де T – термін окупності системи КРП, років;
K – капіталовкладення в систему КРП, грн.;
E – економія коштів внаслідок встановлення системи КРП, грн.

2. Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП.

Економія коштів є різницею між витратами, що пов'язані з протіканням реактивної потужності по мережах підприємства до встановлення установок КРП ($B^{до}$) і після їх встановлення ($B^{після}$):

$$E = B^{до} - B^{після}. \qquad (2)$$

Витрати до та після застосування конденсаторних установок містять такі складові:

$$B^{до} = B^{до}_{втр} + B^{до}_{Wp}, \text{ грн.} \quad (3)$$

$$B^{після} = B^{після}_{втр} + B^{після}_{Wp} + B^{БК}_{втр}, \text{ грн.} \quad (4)$$

де $B^{до}_{втр} = \sum_{i=1}^{n} \Delta W_i^{до} \cdot C_{Wa}$, $B^{після}_{втр} = \sum_{i=1}^{n} \Delta W_i^{після} \cdot C_{Wa}$ – вартість втрат активної енергії в n елементах системи електропостачання (СЕП) (лініях і трансформаторах), тут $\Delta W_i^{до}$, $\Delta W_i^{після}$ – втрати активної енергії в i-му елементі СЕП, C_{Wa} – тариф на електроенергію, грн./(кВт·год.);

$B^{БК}_{втр} = \sum_{j=1}^{m} \Delta W_j^{БК} \cdot C_{Wa}$ – вартість втрат активної енергії в батареях статичних конденсаторів компенсаційних установок;

$B^{до}_{Wp}$, $B^{після}_{Wp}$ – вартість перетоків реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та споживачем, що, згідно з визначається за виразом

$$B_{Wp} = B_1 + B_2 - B_3, \text{ грн.} \quad (5)$$

В свою чергу складові виразу (5) визначаються таким чином:

$$B_1 = \left(W_p^{сп} + K \cdot W_p^{ген}\right) \cdot D \cdot C_{Wa}, \text{ грн.} \quad (6)$$

де $W_p^{сп}$ – споживана реактивна енергія в точці обліку;

$W_p^{ген}$ – генерована реактивна енергія в точці обліку;

$K = 3$ – нормативний коефіцієнт врахування збитків енергопоста-чальної організації від генерації реактивної електроенергії;

D – економічний еквівалент реактивної потужності, що характеризує вплив реактивного перетоку в точці обліку на втрати активної потужності в розрахунковому режимі, кВт/квар;

$$B_2 = B_1 \cdot C_{БАЗ} \cdot \left(K_\varphi - 1\right), \text{ грн.} \quad (7)$$

де B_2 – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності, яка нараховується, якщо коефіцієнт реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період $\operatorname{tg}\varphi > 0{,}25$ – для промислових споживачів і $\operatorname{tg}\varphi > 0{,}75$ – для непромислових споживачів;

$C_{БАЗ} = 1{,}3$ – нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

K_φ – коефіцієнт, що визначається за виразами

$$K_\varphi = (\mathrm{tg}\varphi - 0{,}25)^2 + 1 \text{ – для промислових споживачів;} \quad (8)$$

$$K_\varphi = (\mathrm{tg}\varphi - 0{,}75)^2 + 1 \text{ – для непромислових споживачів.} \quad (9)$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається як відношення споживаних, відповідно, активної та реактивної електроенергії:

$$\mathrm{tg}\varphi = W_p^{cn} \Big/ W_a^{cn} . \quad (10)$$

Складова В3 є зниженням плати за споживання та генерування реактивної електроенергії за умови достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП і узгодженням з енергопостачальною організацією.

Для визначення складових виразу (4) необхідно розрахувати втрати енергії в елементах системи електропередачі. Відповідно, втрати електроенергії в електричній мережі визначаються з використанням коефіцієнта форми графіка навантаження за струмом, що, значною мірою, враховує нерівномірність графіка навантаження

$$\Delta W = 3k_{\phi I}^{\ 2} I_c^2 RT \cdot 10^{-3}, \text{ кВт·год.} \quad (11)$$

де $k_{\phi I} = \dfrac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}}{\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}$ – коефіцієнт форми графіка навантаження за струмом, тут I_i – середній струм навантаження в i-му періоді вимірювання, який може вимірюватись або розраховується за виразом

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, \text{ А} \quad (12)$$

тут P_c, Q_c – відповідно, середні активна та реактивна потужності навантаження, що живиться через елемент системи електропередачі (лінію чи трансформатор) за розрахунковий період T;

U – напруга елемента лінії електропередачі, кВ.

$I_{\bar{n}}$ – середній струм, який може визначатись за виразом (12) або

$$I_c = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T}, \text{ А.} \quad (13)$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за виразом:

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_{xx} T_{mp} + \beta^2 \Delta P_{k3} T_н, \quad (14)$$

де $\Delta P_{\delta\delta}$ – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\hat{e}\varsigma}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$T_{\grave{o}\delta}$ – час, протягом якого трансформатор приєднано до мережі, год.;

T_i – час, протягом якого трансформатор працює під навантаженням, год.;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора, квадрат якого за умов змінного навантаження визначається за виразом:

$$\beta^2 = \frac{k_{\phi a}^2 P_c^2 + k_{\phi p}^2 Q_c^2}{S_n^2}, \qquad (15)$$

тут $k_{\phi a}$ – коефіцієнт форми графіка активної потужності;

$k_{\phi p}$ – коефіцієнт форми графіка реактивної потужності;

P_C – середнє значення активної потужності за розрахунковий період;

Q_c – середнє значення реактивної потужності (береться з табл. 1).

Величини P_c та Q_c визначаються для кожної лінії як суми середніх потужностей цехів (табл. 1), що живиться від конкретного трансформатора.

Таблиця 1 – Визначення середніх потужностей P_c і Q_c

Номер трансформатора	Номери цехів	P_c	Q_c
1	1,2,14	97,6	61,4
2	3,4	73,2	54,2
3	5-9	110,4	53
4	10-13	61,3	47,2

Розрахунок реалізовано з використанням електронних таблиць Excel (рис. 2 – 3).

Під час розрахунку прийняті коефіцієнти форми графіків струму, активної та реактивної потужності, розраховані на основі зібраних статистичних даних за формулами:

$$k_{\phi I} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}}{\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}; \; k_{\phi a} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} P_{ci}^2 \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ci} \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}; \; k_{\phi p} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} Q_{ci}^2 \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i}}{\sum_{i=1}^{n} Q_{ci} \cdot t_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} t_i},$$

де P_{ci}, Q_{ci} – значення середніх потужностей на i-му інтервалі вимірювання.

Для більш точного розрахунку необхідно вибирати такі інтервали вимірювання, під час яких значення середніх потужностей наближаються до діючих.

Під час інтервалу вимірювання в 1 год. ці потужності дорівнюють значенню спожитої електроенергії.

