

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ
ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ»
для студентів спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
освітня програма (спеціалізація) «Енергетичний менеджмент»
всіх форм навчання

2020

Конспект лекцій з дисципліни «Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма (спеціалізація) «Енергетичний менеджмент» всіх форм навчання / Укл.: К.О.Братковська. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 70 с.

Укладач: К.О.Братковська, доцент, канд.екон.наук

Рецензент: О.М.Климко, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний
за випуск: О.А.Шрам, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електропостачання
промислових підприємств»
Протокол № 4
від «24» грудня 2019 р.

Рекомендовано до видання
НМК електротехнічного
факультету
Протокол № 6
від «23» січня 2020р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Змістовий модуль 1. Енергоаудит та енергоефективність	5
Тема 1. Основи енергоаудиту	5
Тема 2. Класифікація енергозберігаючих заходів та напрямків підвищення енергоефективності	8
Тема 3. Показники енергоефективності.....	15
3.1 Підходи до оцінки ефективності енерговикористання	15
3.2 Визначення економії первинних та похідних паливно- енергетичних ресурсів	22
3.3 Визначення показників енергоефективності.....	24
Змістовий модуль 2. Техніко-економічне обґрунтування підвищення енергоефективності	27
Тема 4. Техніко-економічне обґрунтування підвищення енергоефективності.....	27
4.1 ТЕО заміни обладнання.....	27
4.2 Формули розрахунку показників ефективності ЕЗЗ.....	40
4.3 Спрощені розрахунки показників ефективності ЕЗЗ	44
Тема 5. Техніко-економічне обґрунтування використання енергоспоживаючого обладнання	47
Змістовий модуль 3. Економічні аспекти управління енерговикористанням	51
Тема 6. Техніко-економічне обґрунтування енергозабезпечення.....	51
Змістовий модуль 4. Оптимізаційні задачі при оцінці економічних аспектів енергоефективності.....	59
Тема 7. Транспортні задачі в підвищенні енергоефективності	59
7.1 Постановка задачі оптимізації джерел енергозабезпечення підприємства.....	59
7.2 Алгоритм використання задачі оптимізації джерел енергозабезпечення підприємства.....	66
Література	69

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності» є формування у студентів на основі базових теоретичних знань про енергетичний аудит та енергетичну ефективність, вмінь визначення проблематики дослідження економічних аспектів процесів підвищення енергоефективності та практичних навичок застосування математичних методів при оцінці економічної ефективності та виборі енергозберігаючих заходів.

Змістовий модуль 1. Енергоаудит та енергоефективність

Тема 1. Основи енергоаудиту

Під енергетичним аудитом розуміють обстеження підприємства, організації або окремих їх ланок із метою визначення можливостей економії енергії шляхом впровадження механізмів ефективного енерговикористання.

Предметом енергетичного аудиту є аналіз споживання палива й енергії та видача рекомендацій щодо ефективного використання енергоресурсів. Об'єктом енергетичного аудиту може бути підприємство, організація, енергетичне устаткування, агрегат, який виробляє, перетворює, передає або споживає енергію.

Енергетичний аудит за суб'єктами можна поділити на внутрішній та зовнішній. Останній проводиться енергосервісними компаніями або енергоаудиторами.

Енергетичний аудит розв'язує такі задачі:

- складання карти використання об'єктом паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР);
- розробка організаційних і технічних заходів, які направлені на зменшення втрат енергії;
- визначення потенціалу енергозбереження;
- фінансова оцінка енергозберігаючих заходів.

Енергетичний аудит складається з наступних етапів.

1. Одержання інформації про об'єкт енергоаудиту:

- збирання первинних даних про споживання палива, води та електроенергії за поточний і попередні роки;
- аналіз структури енергоспоживання та витрат енергії;
- визначення витрат енергоносіїв на одиницю продукції, що випускається на підприємстві та в окремих його підрозділах.

2. Вивчення паливно-енергетичних потреб на об'єкті в цілому та в окремих його підрозділах:

- вивчення схеми технології виробництва і процесів;
- складання схеми споживання ПЕР на об'єкті та карти їх використання;

- складання балансу за видом енергоресурсу, що використовується та загального паливно-енергетичного балансу підприємства;

- виявлення найбільш енергоємних споживачів і збір даних про них;

- складання енергетичного балансу для окремих енергоємних споживачів;

- визначення питомих витрат енергії окремих споживачів.

3. Аналіз ефективності використання ПЕР на об'єкті:

- аналіз ефективності окремих технологічних процесів і використання ПЕР підрозділами об'єкту та споживачами;

- визначення технологічно допустимих втрат палива й енергії та пріоритетів для поглибленого енергетичного аудиту.

4. Поглиблений енергетичний аналіз окремих технологічних процесів і енергоспоживачів:

- проведення додаткових замірів проміжних параметрів і визначення робочих режимів;

- визначення ефективності роботи споживачів;

- розв'язання специфічних питань відповідно домовленостей з керівництвом.

5. Підведення підсумків енергетичного аудиту:

- розробка заходів щодо енергозбереження;

- техніко-економічний аналіз;

- порівняльний аналіз одержаних результатів;

- вибір нових пріоритетів;

- постановка задачі на подальше зниження енергоємності продукції та споживання енергоресурсів.

- складання звіту.

У загальному випадку найефективніше використання енергоресурсів досягається внаслідок: повного завантаження виробництва (в разі 50% завантаження виробництва від проектного рівня важко досягти високої ефективності використання ПЕР); оптимального вибору технологій для основних енергоємних виробництв; високою якістю сировини; ефективної роботи окремих установок і систем (котли, агрегати тощо); низького рівня втрат у системах розподілу енергії (пари, води, газу, стисненого повітря, електроенергії).

Енергоаудит може бути простим оглядом, який ґрунтується на даних, які взяті з лічильників енергії підприємства, або комплексним, що передбачає визначення та ідентифікацію всіх напрямів витрат енергії, а також передбачати встановлення нового постійного вимірювального устаткування, тестування і вимірювання протягом тривалого часу і видачу конкретних рекомендацій.

Спрощений енергоаудит охоплює такий обсяг робіт:

- пропонує базове енергетичне обстеження;
- дозволяє зробити загальні висновки про споживання енергії;
- приділяє особливу увагу невеликій кількості стандартних заходів, які забезпечують економію енергії.

Комплексний енергоаудит проводять професійні енергоаудитори. Він передбачає підрахунок кількості використаної енергії та порівняння її з промисловими нормативами і теоретичним енергоспоживанням, конкретні пропозиції щодо економії енергії, що ґрунтуються на модернізації устаткування, новому технічному обслуговуванні та режимі експлуатації тощо.

Запитання до самоконтролю

1. Що розуміють під терміном енергетичний аудит ?
2. Що є предметом енергетичного аудиту ?
3. Хто може виступати суб'єктом енергетичного аудиту ?
4. Які задачі енергетичного аудиту ?
5. З яких етапів складається енергетичний аудит ?
6. Який об'єм робіт охоплює спрощений енергетичний аудит?

Тема 2. Класифікація енергозберігаючих заходів та напрямків підвищення енергоефективності

Класифікація енергозберігаючих заходів може проводитись за різними класифікаційними ознаками, як то напрями зниження витрат на енергетичні ресурси, ступінь витратності, напрям впливу або вид одержуваного економічного ефекту. Саме правильна класифікація дозволить коректно визначити економічний ефект від енергозберігаючого заходу та термін його окупності.

За напрямками зниження витрат на енергетичні ресурси можна виділити:

- Цільові енергозберігаючі, в яких інвестиції проводяться тільки заради економії енергоресурсу і в яких інвестиції повністю окупаються за рахунок отриманої економії .

- Приростні енергозберігаючі, в яких одна частина інвестицій відноситься до відновлення основних фондів, а інша - до підвищення енергоефективності та енергозбереження. Прикладом є заміна відпрацюваншого термін амортизації або морально застарілого обладнання на енергоефективне. При цьому інвестицією в енергозбереження є тільки різниця між вартістю обладнання.

- Комбіновані енергозберігаючі, в яких інвестиції окупаються не тільки за рахунок економії енергоресурсів, але і внаслідок збільшення прибутку (зниження витрат), викликаних зміною в технологічному процесі, переглядом структури асортименту, зміною витрат на оплату праці і т. п.

- Заходи, що мають нормативний потенціал енергозбереження, спрямовані на пряме скорочення втрат, яке може бути досягнуто за рахунок дотримання нормативних (або проектних) вимог до технологічного процесу. При цьому вони не повинні окупатися за рахунок економії енергоресурсу.

З одного боку, невідповідність поточних параметрів технологічних процесів (що включають в себе виробництво, передачу або споживання енергоресурсу) нормативним може бути викликана накопиченими за життєвий цикл об'єкта помилками: в проектуванні, неправильній експлуатації, внаслідок виникнення дефектів і т. д. , а з іншого - посиленням нормативних вимог. Одним із прикладів служить перекладання теплових мереж, що відслужили термін експлуатації,

яка є заходом з підвищення надійності теплопостачання і повинна своєчасно проводитися в рамках планової ремонтної програми відповідно з термінами служби основних фондів. Але з урахуванням того, що вимоги до тепловтрат в теплових мережах періодично посилюються, вже за рахунок дотримання цих норм і своєчасного оновлення фондів, незалежно від використовуваної технології, можна отримати суттєву економію теплової енергії.

– Заходи, спрямовані на підвищення надійності та енергобезпеки, які не сприяють економії енергоресурсів, але впровадження яких необхідно на об'єкті для забезпечення безвідмовної роботи системи енергопостачання.

– Організаційні, які зазвичай не потребують серйозних витрат і спрямовані на усунення впливу людського фактора на витрату енергетичних ресурсів.

Заходи з енергозбереження **за ступенем витратності** можна розділити на три групи.

Низьковитратні заходи, які можуть бути реалізовані самим споживачем ПЕР:

– Проста інструкція з енергозбереження для персоналу може істотно знизити споживання енергії за рахунок організаційних заходів.

– Підключення економічно більш вигідного тарифу на оплату електроенергії.

– Розробка для кожного підрозділу підприємства науково обґрунтованих норм споживання електроенергії, контроль за дотримання даних норм. Для того щоб отримати об'єктивні дані про споживання енергії, необхідно встановити лічильники на електроенергію в кожному підрозділі підприємства. Норми споживання електрики встановлюються шляхом аналізу отриманих статистичних даних і основних нормують факторів.

– Зменшення втрат електричної енергії шляхом забезпечення рівномірного поділу однофазного навантаження за трьома фазами електричної мережі.

– Оптимізація режимів споживання електроенергії, яка необхідна для того, щоб визначити можливості зменшення заявленої потужності для підприємства, яке сплачує за електрику за нічним і денним режимами, і зменшити плату за споживану електроенергію. Заявлену потужність можна знизити шляхом перенесення частини

виконуваних робіт на інший (наприклад, нічний) час доби, щоб вирівняти графік навантаження.

- Регулярне технічне обслуговування електроустановок.

- Заходи в освітленні приміщень і території підприємства: регулярне чищення освітлювальних приладів, фарбування внутрішніх стін приміщень у світлі тони, використання фотореле для освітлення в темний час доби, розміщення освітлювальних приладів по секціях і групам.

Середньовитратні заходи.

- Заходи у системах освітлення: установка приладів, регулюючих освітленість, заміна освітлювальних приладів, які оснащуються лампами розжарювання, на світильники, які використовують люмінесцентні лампи.

- Заходи в електропостачанні, спрямовані на зниження втрат енергії (розрахунок, підбір і монтаж конденсаторних батарей). Оптимізація схеми постачання електроенергією допоможе знизити витрати на оплату енергії.

- Установка лічильників з реєстрації витрати електроенергії з погодинним обліком спожитої електрики допоможе за допомогою аналізу навантажень підприємства вибрати і перейти на більш вигідний тариф.

- Заходи в електроприводі: автоматизація роботи як окремих, так і груп агрегатів.

Високovitратні заходи.

- Заходи у системах освітлення: заміна освітлювальних приладів з лампами розжарювання на світлодіодні світильники.

- Заходи в електропостачанні: установка нового сучасного комутаційного обладнання замість застарілого, удосконалення підстанцій, монтаж нових електромереж, створення АСКОВЕ (автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії) на підприємстві.

- Заходи в технологічному процесі: внесення змін в технологічний процес, які допоможуть зменшити енерговитрати і втрати електроенергії.

- Заходи в електроприводі: установка частотно-регульованих електроприводів змінного струму замість приводів постійного струму.

За напрямими впливу енергозберігаючі заходи можна класифікувати таким чином:

Організаційно-адміністративні:

- навчання співробітників підприємства;
- організація розрахунків з оптимізації роботи енерго- та паливоспоживального обладнання;
- оптимізація роботи і контроль за роботою обладнання;
- моніторинг виконання енергозберігаючих заходів, відстеження динаміки споживання ресурсів.

Технологічні заходи:

- використання сучасних технологій обігріву (інфрачервоний обігрів, тепла підлога);
- використання сучасних теплоізоляційних матеріалів.

Агрегатні заходи:

- використання обладнання з підвищеним ККД;
- застосування конденсаційних і поверхнево-контактних технологій в котлах;
- застосування паро-газових циклів при виробництві теплової та електричної енергії.

Автоматизовані види заходів:

Електрична енергія:

- давачі присутності, ЧРП, «сплячий режим»;

Теплова енергія:

- керування опаленням в режимах «за зонами»;
- «День -ніч», «робочі- вихідні дні».
- розробка алгоритмів роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

Інструментальні види заходів з енергозбереження:

- прямі вимірювання витрати ресурсів на виконання виробничих завдань;
- моніторинг та регулярний аналіз можливостей використання сучасних технологій для ресурсозбереження.

Класифікацію організаційно-технічних заходів **щодо економії ПЕР** можна провести згідно рисунку 2.1:

- зниження споживання енергії;
- заміщення використовуваних енергоресурсів іншими джерелами енергії;

– підвищення коефіцієнта використання ПЕР.

Разом з тим слід враховувати ряд факторів, які можуть призводити до збільшення споживання ПЕР, але при цьому як удосконалювати саму технологію, так і підвищувати якість кінцевої продукції. До факторів, що підвищують питому витрату ПЕР, можна перш за все віднести охорону навколишнього середовища, підвищення безпеки і надійності технологічного обладнання, а також підвищення (розширення) споживчих якостей продукції.



Рисунок 2.1 – Класифікація організаційно-технічних енергозберігаючих заходів щодо економії ПЕР

За видом і складом одержуваного економічного ефекту енергозберігаючі заходи можна розділити таким чином.

1. Заходи в системі енергопостачання, що не впливають на виробничий процес. Економічний ефект при реалізації даного типу заходів може досягатися за рахунок скорочення енергетичних втрат і витрат виробництва, передачі та розподілу енергії на ТЕЦ і в котельнях, в компресорних і холодильних станціях і т. п.; в теплових, електричних та інших енергетичних мережах; в трансформаторах, центральних бойлерних і т. п.

2. Заходи в системі енергопостачання, що впливають на виробничий процес. При проведенні подібних заходів може помінятися кількість і якість енергії, що передається з системи енергопостачання в систему енерговикористання, а в результаті - реконструюється або інтенсифікується виробничий процес. Економічний ефект в цьому випадку досягається за рахунок економії енергії та скорочення витрат при виробництві, передачі і розподілі енергії, а також відбувається отримання вигод у самому виробничому процесі (збільшення випуску продукції, підвищення її якості, скорочення витрати матеріалів і т. д.).

3. Заходи в системі енерговикористання, які не впливають на технологічний процес. До цих заходів відносяться всі роботи у допоміжних системах забезпечення основного технологічного процесу (наприклад, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, освітлення), а також у допоміжних цехах і службах, якщо вони безпосередньо не впливають на основний технологічний процес. Економічний ефект в цьому випадку досягається за рахунок економії енергії у допоміжному виробництві, скорочення експлуатаційних витрат в основному і допоміжному виробництві.

4. Заходи в системі енерговикористання, що впливають на технологічний процес. В системі енерговикористання таких робіт більшість, так як енергоспоживаючі агрегати прямо вбудовані в технологічний процес. Економічний ефект в цьому випадку досягається за рахунок економії енергії та скорочення експлуатаційних витрат в основному виробництві.

5. Заходи, що підвищують надійність роботи енергоустановок. Вони можуть здійснюватися як в системі енергопостачання, так і в системі енерговикористання. Економічний ефект в даному випадку визначається у вигляді запобігання (або зниження) збитку від неякісного енергопостачання (наприклад, від перерв в енергопостачанні, відхилення параметрів енергії від заданих і т. п.).

Запитання до самоконтролю

1. Поясніть, чому важлива правильна класифікація енергозберігаючих заходів?
2. Як поділяють енергозберігаючі заходи за напрямками зниження витрат на енергетичні ресурси? Наведіть приклади.
3. Наведіть приклади організаційно-технічних заходів у системах електропостачання за ступенем витратності.
4. Як можна розділити енергозберігаючі заходи за складом одержуваного економічного ефекту?
5. Яка класифікація енергозберігаючих заходів за напрямками впливу?

Тема 3. Показники енергоефективності

3.1 Підходи до оцінки ефективності енерговикористання

Економія енергії – результат реалізації заходів щодо зниження невикористаних втрат палива, електроенергії, теплоти, механічної енергії.