Тому їх можна легко отримати з використанням лічильників активної та реактивної енергії.

Значення і I , як було вказано раніше, може визначатись на основі відомостей про значення величин Pci , Qci на і-му інтервалі за формулами (12) або (13).

На рисунку 2 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в трансформаторах за умови повної компенсації реактивної потужності ($Qc = 0$) за допомогою електронних таблиць Excel, а також формули, що використовувались.

На рисунку 3 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в кабельних лініях за умови повної компенсації реактивної потужності ($Qc = 0$), а також формули, що використовувались.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	K	L	M
1		dPxx,кВт	dPкз, кВт	Sн, кВА	Pc, кВт	Qc, квар	T, год	kфа	kфр	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.після, грн	Економія, грн
2	Тр-р № 1	1,9	10,5	1000	97,6	61,4	8760	1,3	1,28	1	18 692,9	18 124,7	568,1
3	Тр-р № 2	1,9	10,5	1000	73,2	54,2	8760	1,31	1,29	1	17 939,4	17 489,8	449,6
4	Тр-р № 3	1,9	10,5	1000	110	53	8760	1,28	1,27	1	18 897,5	18 480,8	416,7
5	Тр-р № 4	1,9	10,5	1000	61,3	47,2	8760	1,33	1,3	1	17 601,7	17 255,4	346,3
6	Всього по трансформаторах												1780,8

```
K2=$B2*$G2+$C2*$G2*($H2^2*$E2^2+$I2^2*$F2^2)/$D2^2*$J2
L2=$B2*$G2+$C2*$G2*($H2^2*$E2^2)/$D2^2*$J2
M2=K2-L2
M6=СУММ(M2:M5)
```

Рисунок 2 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	K	L	M
1		kфIдо	kфIпісля	Pc, кВт	Qc, квар	T, год	U, кВ	l, км	R0, Ом/км	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.після, грн	Економія, грн
2	Кл1	1,29	1,28	97,6	61,4	8760	10	0,2	1,1	1	426,4	300,8	125,6
3	Кл2	1,28	1,27	73,2	54,2	8760	10	0,2	1,1	1	261,9	166,6	95,4
4	Кл3	1,28	1,27	110,4	53	8760	10	0,3	1,1	1	710,3	568,3	142,0
5	Кл4	1,28	1,27	61,3	47,2	8760	10	0,3	1,1	1	283,5	175,2	108,3
6	Всього по КЛ												471,3

```
K2=3*$B2^2*(КОРЕНЬ($D2^2+$E2^2)/(3^0,5*$G2))^2*$I2*$H2*$F2*10^-3*$J2
L2=3*$C2^2*(КОРЕНЬ($D2^2)/(3^0,5*$G2))^2*$I2*$H2*$F2*10^-3*$J2
M2=K2-L2
M6=СУММ(M2:M5)
```

Рисунок 3 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях підприємства

При розрахунку зниження втрат електроенергії в кабельних лініях слід звернути увагу, що коефіцієнт $k\delta^2$, який визначається на основі даних про Pсі , Qсі , може дещо відрізнятись до і після компенсації. Це пояснюється тим, що після компенсації реактивної потужності величини Qсі будуть меншими, ніж до компенсації. На рисунку 4 наведено розрахунок оплати за спожиту реактивну енергію підприємством. За умови повної компенсації ця величина дорівнюватиме економії підприємства, що пов'язана зі зниженням споживання реактивної енергії.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Wacп, кВт*год	Wpcп, квар*год	tgf	D, кВт/квар	C, грн/кВт*год.	Сбаз	B1, грн	B2, грн	BWp, грн
2	3000000	2250000	0,75	0,02	1	1,3	45000	14625	59625

```
G2=B2*D2*E2
H2=G2*F2*(C2-0,25)^2
I2=G2+H2
```

Рисунок 4 – Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

Підсумовуючи результати розрахунків, що наведені на рис. 26.2 – 26.4, отримуємо прогнозоване значення повної економії підприємства внаслідок КРП 61877 грн.

Враховуючи результати попереднього аналізу заходів з енергозбереження, термін окупності компенсувальних пристроїв очікується таким, що дорівнює

$$T = \frac{B_{KУ}}{C} = \frac{285000}{61877} = 4{,}6 \text{ року},$$

і це є допустимим. Після закінчення терміну окупності і за подібного характеру енергоспоживання підприємство внаслідок КРП буде економити понад 50000 грн. в рік.

Лекція 15. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ. Ч.3.

1. Перевірка ефективності впровадження системи інфрачервоного опалення.

На підприємствах в цехах часто організоване водяне опалення. За умов неповного завантаження виробничих площ частина тепла витрачається нераціонально, тому що здійснюється обігрів усього об'єму цехів, а не лише робочих місць.

Як захід з енергозбереження може бути запропоновано в цехах замість водяної системи опалення встановити над робочими місцями системи інфрачервоного опалення, які повинні відповідати вимогам.

Вказані системи мають ряд переваг у порівнянні з традиційними системами:

- обігрівають в першу чергу людей і предмети;
- забезпечують корисний, екологічно чистий та економічний обігрів;
- прогрівають необхідні ділянки в приміщенні;
- ідеально підходять для використання в місцях, де необхідний тимчасовий обігрів;
- зігрівають людей навіть у відкритих приміщеннях та у вітряну погоду;
- обігрівають важкодоступні ділянки; забезпечують швидку передачу тепла (до 30 секунд);
- вітер і протяги не впливають на обігрів; • тепло можна подавати направлено;
- прості в експлуатації;
- не мають неприємних та шкідливих запахів;
- працюють безшумно;
- не сушать повітря;
- не викликають головного болю;
- не знижують рівень кисню в приміщенні;
- у порівнянні з іншими системами обігріву безпечні щодо можливості отруєння і займання;
- перешкоджають появі мікроорганізмів і бактерій;
- забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів;
- дозволяють організацію чергового опалення в неробочий час і вихідні дні;

Приклад: За даними підприємства на потреби опалення та вентиляції в цехах протягом 2021 р. було витрачено Vг = 200 тис. м^3 природного газу.

Пропонується над робочою зоною цеху встановити 30 промислових інфрачервоних обігрівачів IR 3000 компанії Frico потужністю 3 кВт і вартістю Вн = 4970 грн. кожний. В черговому режимі такий обігрівач може мати мінімальну потужність 1 кВт.

З урахуванням чергового режиму, що потребує 30% витрат електроенергії основного режиму, споживання електроенергії в опалювальний період складе:

$$W = n \cdot (P_1 \cdot t_1 \cdot 100 + P_2 \cdot t_2 \cdot 100 + P_2 \cdot 24 \cdot 50),\ \text{кВт·год.}$$

де n – кількість обігрівачів;

P_1, P_2 – потужності нагрівача в основному та черговому режимах;

t_1, t_2, 24 – час роботи опалювальної системи відповідно в основному, черговому режимі в робочі дні і черговому режимі у вихідні дні, годин;

100, 50 – кількість робочих і вихідних днів в опалювальному періоді;

$$W = 30 \cdot (3 \cdot 16 \cdot 100 + 1 \cdot 8 \cdot 100 + 1 \cdot 24 \cdot 50) = 204000,\ [\text{кВт·год.}].$$

Річна економія витрат, грн.

$$E = V_2 \cdot Ц_г - W \cdot Ц_W,$$

де $Ц_г$, $Ц_W$ – тарифи на газ та електроенергію, відповідно грн./тис. м^3 та грн./(кВт·год.).

$$E = 200 \cdot 4700 - 204000 \cdot 1 = 736000\ \text{грн.}$$

Вартість устаткування: $Ву = n \cdot Вн$ = 30 · 4970 = 149100 грн. Витрати на введення в експлуатацію (вартість проекту, транспортування, монтажу) приймаємо в розмірі *Впр.м.* = 100000 грн. Загальні витрати:

$$K = B_y + Впр.м. = 149100 + 100000 = 249100 \text{ (грн.)}.$$

Оцінка простої окупності:

$$T = \frac{K}{E_{витр}} = \frac{249100}{736000} = 0{,}34 \text{ (року)}.$$

Таким чином, оскільки термін окупності невеликий, використання інфрачервоних обігрівачів може бути ефективним і давати економію коштів підприємства більшу, ніж 700 тис. гривень щороку.

2. Перевірка ефективності термоізоляції бака-акумулятора гарячої води.

Металеві гарячі поверхні труб та баків характеризуються значними втратами тепла, що викликає нераціональне використання палива в котельнях.

Тому результатом енергоаудиту повинен бути вибір найбільш ефективного теплоізоляційного матеріалу.

За структурою теплоізоляційні матеріали ділять: на волокнисті (скловолокнисті, мінераловатні та ін), зернисті (перлітові, вапняно-кремнеземисті та ін), комірчасті (пінопласти, пінополистироли та ін.).

За формою і зовнішньому вигляду розрізняють: на формені (плити, циліндри, сегменти), рулонні (мати, смуги, матраци), пухкі й сипучі (мінеральна і скляна вата).

Еталоном серед ізоляційних матеріалів багато десятків років є пінополіуретан (ППУ). Його перевагами над іншими ізолюючими матеріалами є простота використання, довговічність, універсальність призначення і цінова доступність.

Властивості ППУ.

Затребуваність матеріалу визначається комплексом його характеристик. Висока механічна міцність, зносостійкість, термічна стійкість, екологічність - ось якості, що формують попит на пінополіуретан.

Низька водовбірна здатність ППУ (менше 1% від обсягу) дозволяє використовувати спінений полімер без додаткового вологозахисту. Прямий контакт з атмосферою не знижує експлуатаційних властивостей пінополіуретану.

Теплопровідність ППУ витримується на рівні 0,019-0,035 Вт/м^2. За спостереженнями, застосування пінополіуретану в якості теплоізолятора будови дозволяє знизити витрату котельного палива на 80%.

Діапазон експлуатаційних температур матеріалу в межах від -150 ° С до +150 ° С, що дає можливість застосовувати ППУ як при спорудженні потужних холодильних установок, так і при зведенні опалювальних систем.

За ступенем стійкості до хімічно активних речовин пінополіуретан оцінюється як досить стійкий. Солона вода, лужні розчини, рідкі мила, вуглеводневі органічні розчинники, жири не роблять впливу на стан ППУ. У кислому середовищі, у присутності ацетону, спиртів, хлоровуглецевих з*єднань пінополіуретан вбирає деяку кількість речовини і набухає. Розчиняти спінений полімер можуть лише концентровані сірчана й азотна кислоти.

Адгезивні властивості ППУ характеризуються зусиллям, необхідним для відриву отверділого складу від поверхні. Деструкційна навантаження для покриттів з пінополіуретану коливається в межах від 1 до 2 кг/см^2, що відповідає високим вимогам до міцності.

Проектний термін служби покриттів і утеплювачів з пінополіуретану становить 25-30 років. Практика використання ППУ показує: навіть через 50 і більше років нормальної експлуатації матеріал в цілому зберігає свої властивості.

Способи застосування ППУ: напилення і формований пінополіуретан

Недоліки ППУ.

Під впливом високої температури (перебуваючи у вогнищі, пінополіуретан здатний розкладатися з виділенням токсичних речовин. Незахищений введенням апірогенних речовин до складу суміші, ППУ досить легко запалюється. Тому необхідно вживати додаткових заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.

Рідкі компоненти ще не отверділого ППУ становлять небезпеку для органів дихання людини. Робота з напиленням пінополіуретану вимагає обов'язкового застосування респіраторів і масок.

Жорстке ультрафіолетове випромінювання здатне руйнувати ППУ. Річні втрати пінополіуретану, розташованого на сонці, можуть доходити до 0,1 мм. Правда, подібні процеси спостерігаються в основному в умовах екваторіальній інсоляції. Забарвлення ізоляційного шару споруди практично знімає проблему.

Приклад. У котельні заводу встановлений бак-акумулятор гарячої води місткістю V = 22,8 м^3 , який виконує функцію деаератора парового котла і служить також для збирання конденсату. Сумарна зовнішня поверхня баку F = 65,0 м^2 . На даний час бак неізольований. Температура на зовнішніх поверхнях коливається від 60°С до 80°С. Мають місце втрати тепла в навколишнє середовище через неізольовані стінки бака. Пропонується здійснити ізоляцію баку шляхом напилення пінополіуретану з подальшим забарвленням алюмінієвою фарбою, що знизить втрати тепла в навколишнє середовище на 90 ... 95%.

Розрахунок річної економії енергії. Сумарна поверхня, на якій відсутня термоізоляція, складає F = 65,0 м^2. Втрати тепла в навколишнє середовище визначаємо за формулою:

$$Q_{втр} = L_b \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}$$

де L_b – коефіцієнт тепловіддачі,

$$L_b = 8{,}4 + 0{,}06(t_{пов} - t_{нс}), \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot {}^\circ\text{C)}$$

тут $t_{пов}$ – температура поверхні бака, $t_{пов} = 70\,^\circ\text{C}$;

$t_{нс}$ – середньорічна температура навколишнього повітря в приміщенні бака акумулятора, $t_{нс} = 18\,^\circ\text{C}$;

τ – тривалість роботи баку-акумулятора, яку можна розрахувати за формулою

$$\tau = 24 \cdot n_{оп} + 3 \cdot n_{неоп},$$

тут $n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду, $n_{оп} = 114$ днів;

$n_{неоп}$ – тривалість неопалювального періоду, $n_{неоп} = 140$ днів.