Економія енергії може досягатися пасивними й активними методами.

До пасивних методів, наприклад, відносять використання теплоізоляції для зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище шляхом застосування матеріалів і конструкцій з малою теплопровідністю й теплопередачею.

Теплоізоляція – захист житлових і громадських споруд, теплових промислових установок, трубопроводів від небажаного теплового обміну з навколишнім середовищем для зниження втрат теплоти. Термін «теплоізоляція» може бути застосований також у випадку, коли теплоізолювальні матеріали використовуються для попередження втрат холоду із холодильних камер або, що те ж саме, надходження теплоти до них.

Із збільшенням товщини шару теплової ізоляції зменшуються втрати теплоти у зовнішнє середовище й унаслідок цього збільшується економія теплоносія, який передається трубопроводом. Одночасно зі збільшенням товщини шару ізоляції підвищуються витрати, пов'язані з її нанесенням. Тому найбільш вигідна така товщина ізоляції, за якої сумарна величина витрат на ізоляцію і витрат, пов'язаних із втратами теплоти у зовнішнє середовище, мінімальна.

Енергоекономічна споруда — споруда, яка спроектована таким чином, щоб її енергетичне споживання з метою опалення, кондиціонування повітря, освітлення і гаряче водопостачання задовольнялося при мінімальному використанні покупної енергії, тобто споруда, яка може експлуатуватися при мінімальних витратах на енергоносії. Існує велика кількість типів «енергоекономічних споруд».

Термін «активна економія енергії» застосовується до діючого енергетичного та енергоспоживаючого обладнання й досягається за рахунок запрограмованого керування технологічними процесами.

Наприклад, запрограмоване керування опаленням і кондиціонуванням повітря – автоматичне керування системою опалення та кондиціонування повітря в будівлі у відповідності до програми, яка заздалегідь розроблена таким чином, щоб люди в приміщенні знаходилися в необхідних комфортних умовах при мінімальних енергетичних витратах, а під час відсутності людей у приміщенні навантаження на установки із опалення і кондиціонування повітря автоматично знижувалися.

Активна економія енергії може досягатися за допомогою додаткових елементів обладнання, яке використовує вторинну сировину, а також утилізує ВЕР на діючому енергетичному й енергоспоживаючому обладнанні.

Під ВЕР розуміється хімічно зв'язана теплота, фізична теплота і потенціальна енергія надлишкового тиску продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках, процесах), які не використовуються в самому агрегаті, але можуть бути частково або повністю використані для енергопостачання інших агрегатів.

Прикладами цього є:

регенерація енергії – використання залишкової енергії після завершення конкретного процесу в тому ж самому або іншому процесі;

регенерація викидної теплоти – утилізація тієї частини теплоти, яка була вироблена для конкретного процесу, але не була використана в ньому, залишилася при цьому корисною теплотою;

регенерація механічної енергії – перетворення в корисну форму енергії невикористаної частини механічної енергії, тобто тієї її частини, яка без прийняття спеціальних заходів була б втрачена. Прикладом регенерації механічної енергії є установка на магістральних газопроводах і розподільчих газових мережах турбодетандерів замість редукційних клапанів.

Одним із найпоширеніших пристроїв, за допомогою яких здійснюється активна економія енергії, є теплообмінний апарат – вид обладнання, призначений для передачі теплоти від середовища з більш високою температурою (гріюче тіло – теплоносіє) до середовища з більш низькою температурою (тіло, яке нагрівається). Теплообмінники поділяються на рекуперативні, регенеративні і змішувальні.

Економія енергії може досягатися й за рахунок організаційних змін і впровадження нових систем, наприклад шляхом використання установок, процесів, продукції або послуг, що вимагають менше енергії для роботи або виготовлення продукції, чим ті, що застосовувалися раніше, без погіршення якісних характеристик вироблених виробів або послуг.

Крім того, може проводитися заміщення енергоносія, що застосовується, іншим з досягненням економічної вигоди без шкоди для випуску кінцевої продукції. Наприклад, в окремих випадках заміщення технологічної пари гарячою водою призводить до зменшення непродуктивних втрат теплоти.

Кінцевий результат економії енергії може бути прямим і непрямим.

Пряме енергозбереження зв'язане безпосередньо з економією енергетичних ресурсів при виробництві, перетворенні й транспортуванні енергії. Непряме енергозбереження пов'язане з економією матеріальних неенергетичних ресурсів при їхньому видобутку, переробці й експлуатації й досягається за рахунок зменшення матеріалоємності продукції, що, випускається, підвищення її надійності та якості, продовження терміну служби виробів.

У всіх випадках економія енергії має сенс, якщо при використанні будь-якого методу або принципу, спрямованого на її економію, вплив на навколишнє середовище мінімальний, людина не відчуває незручностей і за рахунок ефективного використання енергії отримано прибуток.

Рациональне використання паливно-енергетичних ресурсів – досягнення максимальної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище;

Прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів – втрата паливно-енергетичних ресурсів поза технологічними процесами (вид нерационального використання паливно-енергетичних ресурсів).

Марнотратне витрачання паливно-енергетичних ресурсів – систематичне, без виробничої потреби, не зумовлене вимогами технічної безпеки недовантаження або використання на марному ході електродвигунів, електropечей та іншого електро- і теплоустаткування; систематична втрата стисненого повітря, води і

тепла, спричинена несправністю арматури, трубопроводів, теплоізоляції трубопроводів, печей і тепловикористовуючого устаткування; недотримання вимог нормативної та проектної документації щодо теплоізоляції споруд та інженерних об'єктів, яке призводить до зниження теплового опору огорожувальних конструкцій, вікон, дверей в опалювальний сезон (вид нерационального використання паливно-енергетичних ресурсів).

Нераціональне (неефективне) використання паливно-енергетичних ресурсів – прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів, їх марнотратне витрачання та використання паливно-енергетичних ресурсів понад показники питомих витрат, визначених системою стандартів, а до введення в дію системи стандартів - нормами питомих витрат палива та енергії.

Енергоефективність – властивість обладнання, технології, виробництва або системи в цілому, що характеризує ступінь використання енергії на одиницю кінцевого продукту.

Тобто, енергоефективність може бути оцінена за допомогою таких показників: кількісних (кількість енергії на одиницю кінцевого продукту) та якісних (низька, висока). Підвищення енергоефективності досягається за рахунок реалізації системи цілеспрямованих організаційних і технічних заходів.

Основне призначення системи показників енергоефективності – оцінка використання ПЕР під час виробництва товарів та послуг.

Підвищення енергоефективності на підприємстві збільшує доходи підприємства і разом з тим приносить такі результати як: заощадження коштів, що забезпечує зростання конкурентоспроможності підприємства, особливо при зростанні цін на енергоносії;

збільшення продуктивності через удосконалення виробничих процесів, що пов'язані зі способом використання енергії.

Енергоефективність також можна оцінювати за допомогою показника енергоємності або об'ємів оплати за енергетичні ресурси.

Показники виробничої енергоємності виготовлення продукції можуть бути представлені в абсолютній і питомій формах.

Показник енергоємності підприємства визначається за формулою:

$$e_n = \frac{P}{V}, \quad (3.1)$$

де P – обсяг споживання ПЕР, т у.п.;

V – обсяг відпущеної води або обсяг стоків, м³.

Об'єм оплати за енергетичні ресурси, що споживаються підприємством, визначається за формулою:

$$V_{опл} = W \cdot T_{ел} + Q_{ГВП} \cdot T_{ГВП} + Q_{опал} \cdot T_{опал}, \quad (3.2)$$

де $T_{ел}$ – тариф на електричну енергію;

$T_{ГВП}$ – тариф на гаряче водопостачання;

$T_{опал}$ – тариф на опалення.

Питома оплата або виплати на енергетичні ресурси на одиницю продукції обчислюється за формулою:

$$v_{опл} = \frac{V_{опл}}{V} \quad (3.3)$$

Впровадження нового обладнання, яке дозволяє використовувати ВЕР та підвищити енергоефективність підприємства, буде впливати на:

зниження об'єму споживання ПЕР на кількість енергії, виробленої за допомогою сонячних колекторів, теплових насосів або іншого обладнання та зниження оплати за енергоресурси на відповідні величини.

Впровадження будь-якого заходу доцільне, якщо собівартість отриманої енергії менше за відповідний тариф:

$$E = V_{ен} \cdot (Tar - C), \quad (3.4)$$

де $V_{ен}$ – кількість виробленої енергії (теплової або електричної.);

C – собівартість виробництва енергії.