Отже:

$$L_b = 8{,}4 + 0{,}06(70 - 18) = 11{,}52 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot {}^\circ\text{C)},$$

$$\tau = 24 \cdot 114 + 3 \cdot 140 = 3156 \text{ годин},$$

$$Q_{втр} = 11{,}52 \cdot 65 \cdot (70 - 18) \cdot 3156 \cdot 10^{-6} = 122{,}9 \text{ Гкал}.$$

Питома витрата газу по котельній становить b =162 м^3 /Гкал. Економія газу, враховуючи, що ефективність термоізоляції прийнята за 90 % становитиме

$$V_г = Q_{втр} \cdot b \cdot 0{,}9 = 122{,}9 \cdot 162 \cdot 0{,}9 = 17918{,}8 \text{ м}^3\text{/рік}.$$

Вартість зекономленого газу враховуючи, що вартість 1м^3 газу для промислових підприємств становить $C_г = 4{,}6$ грн/м^3,

$$E_з = V_г \cdot C_г = 17918{,}8 \cdot 4{,}6 = 82426{,}5 \text{ грн./рік}.$$

Розрахунок вартості термоізоляції.

Вартість напилення 1м^2 ізоляції коштує *Віз* =110 грн. Капіталовкладення в напилення усієї поверхні враховуючи, що накладні витрати складають 30%, становитимуть

$$K = B_{із} \cdot F \cdot 1{,}3 = 110 \cdot 65 \cdot 1{,}3 = 9295 \text{ грн}.$$

Розрахунок простого терміну окупності напилення бака-акумулятора

$$T = \frac{K}{E_г} = \frac{9295}{82426{,}5} = 0{,}1 \text{ року}.$$

Лекція 16. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ. Ч.4.

1. Перевірка ефективності використання твердопаливних котлів в системах опалення житлових об'єктів.

Досить часто будинки будують в місцях, віддалених від газопроводу. В цьому випадку, як джерело теплопостачання, часто розглядають твердопаливні котли, які можуть працювати на дровах або пелетах (деревні гранули циліндричної форми).

Призначення твердопаливного котла:

Призначений для передачі теплової енергії дров (чи вугілля) в теплоносій системи опалення шляхом його нагріву.

Котли твердопаливні можна поділити на:

1. Піролізного та традиційного горіння;
2. Чавунні та сталеві;

Традиційні твердопаливні котли:

В даних котлах просто згорає паливо. Коефіцієнт корисної дії (ККД) коливається від 60% до 70%. Тривалість горіння від 2 до 4,5 годин, без акумуляційної ємності. І якщо такий котел на дровах підключити з акумуляційною ємністю, то можна добитися того, що тривалість між докладанням палива в котел можна збільшити на 1-10 годин. Це залежить від об'єму ємності, якості дров, температури навколишнього середовища, утеплення об'єкту та від підібраної автоматики системи опалення. Чистити такий потрібно хоча б раз в три дні, якщо палити дровами; і кожен день, якщо вугіллям.

Піролізні твердопаливні котли:

Це котли зворотного горіння з двома камерами згорання. Верхня – це камера завантаження палива; нижня – це камера згорання (тут відбувається піроліз). В цих твердопаливних котлах не просто згорає паливо. Тут з палива ще добувається газ, який також згорає. Відповідно ми отримуємо більше тепла. ККД коливається від 82% до 94%. Тривалість горіння від 6 до 8 годин без акумуляційної ємності. І якщо такий котел підключити з акумуляційною ємністю, то можна добитися того, що тривалість між докладанням палива в котел можна збільшити на 1-10 годин. Це залежить від об'єму ємності, якості дров, температури навколишнього середовища, утеплення об'єкту та від підібраної автоматики системи опалення. Чистити такий котел рекомендовано раз в тиждень, якщо палити дровами і раз на день, якщо вугіллям. Сама чистка котла займає до 5 хвилин.

Чавунні твердопаливні котли: Перевагою цього котла є те, що чавун довговічніший ніж сталь. Але тут також є і мінуси. Вони «лопають» від перепаду температур. Тобто, якщо котел буде перегріватись, ви не зможете різко його охолодити, наприклад холодною водою…

Сталеві твердопаливні котли:

Великою перевагою стальних котлів є те, що вони можуть витримувати різкі перепади температур – це дуже важливо. Особливо важливо це тоді, коли твердопаливний котел вже немає куди дівати тепло, а в ньому ще залишилось половина дров. Мінусом сталевих твердопаливних котлів є менша довговічність, а ніж у чавунних котлів…

Приклад перевірка ефективності твердопаливного котла

Характеристики системи опалення для газового котла:
Вартість газу: $B_г = 0{,}725$ грн./м^3;
Вартість електроенергії: $B_{електр.} = 0{,}28$ грн./кВт·год.

Характеристики системи опалення для газового котла:
Марка котла – Ferroli Domiproject;
Вартість котла: $B_к = 5228$ грн;
Мінімальне споживання газу: $V_{г.мін} = 0{,}88$ м^3/год.;
Максимальне споживання газу: $V_{г.макс} = 2{,}73$ м^3/год.;
Електрична потужність: $P = 80$ Вт;

Характеристики системи опалення для електричного котла:
Марка котла – EremHD 21;
Вартість котла: $B_к = 3499$ грн;
Електрична потужність: $P = 21$ кВт;
Максимальна температура теплоносія: $t_{макс} = 85$ °С;
Площа обігріву приміщення: $S_{обіг.прим} = 180 - 250$ м^2;

Характеристики системи опалення з твердопаливним котлом:
Марка котла – Buderus Logano G211-20D;
Вартість котла: $B_к = 10500$ грн;
Електрична потужність: $P = 21$ кВт;
Максимальна температура теплоносія: $t_{макс} = 85$ °С;
Площа обігріву приміщення: $S_{обіг.прим} = 180 - 250$ м^2;

Таблиця 1 – Параметри твердопаливного котла

	Номінальна потужність $P_{ін}$, кВт	Мінімальна потужність $P_{мін}$, кВт	Номінальне споживання палива, кг/год	Мінімальне споживання палива, кг/год	Вартість палива $\hat{A}_i$, грн/кг
Дрова	16	8	4,85	2,15	0,4
Вугілля	18	9	3,6	1,9	0,7

Розрахунок вартості опалення газовим котлом:

Вартість розраховується за формулою

$$B_{оп.г} = \left(V_{г.сер} \cdot B_г + P \cdot B_{ел.ен}\right) \cdot t_{доб} \cdot T_{оп}, \text{ грн}$$

де $t_{доб}$ – середня тривалість роботи котла за добу, год.;

$T_{оп}$ – тривалість опалювального сезону, діб;

$V_{г.сер}$ – середнє споживання газу котлом

Приймаємо $t_{доб} = 24$ год, $T_{оп} = 170$ днів, $V_{г.сер} = 1{,}4$ м^3/год. Тоді

$$B_{оп.г} = (1{,}4 \cdot 0{,}725 + 0{,}08 \cdot 0{,}28) \cdot 24 \cdot 170 = 4232{,}6 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості опалення електричним котлом:

Вартість розраховується за формулою

$$B_{оп.ел} = P_{с.к} \cdot B_{елен} \cdot t_{доб} \cdot T_{оп}, \text{ грн}$$

де $P_{с.к}$ – середньодобова потужність котла, кВт.