Розраховуючи цей показник, підприємство ставить перед собою три оптимізаційні завдання:

досягнення оптимального співвідношення між витратами і результатами виробництва (або оцінка співвідношення між витратами K і результатами E) при заздалегідь нефіксованих витратах і результатах;

мінімізація витрат при заданих результатах (або оцінка витрат при заданих результатах), тобто $K \rightarrow \min$;

максимізація результатів при заданих витратах (або оцінка результатів при заданих витратах), тобто $E \rightarrow \max$.

Основні показники енергоефективності діляться на три групи:

встановлені технічною документацією на прилади і продукцію ;

показники енергоефективності технологічних і виробничих процесів, які використовуються при проведенні енергетичного обстеження та державного контролю за енергоефективністю;

індикатори впровадження енергозбереження, відображені у статистичній звітності та методичних документах.

Крім цього, виділяють наступні показники енергоефективності :

для продукції – економічність споживання ресурсів при звичайному її використанні;

для процесів – енергоємність виробництва;

для продукції і процесів – енергоефективність передачі та зберігання ресурсів.

Показники енергоефективності використовуються при проведенні енергоаудиту, формуванні звітності та плануванні робіт з підвищення енергоефективності. При цьому для різних сторін роботи з енергозбереження використовується власна система показників.

Так, організаційну, економічну, наукову діяльність з підвищення енергоефективності характеризують такі показники: економія ресурсів, зниження енерговитрат за рахунок оптимізації споживання ресурсів, зниження енергоємності продукції та виробничих процесів.

При аналізі господарської діяльності використовуються порівняльні показники енергоефективності:

зіставлення енергоємності виробництва у звітному і базовому періоді;

абсолютні та питомі характеристики витрачання ресурсів і їх втрат.

Розрахунок енергоефективності сьогодні відбувається за 78-80 критеріями залежно від конкретного об'єкта.

Одиниці виміру енергоефективності залежать від досліджуваного об'єкта або предмета. Так, енергоефективність автомобілів вимірюється в літрах палива на 100 км, енергоефективність нафтовидобувних виробництв – в кг умовного палива на тонну видобутої нафти, енергоефективність устаткування – у відсотках ККД і т.д.

Якщо мова йде про складання енергетичного паспорта будівлі, то розрахунок енергоефективності полягає в обчисленні обсягу витрат енергії, необхідної для систем життєзабезпечення будівлі, і вимірюється в кіловатах на 1 кв. м в 1 рік.

Розрахунок енергоефективності сьогодні відбувається з використанням абсолютних, відносних, порівняльних і питомих показників, які виявляються за допомогою таких методів:

- розрахункового;

- експериментального;

- розрахунково- експериментального.

Розрахункові методи використовуються на етапі проектування і ґрунтуються на інформації про нормативну енергоефективність, про передбачувані режими і умови роботи об'єкта дослідження, про базову енергоефективність для аналогічного обладнання. При цьому якщо обладнання або об'єкт використовує різні енергетичні ресурси, то розрахунок енергоефективності відбувається за кожним видом ресурсів окремо.

Експериментальний метод використовує дані, отримані при випробуваннях обстежуваного об'єкта в заданих умовах, що зафіксовані в ході дослідження або експерименту. При цьому умови експерименту повинні бути наближені до звичайних умов експлуатації. Розрахунок енергоефективності за допомогою експериментальних методів відбувається з використанням спеціального перевіреного обладнання.

При розрахунково-експериментальному методі експеримент використовується для підтвердження розрахункових даних. Такими розрахунковими даними можуть бути результати вже проведених

випробувань, дані про енергоефективність складових частин і комплектуючих досліджуваного об'єкта та ін.

3.2 Визначення економії первинних та похідних паливно-енергетичних ресурсів

Економія (перевитрати) ПЕР цеху конкретного підприємства розраховується за формулами:

$$\Delta E_w = \sum_i Q_{wi}^0 [e_{wi}^\delta - e_{wi}^0 + \sum_j (q_{ji}^\delta - q_{ji}^0) \cdot e_j^\delta + \sum_\phi (q_{\phi i}^\delta - q_{\phi i}^0) \cdot e_{\phi i}^\delta] \quad (3.5)$$

$$\Delta T_w = \sum_i Q_{wi}^0 [t_{wi}^\delta - t_{wi}^0 + \sum_j (q_{ji}^\delta - q_{ji}^0) \cdot t_j^\delta + \sum_\phi (q_{\phi i}^\delta - q_{\phi i}^0) \cdot t_{\phi i}^\delta] \quad (3.6)$$

де ΔE_w , ΔT_w – економія (або перевитрати) відповідно електроенергії, кВт·год, і умовного палива, кг у.п., цеху;

Q_{wi}^0 – кількість виробленої цехом продукції у звітному періоді, н.о.;

$e_{wi}^\delta, t_{wi}^\delta$ – базові цехові питомі витрати відповідно електроенергії, кВт·год/н.о., та умовного палива кг у.п./н.о., на виготовлення і-ї продукції;

e_{wi}^0, t_{wi}^0 – звітні цехові питомі витрати відповідно електроенергії, кВт·год/н.о., та умовного палива кг у.п./н.о., на виготовлення і-ї продукції;

q_{ji}^δ, q_{ji}^0 – цехові питомі витрати j-го похідного енергоносія на виробництво і-ї продукції (витратні коефіцієнти) відповідно в базовому та звітному періодах, н.о./н.о.;

e_j^δ, t_j^δ – цехові питомі витрати електроенергії, кВт·год/н.о., та умовного палива, кг у.п./н.о.;

$q_{\phi i}^\delta, q_{\phi i}^0$ – цехові питомі витрати ϕ -го напівфабрикату на виробництво і-ї продукції (витратні коефіцієнти) в базовому і звітному періодах, н.о./н.о.;

$e_{\phi}^{\delta}, t_{\phi}^{\delta}$ – цехові питомі витрати відповідно електроенергії, кВт·год/н.о., та умовного палива, кг у.п./н.о., на виготовлення ф-го напівфабрикату у базовому періоді.

Під кількістю виробленої цехом продукції треба розуміти кількість продукції товарної і переданої для використання іншим цехам. Кількість продукції, що використана як напівфабрикат самим цехом, не враховується.

У разі, коли економію (перевитрати) палива визначають у вартісному вигляді, то розрахунок економії ПЕР цеху необхідно здійснювати окремо для кожного виду використаного палива. Окремий розрахунок раціонально здійснювати і тоді, коли ціни на різні види палива в перерахунку на умовне паливо суттєво відрізняються. В цьому випадку необхідно визначити і питомі витрати кожного виду палива на вироблення похідних енергоносіїв та напівфабрикатів.

Вартість зекономлених цехом ПЕР розраховують як алгебраїчну суму вартості зекономленої електроенергії і умовного палива:

$$S_w = \Delta E_w \cdot Z_e + \Delta T_w \cdot Z_t \quad (3.7)$$

де ΔS_w – вартість зекономлених цехом ПЕР, у грн.;

Z_e, Z_t – ціни відповідно електроенергії та умовного палива (грн./кВт·год, грн./кг у.п.).

Ціна умовного палива для кожного цеху визначається як середньозважена ціна усіх β видів палива, що витрачені цехом за звітний період:

$$Z_t = \sum_{\beta} T_{\beta} \cdot Z_{\beta} / \sum_{\beta} T_{\beta} \cdot K_{\beta} \quad (3.8)$$

де T_{β} – кількість витраченого β -го палива, н.о.;

Z_{β} – ціна β -го палива, грн./н.о.;

K_{β} – коефіцієнт перерахунку β -го палива на умовне, кг у.п./н.о.

3.3 Визначення показників енергоефективності

Показники енергоефективності можна поділити на прямі (енергоємність, паливоємність, електроенергоємність, теплоенергоємність випуску продукції тощо, коефіцієнт корисного використання енергії, питомі витрати палива, електричної або теплової енергії) та непрямі (середня ціна одиниці спожитих ПЕР, вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, частка витрат ПЕР у собівартості продукції, робіт, послуг та інші).

Запитання до самоконтролю

1. Якими методами може досягатися економія енергії? Наведіть приклади.
2. Яке основне призначення системи показників енергоефективності?
3. Які оптимізаційні завдання може вирішувати енергоменеджер при підвищенні енергоефективності підприємства?
4. Назвіть показники енергоефективності та методи їх визначення.
5. Що враховується при визначенні економії (перевитрати) ПЕР цеху конкретного підприємства?