Приймаємо $P_{с.к} = 7$ кВт. Тоді

$$B_{оп.ел} = 7 \cdot 0{,}28 \cdot 24 \cdot 170 = 7997 \text{ грн..}$$

Розрахунок вартості опалення твердопаливним котлом:

Вартість розраховується за формулою

$$B_{оп.тв.} = m_{п.с} \cdot B_п \cdot t_{доб} \cdot T_{оп}, \text{ грн}$$

де $m_{п.с}$ – середнє споживання палива, кг/год.

Приймаємо $m_{п.с} = 2{,}96$ кг/год (для дров), $m_{п.с} = 2{,}4$ кг/год (для вугілля). Тоді

для котла на дровах

$$B_{оп.тв.} = 2{,}96 \cdot 0{,}4 \cdot 24 \cdot 170 = 4830{,}7 \text{ грн.}$$

для котла на вугіллі

$$B_{оп.тв.} = 2{,}4 \cdot 0{,}7 \cdot 24 \cdot 170 = 6854 \text{ грн.}$$

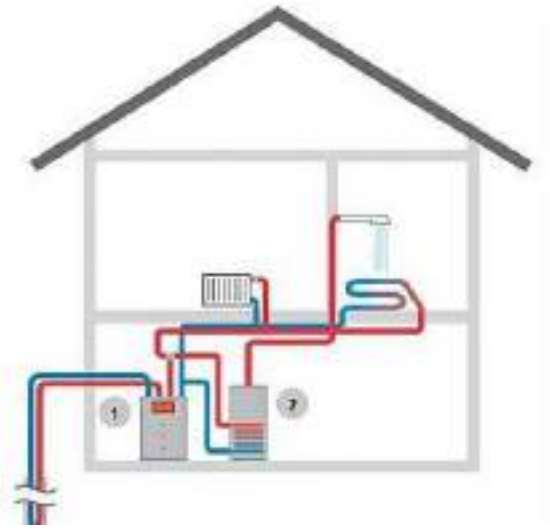
Таким чином, використання твердопаливного котла може бути вигіднішим за електричний і, за умови купівлі дешевших вугілля або дров (їх ціна не є стабільною на ринку паливних матеріалів) – вигіднішим за газовий.

2. Перевірка ефективності використання теплових насосів в системах опалення житлових об'єктів.

Тепловий насос - це злегка перетворений холодильник. В обох є випарник, компресор, конденсатор і дроселюючий пристрій. Цикл роботи в холодильника та насоса абсолютно однаковий, відрізняються тільки параметри настроювання. Навіть зовні, по розмірах і формі, вони схожі один на одного.

Холодильник працює, викачуючи тепло назовні, тепловий насос працює за таким же принципом тільки навпаки - він нагнітає тепло з вулиці або із ґрунту у Вашу вітальню. У холодильнику майже не відчувається тепло продуктів, яке, в остаточному підсумку, виділяється у вигляді досить гарячого потоку повітря, що відходить від трубчастої панелі конденсатора ("радіатор" на задній стінці). Тому, якщо з холодильника витягти випарну камеру (із трубами) і закопати в землю, ми й одержимо тепловий насос, що буде обігрівати кімнату теплим повітрям. А якщо конденсатор холодильника обмивати водою, то її, нагріту, можна використати в радіаторах опалення або у теплій підлозі.

Принцип дії теплового насосу заснований на циклі Карно, добре відомому зі шкільного курсу фізики:



Основними складовими частинами внутрішнього контуру теплових насосів є:
1. Конденсатор
2. Капіляр
3. Випарник
4. Компресор, що одержує енергію від електричної мережі.

Крім того, у внутрішньому контурі є:
- терморегулятор, що є керує тепловим насосом
- холодоагент, що циркулює в системі (газ із певними фізичними характеристиками).

Холодоагент під тиском через капілярний отвір надходить у випарник, де за рахунок різкого зменшення тиску відбувається випар. При цьому холодоагент віднімає тепло у внутрішніх стінок випарника, а випарник, у свою чергу, відбирає тепло в земляного контуру, за рахунок чого відбувається його постійне охолодження. Компресор засмоктує з випарника холодоагент, стискає його, за рахунок чого температура холодоагенту підвищується й виштовхує в конденсатор. Крім того, у конденсаторі, нагрітий у результаті стиску холодоагент віддає отримане тепло (температура порядку 85-125 градусів Цельсія) в опалювальний контур й остаточно переходить у рідкий стан. Процес повторюється знову. При досягненні необхідної температури терморегулятор розмикає електричний ланцюг і компресор зупиняється. При зниженні температури в опалювальному контурі терморегулятор знову включає компресор. Холодоагент у теплових насосах робить зворотний цикл Карно.

Таким чином, робота теплового насоса схожа із процесом холодильника. Тепловий насос перекачує низькопотенційну теплову енергію ґрунту, води або навіть повітря у відносно високопотенційне тепло для опалення об'єкта. Приблизно 2/3 опалювальної енергії можна одержати безкоштовно із природи: ґрунту, води, повітря і тільки 1/3 енергії необхідно витратити для роботи самого теплового насоса. Іншими словами, власник теплового насоса заощаджує 70% коштів, які, при опаленні свого будинку, магазина, цеху і т.ін. традиційним способом, він би регулярно витрачав на дизпаливо або електроенергію.

Попросту, тепловий насос бере теплову енергію із землі (води, повітря) і «перекачує» її в опалювальний будинок.

Тепловий насос використовує тепло, що знаходиться у "розпорошеному" стані в навколишнім середовищі: у землі, воді, повітрі (його фахівці називають низькопотенційним теплом). Затративши 1 квт електроенергії в приводі насоса, можна одержати 3-4 квт теплової енергії. Теплові насоси застосовують, щоб опалювати будинку, готовити гарячу воду, прохолоджувати або осушувати повітря в кімнатах, вентилювати приміщення.

Переваги. Основні переваги теплових насосів:

1) Економічність. Тепловий насос використовує введену в нього енергію на голову ефективніше будь-яких котлів, що спалюють паливо. Величина КПД у нього багато більше одиниці. Між собою теплові насоси порівнюють по особливій величині - коефіцієнту перетворення тепла - Кпт (його ще називають коефіцієнт трансформації тепла, потужності, перетворення температур). Він показує відношення одержуваного тепла до витраченої енергії. Приміром, Кпт = 3,5 означає, що, підвівши до машини 1 квт, на виході ми одержимо 3,5 квт теплової потужності, тобто 2,5 квт природа пропонує нам безоплатно.