Таблиця 3.1 – Показники енергоефективності підприємства

Прямі показники	
Енергоемність випуску продукції, кг у.п./грн	$e = \frac{P}{V_B}$ де P – обсяг споживання ПЕР на енергетичні цілі, кг у.п.; V_B – обсяг випуску продукції на підприємстві, грн.
Енергоемність валової доданої вартості (ВДВ), кг у.п./грн	$e_{\text{вдв}} = \frac{P}{V_{\text{вдв}}}$ де $V_{\text{вдв}}$ – обсяг ВДВ на підприємстві
Паливоємність $B_{E(\text{ВДВ ВВП})}$, електроенергоемність $W_{E(\text{ВДВ ВВП})}$, теплоенергоемність $Q_{B(\text{ВДВ ВВП})}$ випуску	$B_{E(\text{ВДВ ВВП})} = \frac{\sum B_i}{V_{E(\text{ВДВ ВВП})}}$ $W_{E(\text{ВДВ ВВП})} = \frac{W_i}{V_{E(\text{ВДВ ВВП})}}$ $Q_{B(\text{ВДВ ВВП})} = \frac{Q_i}{V_{B(\text{ВДВ ВВП})}}$ де B – обсяг споживання органічного палива, кг у. п./грн.; W – обсяг споживання електроенергії, кВт год; Q – обсяг споживання теплової енергії, Гкал.
Коефіцієнт корисного використання енергії	$K_{KB} = \frac{E_K}{E_3}$ де E_3 – загальна кількість енергії; E_K – кількість використаної енергії.
Питомі витрати палива, кг у.п./од. ПРП, електроенергії, кВт год/од. ПРП, теплової енергії, Гкал/од. ПРП	$d = \frac{\sum B_i}{\Pi}; W = \frac{W}{\Pi}; q = \frac{Q}{\Pi}$ Π – обсяг ПРП за певний проміжок часу, натуральних одиниць

Продовження таблиці 3.1

Непрямі показники	
Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн/т у. п.	$C_{сер}^{ПЕР} = (\sum C_i B_i + T_e W + T_m Q) / (\sum B_i + W + Q)$ де C_i – ціна на i-ий вид органічного палива, грн/т у. п.; B_i – споживання i-го виду органічного палива, т у. п.; T_e – тариф на електроенергію, грн/кВт год; W – споживання електроенергії, у чисельнику – в кВт год, у знаменнику – в т у.п.; T_m – тариф на теплову енергію, грн/Гкал; Q – споживання теплової енергії, у чисельнику – в Гкал, у знаменнику – в т у.п.
Енергоємність основних виробничих фондів, т у. п./грн	$E_{ОВФ} = (\sum B_i + W + Q) / D_{ОВФ}$ де W – обсяг спожитої електроенергії, т у. п.; Q – обсяг спожитої теплової енергії, т у. п.; $D_{ОВФ}$ – середньорічна вартість основних виробничих фондів, грн.
Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн/грн	$C_E = C_{ПЕР} / V_E$ де $C_{ПЕР}$ – вартість спожитих ПЕР на виробництво певного обсягу випуску продукції, грн.
Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %	$l_{nc(E)} = \left(\frac{C_{ПЕР}}{V_{nc(E)}} \right) \cdot 100\%$ де $C_{ПЕР}$ – вартість спожитих ПЕР, грн.; $V_{nc(E)}$ – обсяг проміжного споживання, грн.
Частка витрат ПЕР у собівартості продукції, робіт, послуг, %	$l_{CB} = \left(\frac{C_{ПЕР}}{CB} \right) \cdot 100\%$ де $C_{ПЕР}$ – вартість спожитих ПЕР, грн.; CB – собівартість продукції, робіт, послуг, грн.

**Змістовий модуль 2. Техніко-економічне
обґрунтування підвищення енергоефективності
Тема 4. Техніко-економічне обґрунтування
підвищення енергоефективності
4.1 ТЕО заміни обладнання**

Одним з найважливіших напрямів скорочення поточних витрат на підприємствах є модернізація основних засобів з одночасним здійсненням енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ). Такі проекти пов'язані або з установкою додаткового енергозберігаючого обладнання (теплообмінники, автоматичні регулятори енергоспоживання тощо.), або із заміною старого обладнання на нове, менш енергоємне. Сюди ж відносяться проекти витратного характеру, пов'язані з будівництвом і монтажем об'єктів інженерної інфраструктури (опалення та вентиляція, водопостачання, освітлення будівель тощо).

Для досягнення максимальної ефективності ЕЗЗ необхідно зробити порівняння кількох альтернативних варіантів технічних рішень з точки зору їх економічної доцільності. Ефективність ЕЗЗ характеризується системою показників, що відображають співвідношення витрат і результатів проекту стосовно до інтересів його учасників. Співвідношення результатів і витрат характеризує ефективність проекту і є основною інформацією для осіб, які приймають рішення про доцільність інвестицій.

Методика спирається на сформовані у світовій практиці основні принципи оцінки ефективності інвестиційних проектів. Головними є такі п'ять принципів.

Принцип зіставлення корисних результатів проекту, виражених у вартісній формі (доходів, прибутку), з іншими альтернативними можливостями вкладення інвестицій.

Принцип моделювання потоків продукції, ресурсів і грошових коштів. Всі потоки повинні бути прив'язані до конкретних часових періодів.

Принцип сумірності результатів шляхом дисконтування майбутніх надходжень різночасних грошових коштів. Реалізація цього принципу забезпечує порівняння результатів і витрат, що здійснюються в різні моменти часу. Використовувана при цьому

ставка дисконтування вибирається виходячи з конкретних альтернатив вкладення капіталу.

Принцип визначення інтегральних результатів і витрат передбачає облік усіх позитивних і негативних потоків грошових коштів за розрахунковий період. Це означає, що при розрахунках економічної ефективності визначається інтегральний економічний ефект за весь період функціонування об'єкта (розрахунковий період). Аналогічним чином в основі розрахунку економічної ефективності повинні лежати повні витрати за розрахунковий період.

Принцип врахування невизначеності та ризиків, пов'язаних із здійсненням проекту.

Аналіз ефективності проекту передбачає чітке визначення розв'язуваної задачі. Проекти можна оцінювати з позиції користі для країни (національна оцінка), підприємства (комерційна оцінка), окремих учасників проекту і т. д. На практиці в більшості випадків потрібна оцінка проекту з позиції підприємства.

Залежно від бази порівняння розрізняють оцінку абсолютної ефективності проекту (ЕЗЗ), оцінку ефективності заміни техніки, оцінку ефективності додаткових витрат. Проект оцінюється або методом зіставлення капіталовкладень з отримуваним доходом, або методом зіставлення витрат за проектом з витратами бази порівняння.

Абсолютний ефект показує результати проекту за відсутності заміни техніки аналогічного призначення, а також при недоцільності подальшого використання заміної техніки. Використання старої техніки буде припинено незалежно від здійснення проекту.

Ефект заміни аналогічної за призначенням техніки показує результати проекту за умови, що замінений (базовий) варіант конкурентоспроможний. Він буде реалізований при відмові від проекту. Оцінка проекту виконується у чистому вигляді.

Порівняльний ефект дозволяє визначити кращий варіант з проектів аналогічного призначення. Проекти порівнюються в чистому вигляді.

Ефект додаткових витрат показує доцільність збільшення витрат для досягнення більшого корисного результату.

Оцінка майбутніх витрат і результатів при визначенні ефективності інвестиційного проекту здійснюється в межах розрахункового періоду, тривалість якого приймається з урахуванням:

- Тривалості створення, експлуатації та (при необхідності) ліквідації об'єкта;
- Середньозваженого нормативного терміну служби основного технологічного обладнання;
- Вимог інвестора.

Горизонт розрахунку вимірюється кількістю кроків розрахунку. На практиці за крок розрахунку в більшості випадків приймається рік (іноді квартал або місяць).

При оцінці ефективності ЕЗЗ співставлення різночасних показників здійснюється за допомогою дисконтування. Під ним розуміється приведення всіх майбутніх доходів і витрат до початкового моменту часу (початку реалізації проекту). Для приведення різночасних витрат, результатів і ефектів використовується процентна ставка (норма дисконту) α . Вона визначається виходячи з прийнятої і реально досяжної для інвестора норми доходу на капітал. Норма дисконту грає роль базового рівня, в порівнянні з яким оцінюється ефективність ЕЗЗ. Так, при ставці 10% і розрахунковому періоді 1 рік капіталовкладення в 10 млн. грн. повинні бути повернуті інвестору з нормальним доходом 1 млн. грн.

До основних показників ефективності інвестиційних проектів відносяться:

- Чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект, чиста теперішня вартість, чиста поточна вартість і т.д.), $ЧДД$, ($ЧТВ$, NPV);
- Індекс прибутковості інвестицій (коефіцієнт ефективності проекту), $ІІ$, (PI);
- Внутрішня норма доходу (внутрішня норма рентабельності), $ВНД$, (BHP , IRR);
- Термін окупності капіталовкладень:
 Динамічний, T^0 , (DPB);
 Статичний, T_0^{CT} , (PB).