2) Повсюдність застосування. Джерело розсіяного тепла можна виявити в будь-якому куточку планети. Земля та повітря найдуться на самій занедбаній ділянці, удалині від газових магістралей і ліній електропередач - скрізь цей агрегат роздобуде для себе "їжу", щоб безперебійно опалювати ваш будинок, не залежачи від капризів погоди, постачальників дизельного палива або падіння тиску газу в мережі. Навіть відсутність потрібних 2-3 квт електричної потужності не перешкода. Для привода компресора в деяких моделях використають дизельні або бензинові движки.

3) Екологічність. Тепловий насос не тільки заощадить гроші, але й збереже здоров'я мешканцям будинку і їхнім спадкоємцям. Агрегат не спалює паливо, а отже, не утворяться шкідливі окисли типу CO, CO_2, NO_x, SO_2 ,

Pb_2. Тому навколо будинку на ґрунті немає слідів сірчаних, азотистих, фосфорної кислот і бензольних з'єднань. Та й для планети застосування теплових насосів - благо.

Адже, за великим рахунком, на ТЕЦ скорочується витрата палива на виробництво електрики. Застосовувані ж у теплових насосах фреони не містять хлорвуглецю та озонобезпечні.

4) Універсальність. Теплові насоси мають властивість оборотності (реверсивності). Вони вміють відбирати тепло з повітря будинку, прохолоджуючи його. Улітку надлишкову енергію іноді відводять на підігрів басейну.

5) Безпека. Ці агрегати практично вибухо- та пожежебезпечні. Немає палива, немає відкритого вогню, небезпечних газів або сумішей. Вибухати тут просто нема чому, не можна також учадіти або отруїтися. Жодна деталь не нагрівається до температур, здатних викликати запалення горючих матеріалів. Зупинки агрегату не призводять до його поломок або замерзання рідин. По суті, тепловий насос небезпечний не більш, ніж холодильник.

Особливості. При застосуванні теплових насосів необхідно пам'ятати, що для всіх типів теплових насосів характерний ряд особливостей.

1. По-перше, тепловий насос виправдує себе тільки в добре утепленому будинку, тобто з тепловтратами не більше 100 Вт/м^2. Чим тепліше будинок, тим більше вигода. Як ви розумієте, опалювати вулицю, збираючи на ній же крохи тепла, - заняття дурне.

2. По-друге, чим більше різниця температур теплоносіїв у вхідному й вихідному контурах, тим менше коефіцієнт перетворення тепла (Кпт), тобто менше економія електроенергії. Тому більш вигідне підключення агрегату до низькотемпературних систем опалення. Насамперед, мається на увазі обігрів від водяних підлог або теплим повітрям, тому що в цих випадках температура теплоносія має бути не вище 35°С.

3. По-третє, для досягнення більшої вигоди практикується експлуатація теплових насосів у парі з додатковим генератором тепла (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення). У будинку з великими тепловтратами ставити насос великої потужності (більше 30 квт) невигідно. Він громіздкий, а буде працювати на повну силу всього лише біля місяця. Адже кількість дійсно холодних днів не перевищує 10-15% від тривалості опалювального сезону. Тому часто потужність теплового насоса призначають рівної 70-80% від розрахункової опалювальної. Вона буде покривати всі потреби будинку в теплі доти, поки вулична температура не опуститься нижче певного розрахункового рівня (температури бівалентності), наприклад, мінус 5-10°С. Із цього моменту в роботу включається другий генератор тепла. Є різні варіанти його використання. Найчастіше таким помічником служить невеликий електронагрівник, але можна поставити й рідкопаливний котел. Можливі й більш складні теплові бівалентні схеми, наприклад включення сонячного колектора. Для цього, у деяких серійних системах теплових насосів і сонячних колекторів така можливість передбачена в конструкції. У цьому випадку, змішування тепла, що йде від теплового насоса (це досить інерційна система) і від сонячного колектора (малоінерційна система) робиться в бойлері.

Лекція 17. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ. Ч.5.

1. Використання сонячних колекторів.

Сонячний колектор - пристрій для збору теплової енергії Сонця (гелиоустановка), переносимої видимим світлом і ближнім інфрачервоним випромінюванням.

Плоский сонячний колектор - найбільш поширений тип. Він складається з алюмінієвого корпусу, всередині якого розташоване селективне покриття, трубки віддають тепло і в них циркулює теплоносій. Бічні стінки й дно колектора мають ізоляційний шар, який зменшує тепловтрати в навколишнє середовище.

Вакуумний сонячний колектор - має Високоселективне поглинаюче покриття, яке нанесено на внутрішню частину вакуумної трубки, по якій циркулює рідина (теплоносій). У проміжку між зовнішньою і внутрішньою трубкою знаходиться вакуум, який є поганим провідником тепла, внаслідок чого втрати тепла незначні.

Плоский сонячний колектор. Плоский колектор складається з елемента, поглинаючого сонячне випромінювання (абсорбер), прозорого покриття і термоізолюючого шару. Абсорбер пов'язаний з системою, що проводить тепло. Він покривається чорним кольором або спецрозчином, для підвищення ефективності. Прозорий елемент зазвичай виконується із загартованого скла з пониженим вмістом металів, або особливого рифленого полікарбонату. Задня частина панелі покрита теплоізоляційним матеріалом (наприклад, поліізоціануріт). Трубки, по яких поширюється вода, виготовляються зі зшитого поліетилену (PEX) або міді. Сама панель є повітронепроникною, для чого отвори в ній закладаються силіконовим герметиком.

При відсутності розбору тепла (застої) плоскі колектори здатні нагрівати воду до 190-200 ° С.

Чим більше падаючої енергії передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна, застосовуючи спеціальні оптичні покриття, не випромінюючі тепло в інфрачервоному спектрі. Стандартним рішенням підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбера з листової міді через її високу теплопровідності, оскільки застосування міді проти алюмінію дає виграш 4% (хоча теплопровідність алюмінію вдвічі менше, що означає значне перевищення "запасу потужності" по теплопередачі), що незначно в порівнянні з ціною).

Вакуумний сонячний колектор.

Можливе підвищення температур теплоносія аж до 250-300 ° С в режимі обмеження відбору тепла. Домогтися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат в результаті використання багатошарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму. Фактично сонячна теплова труба має пристрій схоже з побутовими термосами. Тільки зовнішня частина труби прозора, а на внутрішній трубці нанесено високоселективне покриття, що вловлює сонячну енергію. Між зовнішньою і внутрішньою скляною трубкою знаходиться вакуум. Саме вакуумний прошарок дає можливість зберегти близько 95% уловлюваної теплової енергії. Крім того, в вакуумних сонячних колекторах знайшли застосування теплові трубки, що виконують роль провідника тепла. При опроміненні установки сонячним світлом, рідина, що знаходиться в нижній частині трубки, нагріваючись перетворюється на пару. Пара піднімається у верхню частину трубки (конденсатор), де конденсуючись передає тепло колектору. Використання даної схеми дозволяє досягти більшого ККД (у порівнянні з плоскими колекторами) при роботі в умовах низьких температур і слабкої освітленості. Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду до температури кипіння навіть при негативній температурі навколишнього середовища.

Будова побутового колектора.

Теплоносій (вода, повітря або антифриз) нагрівається, циркулюючи через колектор, а потім передає теплову енергію в бак-акумулятор, що накопичує гарячу воду для споживача. У найпростішому варіанті циркуляція води відбувається природно через різницю температур в колекторі і баку-акумуляторі, який розташовується вище. У більш складному варіанті колектор має свій контур, заповнений водою або антифризом. У контур включається насос для циркуляції теплоносія. Бак може розташовуватися як безпосередньо поряд з

колектором, так і всередині будівлі. У тих випадках, коли сонячній енергії недостатньо, температуру води на потрібному рівні підтримує додатковий електричний нагрівальний елемент, який встановлюють за баком-акумулятором. Таке рішення дозволяє підвищити ефективність сонячної установки, оскільки ККД сонячного колектора знижується з ростом температури теплоносія. Бувають і сонячні водонагрівальні установки акумуляційного типу, в яких відсутній окремий бак-акумулятор, а нагріта вода зберігається безпосередньо в сонячному колекторі. У цьому випадку установка являє собою близький до прямокутної форми бак.

Переваги плоских та вакуумних колекторів

Вакуумні трубчасті	**Плоскі високоселективні**
Низькі тепловтрати	Здатність очищатися від снігу та інею
Працездатність в холодну пору року до-30С	Висока продуктивність влітку
Здатність генерувати високі температури	Відмінне співвідношення ціна / продуктивність для південних широт і теплого клімату
Тривалий період роботи протягом доби	Можливість встановлення під будь-яким кутом
Зручність монтажу	Менша початкова вартість
Низька парусність	
Відмінне співвідношення ціна / продуктивність для помірних широт і холодного клімату	

Недоліки плоских та вакуумних колекторів

Вакуумні трубчасті	**Плоскі високоселективні**
Нездатність до самоочищення від снігу	Високі тепло втрати
Відносно висока початкова вартість проекту	Низька працездатність у холодну пору року

2. Використання сонячних та вітроелектростанцій.

Всі фотоелектричні системи (ФЕС) можна розділити на два типи: автономні і сполучені з електричною мережею. Станції другого типу віддають надлишки енергії в мережу, яка служить резервом в разі виникнення внутрішнього дефіциту енергії. Автономна система в загальному випадку складається з набору сонячних модулів (СМ), розміщених на опорній конструкції або на даху, акумуляторної батареї (АКБ), контролера заряду акумулятора, сполучних кабелів. Якщо споживачеві необхідно мати змінну напругу, то до цього комплекту додається інвертор-перетворювач постійної напруги в змінну.

Рисунок 1 – Структурна схема фотоелектричної станції

Для визначення доцільності встановлення ФЕС необхідно пройти декілька етапів:

1. Визначити доцільність виходячи з місця розташування споживача електроенергії і його відстані до системи електропостачання. Доцільне встановлення ФЕС зокрема для жителів Криму, Карпат і інших місць, віддалених від ліній електропередач, а також для тих споживачів, які мають часті перебої в електропостачанні.

2. Визначення сумарної потужності усіх споживачів, що підключаються одночасно. Потужність кожного з них вимірюється у ватах і вказана в паспортах виробів.

3. Вибір потужності інвертора, яка повинна бути не менше, ніж в 1,25 рази більше розрахункової. Слід мати на увазі, що такий хитрий прилад як компресорний холодильник у момент запуску споживає потужність в 7 разів більше паспортної. Номінальний ряд інверторів 150, 300, 500, 800, 1500, 2500, 5000 Вт. Для потужних станцій (більше 1кВт) напруга станції вибирається не менше 48 В, тому на великих потужностях інвертори краще працюють з вищих вихідних напруг.

4. Вихначення ємності АКБ. Ємність АКБ вибирається зі стандартного ряду ємностей з округленням у бік, більший розрахункової. Розрахункова ємність визначається за виразом

$$E = \frac{P_{\Sigma сп}}{U_{АКБ} \cdot G}, \text{ А·год}$$

де $P_{\Sigma сп}$ – сумарна потужність електроприймачів, Вт

$U_{АКБ}$ – напруга АКБ, В

G – глибина розряду акумулятора (в частках)

Наприклад, якщо сумарна витрата енергії споживачів становить 1000 Вт·год в добу, а допустима глибина розряду АКБ 12 В - 50%, то розрахункова місткість складе:

$$E = \frac{1000}{12 \cdot 0{,}5} = 167 \text{ (А·год.)}$$

При розрахунку ємності АКБ в повністю автономному режимі необхідно брати до уваги і наявність у природі похмурих днів в перебігу яких акумулятор повинен забезпечувати роботу споживачів.

5. Визначення сумарної потужності і кількості сонячних модулів.

6. Вибір контролера заряду-розряду.

Незважаючи на те, що його вартість становить менше 1% від загальної вартості системи, він відіграє ключову роль в ефективній роботі ФЕС. Він охороняє акумуляторну батарею від перезаряду і глибокого розряду, тим самим продовжуючи термін служби батареї.

За допомогою сонячної системи з акумуляторами можна підтримувати роботу домашніх електроприладів за умови, що їх енергоспоживання не перевищує кількості енергії, виробленої «сонячним» генератором. Тому потрібно правильно визначити потужність системи (utem.org.ua).

Першим кроком є складання специфікації, тобто, технічний опис системи. Спочатку потрібно скласти список всіх електроприладів в будинку, з'ясувати їх потужність і занести в список.

Нижче наведені орієнтовні дані про середні значення потужностей деяких приладів. Це приблизні оцінки. Для того, щоб розрахувати споживану потужність системи з інвертором (для приладів змінного струму), потрібно зробити поправки для кожного приладу.

Втрати в інверторі можуть бути до 20%. Холодильник, компресор в момент пуску споживають потужність в 5-6 разів більше паспортної, тому інвертор повинен витримувати короткочасні перевантаження в 2-3 рази вище номінальної потужності.

Якщо приладів з високою потужністю багато, то для більш дешевого і оптимального вибору інвертора, слід передбачати окреме включення таких приладів при роботі.

Приклад

№ п/п	Навантаження змінного струму	Вт	годин/день	Вт·год/день
1	Електричний чайник	1000	0,15	150
2	Холодильник	250	12	3000
3	Телевізор	150	4	600
4	Освітлення-економні лампи	100	4	400
	Всього	1500	20,15	4 150

Треба оцінити тривалість роботи протягом дня кожного окремого приладу. Наприклад, лампочка в вітальні горить 10 годин на добу.