Таблиця 4.1 – Завдання аналізу ефективності проектів

Завдання аналізу проектів	Особливості оцінки техніки (проекту)
1.Оцінка абсолютної ефективності проектів	Можлива оцінка проекту як в чистому вигляді, так і з урахуванням особливостей його реалізації на конкретному підприємстві. Проект передбачає заміну техніки. Проект оцінюється без бази порівняння.
2. Оцінка ефективності заміни техніки	Ефект заміни техніки оцінюється в чистому вигляді. Базу порівняння представляє техніка (існуючий варіант діяльності) аналогічного призначення.
3. Порівняння проектів	Зіставляються об'єкти (види техніки), оцінюються в чистому вигляді. Порівнянні проекти повинні бути аналогічними за призначенням. За базу порівняння приймається один з проектів.

Оцінка проектів за витратами

Оцінка проектів за потрібними витратами в багатьох випадках істотно спрощує економічний аналіз. Така оцінка доцільна при виборі ефективних видів устаткування, аналізі проектів собівартості, проектів енерго- і ресурсозбереження і т.д. Порівняння проектів, технологій, видів обладнання за витратами припускає тотожність передбачуваного результату. Проекти розглядаються як альтернативні способи досягнення заданого результату. Проект з меншими витратами є кращим. Якщо результати проектів тотожні не повністю, то додатково виконується вартісна оцінка наявних відмінностей.

Показники приросту використовуються для визначення оптимальних параметрів проекту (техніки процесу) і для оцінки доцільності додаткових витрат на дії (заходи), що збільшують корисний результат. Зокрема, оцінка проекту на основі показників приросту необхідна для визначення вигідності додаткових заходів з енергозбереження (наприклад, посилення теплоізоляції, використання

вторинних енергоресурсів, доцільності залучення у виробництво гірших ресурсів і т. д.).

Ефективність додаткових витрат визначається, виходячи зі співвідношення приросту витрат і приросту продукції (іншого корисного результату). Такі заходи по суті не відрізняються від звичайних проектів і порівнянні з ними. Відбір кращих проектів проводиться у звичайному порядку, без виділення проектів з показниками приросту.

Абсолютний ефект

Приклад формулювання завдання з оцінки абсолютної ефективності проекту: «Визначити ефективність введення в дію обладнання для енергозбереження. Раніше аналогічне обладнання на підприємстві не використовувалося».

Абсолютний ефект показує результати проекту за відсутності заміни техніки аналогічного призначення, а також у разі якщо продовження використання заміної техніки недоцільно і буде припинено.

Абсолютний ефект проекту (E_a) визначається за формулою:

$$E_a = D_H - K_H; \quad (4.1)$$

де: D_H – порівнянний дохід за проектом за розрахунковий період, грн.; K_H – капіталовкладення за проектом, грн.

Дохід може обчислюватися як результат основної діяльності (прибуток плюс амортизаційні відрахування), так і як зниження собівартості в результаті заходів з енергозбереження та зменшення інших операційних витрат.

Ефект заміни техніки

Приклад формулювання завдання з оцінки ефективності заміни діючої техніки: «Визначити ефективність заміни діючого обладнання для енергозбереження (існуючого варіанта виробництва) новим обладнанням аналогічного призначення».

Ефект заміни діючої техніки аналогічного призначення показує результати проекту за умови, що базовий (замінний) варіант

конкурентоспроможний. При відмові від проекту базовий варіант передбачає використання старої техніки. Він не потребує капіталовкладень, проте можливі витрати на ремонт.

Оцінка проекту виконується у чистому вигляді.

Ефект заміни діючої техніки (E_T) визначається за формулою:

$$E_T = D_H - D_B - K_H, \quad (4.2)$$

де: D_H і D_B – порівнянний дохід за розрахунковий період відповідно за новим і базовим варіантами, грн.; K_H – капіталовкладення за проектом, грн.

У вищенаведеній формулі ефект проекту визначається на основі різниці доходу за варіантами.

Якщо базовий і новий варіанти відрізняються тільки витратами, то ефект заміни діючої техніки (E_T) можна визначити за формулою:

$$E_T = C_B - C_H - K_H, \quad (4.3)$$

де: C_B і C_H – сумірні операційні витрати за вирахуванням амортизаційних відрахувань за розрахунковий період відповідно по базовому і новому варіантам, грн.; K_H – капіталовкладення за проектом (нового варіанту), грн.

При розрахунку ефекту заміни техніки слід враховувати витрати і прибуток, пов'язані з ліквідацією старої техніки або з її використанням новим способом.

Базовий варіант може тривати без нарахування зносу. Зокрема при оренді техніки, послуги сторонньої організації, використанні техніки, за якою повністю нараховано знос.

Ефект при порівнянні проектів

Приклад формулювання завдання з оцінки ефективності при порівнянні проектів: «Визначити, наскільки ефективніше введення в

дію (використання) одного виду енергозберігаючої техніки порівняно з іншим».

Порівняння проектів аналогічного призначення дозволяє визначити кращий варіант. Базою порівняння завжди є проект із меншою величиною капіталовкладень. Проекти порівнюються в чистому вигляді.

Порівняльний ефект проекту (E_{Π}) визначається за формулою:

$$E_{\Pi} = E_2 - E_1 = D_2 - K_2 - D_1 + K_1, \quad (4.4)$$

де: E_2 і E_1 – абсолютний ефект відповідно варіанта 2 і варіанта 1, прийнятого за базу порівняння, грн.; D_2 і D_1 – порівняльний дохід за розрахунковий період відповідно за варіантом 2 і варіантом 1, грн.; K_2 і K_1 – капіталовкладення відповідно за варіантом 2 та варіантом 1, грн.

Порівняльний ефект проекту у вищенаведеній формулі визначається на основі різниці абсолютних ефектів. Порівняльний ефект проекту можна також розраховувати, використовуючи показники різниці виручки, собівартості і капіталовкладень за варіантами.

Якщо проекти різняться тільки витратами, то для їх порівняння можна використовувати формулу:

$$E_{\Pi} = K_1 + C_1 - K_2 - C_2, \quad (4.5)$$

де: K_1 і K_2 – капіталовкладення відповідно за варіантом 1 та варіантом 2, грн.; C_1 і C_2 – сумірні операційні витрати за вирахуванням амортизаційних відрахувань за розрахунковий період відповідно за варіантом 1 та варіантом 2, грн.

Оцінка проектів з урахуванням інфляції

З метою врахування впливу інфляції на ефективність ЕЗЗ на практиці можливі два методи розрахунку.

Перший метод – розрахунок у поточних цінах – припускає, що фахівець, який розробляє ТЕО, має можливість прогнозувати майбутні ціни на енергоресурси, які будуть зекономлені в результаті даного проекту, і їх зміну буде враховано в розрахунках. У цьому випадку як ставку дисконту використовують номінальну ставку прибутковості, тобто ту ставку, яка враховує існуючий темп інфляції. Вона може бути прийнята на рівні діючої банківської ставки рефінансування.

Другий метод – розрахунок в постійних цінах – застосовується в тих випадках, коли розробникам ТЕО важко прогнозувати майбутні інфляційні тенденції. Тоді в розрахунок закладаються доходи і витрати в постійних, діючих на сьогоднішній момент, цінах. При цьому ставка прибутковості береться у реальному вимірі, тобто очищається від інфляції. Формула для визначення реальної ставки:

$$\alpha_p = \frac{1 + \alpha_H}{1 + \alpha_i} - 1, \quad (4.6)$$

де: α_H – номінальна ставка в відносних одиницях; α_i – середньорічний темп інфляції (очікуваної).

На практиці в основному застосовують реальну ставку, рівну 10% ($\alpha = 0,1$), що відповідає розрахункам в постійних цінах і забезпечує порівнянність проектів.

Вихідні вартісні показники є базою для наступного розрахунку критеріїв ефективності інвестицій в ЕЗЗ. До них належать інвестиційні витрати, річний потенціал енергозбереження при реалізації проекту, економія поточних витрат (приріст прибутку), і дохід від інвестицій.

У загальному випадку до складу повних інвестиційних витрат входять капіталовкладення і потреба в оборотному капіталі:

$$K_{\text{повн}} = K + K_{\text{об}}, \quad (4.7)$$

де: K – вкладення в основний капітал (капіталовкладення); $K_{\text{об}}$ – потреба створюваного виробництва в оборотному капіталі чи її зміна відповідно до зміни масштабів виробництва або інших факторів.

Потребу в оборотному капіталі слід враховувати для проектів, пов'язаних з випуском продукції; для енергозберігаючих проектів в якості інвестицій випускають капіталовкладення в придбання, модернізацію та реконструкцію основних засобів.

У загальному вигляді до складу капіталовкладень можуть входити такі види витрат:

$$K = K_{БУД} + K_{ОБ} + K_{СУП} , \quad (4.8)$$

де: $K_{БУД}$ – капіталовкладення в будівельні конструкції; $K_{ОБ}$ – капіталовкладення в робочі машини й обладнання, що містять витрати на їх придбання і монтаж; $K_{СУП}$ – супутні капіталовкладення, що містять витрати на передінвестиційні дослідження, проектування та розробку ТЕО; нематеріальні активи (придбання ліцензій, ноу-хау, патентів тощо); інші.

Для освоєних (створюваних) основних засобів вартість встановлюється відповідно до калькуляції вартості робіт, для закуповуваних - за ціною придбання. Для розрахунку капіталовкладень при необхідності складаються кошториси на придбання та монтаж основних засобів, що містять вартість устаткування з транспортними витратами і вартість будівельно-монтажних робіт (БМР). Кошторисна вартість БМР включає наступні елементи витрат:

$$C_{БМР} = ПВ + НВ + ПН , \quad (4.9)$$

де: $ПВ$ – прямі витрати, куди входять основна заробітна плата робітників, витрати на матеріали, на експлуатацію машин і механізмів ($ПВ = Z_0 + M + E$); $НВ$ – накладні витрати будівельно-монтажної організації; $ПН$ – планові накопичення, чи нормативний кошторисний прибуток будівельно-монтажної організації.

Накладні витрати і планові накопичення визначаються за затвердженими нормативами для різних видів БМР за формулами:

$$НВ = 0,01a_1(Z_0 + E) , \quad (4.10)$$

$$ПН = 0,01a_2(З_о + E), \quad (4.11)$$

де: a_1, a_2 – відповідно норматив накладних витрат і планових накопичень, %.

За відсутності проектно-кошторисної документації капіталовкладення в обладнання можна розрахувати в укрупненому вигляді за формулою:

$$K_{об} = C_{об} \left(1 + \frac{k_{TP}}{100} + \frac{k_M}{100} \right), \quad (4.12)$$

де: k_{TP} – коефіцієнт, що враховує витрати на упакування і транспортування, він становить приблизно 10-13% від відпускної ціни (контрактної вартості); k_M – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж обладнання та пусконаладжувальні роботи, і залежить від виду технічних засобів (зазвичай складає 10-20% від відпускної ціни обладнання, потрібного монтажу, проте в деяких випадках, наприклад, для великих джерел тепlopостачання, може досягати 50%).

Розмір супутніх капіталовкладень ($K_{суп}$) визначається на договірній основі між замовником (інвестором) та виконавцями відповідних робіт (проектно-вишукувальних, науково-дослідних і т.ін.).

Річний потенціал енергозбереження в загальному вигляді визначається сумарною економією всіх видів енергоресурсів при реалізації ЕЗЗ:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta E_{II} + \Delta E_Q + \Delta E_W + \Delta E_B = \\ &= \Pi_{II} \Delta B_H + \Pi_Q \Delta Q + \Pi_W \Delta W + \Pi_B \Delta V_B \end{aligned} \quad (4.13)$$

де: $\Delta E_{II}, \Delta E_Q, \Delta E_W, \Delta E_B$ – відповідно вартість зекономленого палива, теплової, електричної енергії і води; $\Delta B_H, \Delta Q, \Delta W, \Delta V_B$ –

відповідно річна економія палива, теплової, електричної енергії і води в натуральному виразі; Π_{II} – ціна за одиницю натурального палива; Π_Q – ціна одиниці теплоти; Π_w – тариф на електроенергію, Π_B – вартість 1 м³ води.

При оцінці конкретного ЕЗЗ в розрахунках слід враховувати тільки ті види енерговитрат, які зазнають зміни при реалізації даного проекту. Так, при реконструкції котелень це можуть бути витрати на паливо, електроенергію і воду. Для проектів, пов'язаних з модернізацією опалення і вентиляції об'єктів, що використовують покупну теплову енергію, економія сумарних енерговитрат може виражатися зміною витрати теплової та електричної енергії. Слід зазначити, що в окремих проектах поряд з економією теплової енергії і палива може мати місце збільшення витрати електроенергії. У цьому випадку у формулі (4.13) складова ΔE_w приймає негативне значення.

Розрахунок прибутку, одержуваного підприємством у результаті реалізації проекту, залежить від специфіки проекту. Так, якщо проект пов'язаний з придбанням нових енергозберігаючих технічних засобів (ТЗ), які раніше на об'єкті не застосовувалися, прибуток визначається з виразу:

$$\Pi = \Delta E - C_E, \quad (4.14)$$

де: ΔE – вартість зекономлених енергоресурсів; C_E – поточні витрати, пов'язані з експлуатацією нових ТЗ (без урахування енергоспоживання).

Як правило, приріст поточних витрат пов'язаний з додатковими витратами на амортизацію (A), техобслуговування і ремонт (P):

$$C_E = A + P, \quad (4.15)$$

Економія поточних витрат у разі заміни діючого обладнання на більш досконалий аналог визначається за формулою:

$$\Pi = \Delta E - \Delta C_E = \Delta E - [(A_H + P_H) - (A_C + P_C)], \quad (4.16)$$

де: ΔC_E – зміна поточних витрат, пов'язаних з експлуатацією технічних засобів, при їх заміні; A_H , A_C – відповідно амортизація нового і замінного устаткування; P_H , P_C – відповідно витрати на техобслуговування і ремонт нового і замінного устаткування.

В окремих випадках впровадження ЕЗЗ може супроводжуватися зміною витрат праці основних робітників (наприклад, при заміні котлів, що працюють на твердому паливі, на котельні установки, що працюють на газі, скорочуються трудовитрати робітників-котельників). У цьому випадку показник ΔC_E визначається за формулою:

$$\Delta C_E = (A_H + P_H + 3\Pi_H + OC_H) - (A_C + P_C + 3\Pi_C + OC_C), \quad (4.17)$$

де: $3\Pi_H$, $3\Pi_C$ – відповідно заробітна плата основних робітників після і до впровадження ЕЗЗ; OC_H , OC_C – відрахування на соціальні потреби від фонду заробітної плати до і після впровадження ЕЗЗ.

В окремих випадках у складі поточних витрат слід також враховувати інші витрати, пов'язані зі специфікою проекту. Так, наприклад, для енергозберігаючих заходів, пов'язаних з реконструкцією систем тепlopостачання, у складі витрат слід враховувати шкоду, яку завдають викидами котелень. Вона визначається, виходячи з диференційованих ставок плати за забруднення атмосфери, а також додаткових витрат на охорону здоров'я.

Розрахунок витрат на амортизацію виконується на основі даних про балансову вартість основних фондів, що вводяться по кожному варіанту енергозберігаючої технології, і єдиних норм амортизаційних відрахувань:

$$A = 0,01(H_A K), \quad (4.18)$$

де: H_A – норма річних амортизаційних відрахувань, %; K – капіталовкладення в устаткування (для діючого обладнання балансова вартість групи основних засобів).

Витрати на ремонт і обслуговування технічних засобів (ТЗ) розраховуються за формулою:

$$P = 0,01(H_p K) \quad (4.19)$$

де: H_p – норма річних витрат на ремонт і техобслуговування даного виду ТЗ, %.

Витрати на ремонт і технічне обслуговування енергетичного устаткування залежно від його виду можуть також визначатися за формулами:

$$P = C_p N_p k \quad (4.20)$$

$$P = C_{yE} N_{yE} \quad (4.21)$$

де: C_p – середньорічні витрати на ремонт і технічне обслуговування основних засобів, що припадають на одиницю ремонтної складності; C_{yE} – середньорічні витрати на ремонт і технічне обслуговування умовної одиниці електроустаткування в електромережах; N_p – кількість одиниць ремонтної складності даного виду основних засобів; N_{yE} – кількість умовних одиниць електрообладнання на ділянці електромережі; k – коефіцієнт, що враховує витрати на ремонт енергетичної частини даного виду основних засобів.

Фонд заробітної плати робітників визначається виходячи з годинних тарифних ставок членів трудового колективу і витрат праці:

$$ЗП = \sum c_{\pi} T_i k_d, \quad (4.22)$$

де: c_{π} – годинна тарифна ставка робітників i -го розряду, T_i – витрати праці робітників i -го розряду; k_d – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату праці.

Відрахування на соціальні потреби від фонду заробітної плати визначаються за формулою:

$$OC = k_c 3П , \quad (4.23)$$

де: k_c – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні потреби.

Приріст чистого прибутку (ЧП) підприємства визначається з урахуванням податку на прибуток і на майно:

$$ЧП = П \cdot (1 - C_{пп} / 100), \quad (4.24)$$

де: $C_{пп}$ – діюча ставка податку на прибуток, %.

Слід зазначити, що в більшості випадків податок на майно при оцінці проектів можна не враховувати, оскільки його величина незначна і знаходиться в межах допустимої похибки розрахунків.