Кожному приладу в таблиці треба відвести одну стрічку і провести облік денного споживання, щоб в кінці таблиці вийти на загальну потужність.

Прилад	Потужність, Вт	Кількість годин роботи в день	Енергоспоживання в день, Вт·год
Енергом лампа 1	20	4	80
Енергом лампа 2	15	1	15
Енергом лампа 3	20	2	40
Радіоприймач	4	8	32
Холодильник	250	12	3000
Телевізор	150	4	600
Всього	459	31	3767

Після цього треба визначити кількість сонячної енергії, яку можна отримати в даній місцевості. Важливими є два фактори: середньорічна сонячна радіація, а також її середньомісячні значення для гірших погодних умов.

Середньомісячний рівень сонячної радіації в містах України (кВт·год/м.кв./день)													
Середні значення за останні 22 роки	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середньорічне значення
Київ	1,69	2,56	3,15	3,49	4,71	4,19	4,48	4,40	3,14	2,44	1,39	1,44	**3,10**
Львів	1,66	2,49	2,90	3,23	3,96	3,81	3,90	4,06	3,01	2,34	1,48	1,34	**2,85**
Харків	1,19	2,18	3,42	4,48	5,65	5,89	5,83	5,05	3,71	2,24	1,27	0,93	**3,49**
Одеса	1,08	1,78	2,68	3,87	5,40	5,70	6,39	5,63	3,96	2,45	1,06	0,87	**3,41**
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	**2,99**
Ялта	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	**3,58**
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	**3,16**
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,04	4,58	3,33	3,14	1,98	1,10	0,87	**3,06**
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	**3,36**

Виходячи з цієї таблиці, потужність панелей можна вибрати з урахуванням реального споживання, крім випадків надзвичайно тривалих періодів поганої погоди. Використовуючи модулі різної потужності (50, 100, 250 Вт) можна підібрати потужність для власної системи.

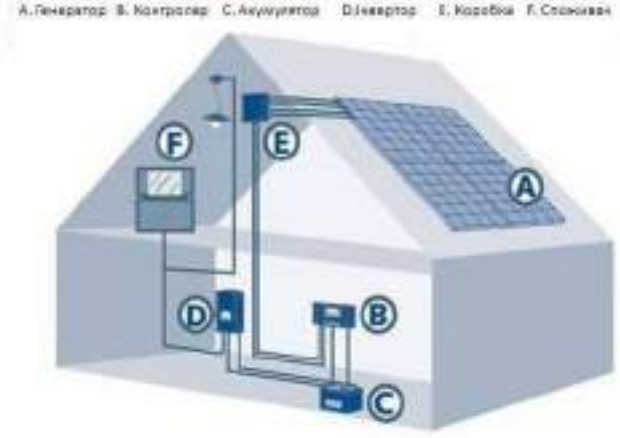
Вибір ємності акумуляторів залежить від потреби в енергії і від кількості панелей – від зарядного струму. Для акумуляторів AGM потрібен 10% зарядний струм. Для панелі на 90 Вт мінімальна ємність акумулятора 60 А·год, а оптимальна – 100 А·год. Вона накопичить 1,2 кВт·год при напрузі 12 В.

Для систем споживання до 1,5 кВт·год в день краще використовувати акумулятори та панелі на 12 В. Системи, які споживають понад 3 кВт·год в день – доцільно комплектувати сонячним генератором і акумулятором з напругою 48 В.

Найбільш доступними за вартістю є автомобільні акумулятори але вони призначені для передачі великих струмів протягом короткого часу. Ці акумулятори погано витримують тривалі цикли зарядки-розрядки, типові для сонячних систем. Спеціальні сонячні акумулятори мають низьку чутливість для роботи в циклічному режимі і низький саморозряд.

Виробники виготовляють акумулятори з різним часом розрядки. Обраний акумулятор повинен мати запас енергії приблизно на 4 доби.

Для того, щоб акумулятор прослужив заявлений виробником термін, він повинен використовуватися в комплекті з якісним контролером заряду. Контролюється струм заряду, який знижується при повністю зарядженому акумуляторі. Перериваються поставки енергії при розрядці до критичного рівня.



Для користування побутовими приладами використовується змінний струм (220В, 50 Гц), а для цього в сонячній системі з акумулятором повинен бути інвертор. Бажано використовувати інвертори з синусоїдальним виходом – це якісна енергія для приладів.

Важливим фактором є термін експлуатації окремих компонентів. Фотопанелі передбачають зниження продуктивності до 80% в 20-му році, хоча можуть працювати 25 років. Каркаси і кріплення теж треба вибирати на такий термін: алюміній або нержавіюча сталь.

Акумулятори мають середній термін служби 4-12 років (залежить від характеру циклів заряд / розряд). Інвертори переважно служать 10-15 років, а гарантійний період встановлюють на 5 років.

Література

Основні джерела

1. Прокопенко В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями [Текст] / Навч. посібник / В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний; - К.: Освіта України, 2009. – 438 с.

2. Соловей О.І. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В, Курбака. - Черкаси: ЧДТУ, 2005. - 299 с.

3. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О. В. Коцар // Навч. посібн. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, — Дніпро: Середняк Т. К., 2017, — 44 с.

4. Закладний, О.М. Енергозбереження засобами промислового електроприводу [Текст] / О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей;— К. : Кондор, 2005. — 408 с. – Библиогр.: - ISBN 966- 7665-23-2.

5. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник. – 2-е видання Х: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.

6. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.

7. Енергетичний аудит: конспект лекцій/ С.В. Сапожніков. – Суми: СумДУ, 2011. – 120 с.

9. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є.М. Іншеков, Є.Є. Нікітін, М.В. Тарновский, А.В. Чернявський. – К.: Поліграф плюс, 2014. – 238 с.

6.2. Допоміжні джерела

10. Типова методика енергетичних обстежень промислових підприємств М0013184.0.33-04. – Київ, 2004. – 80 с.

11. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text

12. ДСТУ БВ.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. https://advansys.ua/wpcontent/uploads/2022/07/DSTU-B-V.2.2-39-2016-Metodi-ta-etapi-provedennya-energetichnogo-auditu-budivel.pdf.

13. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. Нак. Мінрегіон №169 від 11.07.2018.

14. Зеркалов Д.В. Енергозбереження в Україні. [Електронний ресурс] Монографія.– К.: Основа, 2012**.**

15. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.

6.3. Інформаційні ресурси

16. Національна бібліотека ім. В.І. Вернадського / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/tichni-tame.pdf

17. Офіційний сайт Верховної Ради України – Режим доступу: http: //www.zakon.rada.gov.ua

Барсукова Ганна Володимирівна
Юрченко Олександр Юрійович
Лисенко Віта Василівна

Енергетичний аудит

Конспект лекцій

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: жовтень, 2024 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення_____ Ум. друк. арк.