Дохід від інвестицій (річний інвестиційний дохід $Д$) у разі придбання додаткового енергозберігаючого обладнання визначається за виразом:

$$Д = ЧП + A_H \quad (4.25)$$

У разі заміни діючого обладнання на більш досконалий аналог річний дохід визначається за формулою:

$$Д = ЧП + (A_H - A_C) \quad (4.26)$$

4.2 Формули розрахунку показників ефективності ЕЗЗ

Чистий дисконтований прибуток (чиста теперішня вартість), $ЧТВ$, показує весь ефект (приріст багатства) інвестора, наведений у часі до початку розрахункового періоду. Приріст багатства визначається в порівнянні з нормативним приростом на рівні базової

ставки. Так, $ЧТВ$ в 500 тис. у. о. означає, що за розрахунковий період інвестор, по-перше, повертає вкладений власний капітал, по-друге, отримує нормативний дохід на рівні базової ставки і, по-третє, додатково отримує суму, еквівалентну 500 тис. у. о. на початку розрахункового періоду.

Чиста поточна вартість визначається з виразу:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^T \frac{Д_t}{(1 + \alpha)^t} - K_H, \quad (4.27)$$

Якщо в розрахунку необхідно врахувати ліквідаційну вартість об'єкта наприкінці розрахункового періоду, $ЧТВ$ розраховується за формулою:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^T \frac{Д_t}{(1 + \alpha)^t} + \frac{Л}{(1 + \alpha)^T} - K_H, \quad (4.28)$$

У формулах (4.27) і (4.28): $Д_t$ – дохід, отриманий в рік t , T – розрахунковий період в роках; K_H – капіталовкладення, наведені в часі до початку розрахункового періоду; $Л$ – ліквідаційна вартість; α – прийнята процентна ставка (базова ставка, норма дисконту), відн. од.

Дисконтування капіталовкладень здійснюється в тих випадках, коли будівництво передбаченого проектом об'єкта перевищує один рік (будівний лаг), а також якщо в проекті задіяне обладнання, яке потребує заміни протягом розрахункового періоду, тобто у якого $T_{CL} < T$. При цьому число замін визначається з виразу:

$$N_{ЗАМ} = \frac{T}{T_{CL}} - 1, \quad (4.29)$$

де: T – розрахунковий період; T_{CL} – термін служби окремих нетривалих ТЗ.

У загальному випадку дисконтування капіталовкладень здійснюється за формулою:

$$K_H = \sum_{t=0}^{T_{\text{БУД}}} \frac{K_1}{(1+\alpha)^t} + \sum_{t=T_{\text{СП}}}^{T_{\text{СП}} N_{\text{ЗМ}}} \frac{K_1}{(1+\alpha)^t} \quad (4.30)$$

де: K_t – капіталовкладення в рік t ; $T_{\text{БУД}}$ – будівельний лаг в роках.

При $T_{\text{СП}} > T$ і відсутності будівельного лага капіталовкладення дорівнюють початковим одночасним капіталовкладенням K , здійснюваним в рік $t = 0$, тобто в цьому випадку $K_H = K$.

Проект доцільний при $ЧТВ > 0$.

Якщо $ЧТВ < 0$, необхідно проаналізувати можливість зменшення норми дисконту, зниження капіталовкладень, збільшення річного доходу і факторів, що його визначають.

Індекс прибутковості інвестицій (коефіцієнт ефективності проекту), $ІП$, показує, у скільки разів збільшуються вкладені власні кошти за розрахунковий період у порівнянні з нормативним збільшенням на рівні базової ставки. Він представляється у вигляді виразу:

$$ІП = \frac{ЧТВ}{K_H} + 1, \quad (4.31)$$

Проект доцільний при $ІП > 1$.

Внутрішня норма рентабельності, $ВНР$, (IRR), визначає максимальну базову ставку, при якій капіталовкладення не збиткові. Внутрішня норма доходу відповідає такій нормі дисконту, при якій чистий дисконтований дохід обертається в нуль. Вона знаходиться з умови $ЧТВ = 0$ шляхом розв'язку рівняння:

$$ВНР = \sum_{t=1}^T \frac{Д_t}{(1 + ВНР)^t} - K = 0, \quad (4.32)$$

щодо $ВНР$.

Внутрішня норма доходу легко може бути розрахована графоаналітичним методом. Для цього необхідно побудувати графік $ЧТВ = f(\alpha)$, задаючись низкою послідовних значень процентної

ставки. Шукана величина знаходиться в тому інтервалі, де змінюється знак показника $ЧТВ$. Її уточнене значення можна визначити методом лінійної інтерполяції з виразу:

$$BHP = \alpha_{MIN} + (\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}) \frac{ЧТВ_{MAX}}{ЧТВ_{MAX} + ЧТВ_{MIN}} \quad (4.33)$$

де: $\alpha_{MIN}, \alpha_{MAX}$ – мінімальне і максимальне значення ставки в інтервалі; $ЧТВ_{MIN}, ЧТВ_{MAX}$ – мінімальне і максимальне значення $ЧТВ$ в інтервалі, причому у формулі враховується за модулем.

Проект доцільний при $\alpha < BHP$.

Розрізняють статичний (простий) і динамічний (дисконтований) термін окупності капіталовкладень.

Статичний термін окупності показує, за який термін інвестор повертає початкові капіталовкладення. При постійному річному доході цей строк визначається з виразу:

$$T_o = \frac{K}{D_t}, \quad (4.34)$$

Якщо доходи проекту по роках непостійні, величина T_o визначається за кумулятивним доходом, що забезпечує рівність:

$$\sum_t^{T_o} D_t = K, \quad (4.35)$$

Динамічний термін окупності T_o (DPB) відповідає часу, за який інвестор поверне витрачені кошти і отримає нормативний дохід на рівні прийнятої ставки. Він розраховується виходячи з рівняння:

$$\sum_{t=1}^{T_o} \frac{D_t}{(1 + \alpha)^t} - K = 0, \quad (4.36)$$

розв'язаного щодо T_0 .

Показник T_0 можна розрахувати графоаналітично, побудувавши залежність $ЧТВ = f(t)$. Точка, де графік перетинає вісь абсцис, тобто $ЧТВ = 0$, і буде значенням терміну окупності. Шукана величина знаходиться в тому інтервалі, де змінюється знак показника $ЧТВ$. Її уточнене значення можна визначити методом лінійної інтерполяції з виразу:

$$T_0 = T_{MIN} + (T_{MAX} - T_{MIN}) \frac{ЧТВ_{MIN}}{ЧТВ_{MAX} + ЧТВ_{MIN}}, \quad (4.37)$$

де: T_{MIN}, T_{MAX} – мінімальне та максимальне значення часу в інтервалі; $ЧТВ_{MIN}, ЧТВ_{MAX}$ – мінімальне та максимальне значення $ЧТВ$ в інтервалі, причому враховується по модулю.

Проект вважається доцільним при терміні повернення капіталу в межах розрахункового періоду, тобто при $T_0 < T$.

4.3 Спрощені розрахунки показників ефективності ЕЗЗ

Спрощені методи розрахунку показників ефективності ЕЗЗ застосовуються при постійному річному доході проекту ($D_t = \text{const}$).

При сталості річного доходу за умови, що можна знехтувати ліквідаційною вартістю об'єкта, ЧДД визначають за формулою:

$$NPV = CF_t \cdot \alpha_T - I_0, \quad (4.38)$$

де: α_T – дисконтувальний множник (коефіцієнт приведення постійних за величиною грошових сум до початку розрахункового періоду), років. Він визначається з фінансових таблиць або з виразу:

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + \alpha)^{-T}}{\alpha} = \frac{(1 + \alpha)^T - 1}{\alpha(1 + \alpha)^T}, \quad (4.39)$$

При $D_t = \text{const}$ внутрішня норма доходу проекту розраховується наступним чином. З рівняння:

$$D_t \alpha_{T(PP)} - I_0 = 0, \quad (4.40)$$

знаходимо мінімальне граничне значення, при якому проект не збитковий:

$$\alpha_{T(PP)} = \frac{I_0}{CF_t}, \quad (4.41)$$

З фінансових таблиць за відомими значеннями T і $\alpha_{T(PP)}$, застосовуючи метод лінійної інтерполяції, знаходимо шукане значення ВНР:

$$BHP = \alpha_{NPV > 0} + (\alpha_{NPV < 0} - \alpha_{NPV > 0}) \frac{\alpha_{T \text{ MAX}} - \alpha_T}{\alpha_{T \text{ MAX}} - \alpha_{T \text{ MIN}}}, \quad (4.42)$$

де: $\alpha_{NPV > 0}$, $\alpha_{NPV < 0}$ – мінімальне та максимальне значення ставки в інтервалі; $\alpha_{T \text{ MIN}}$, $\alpha_{T \text{ MAX}}$ – мінімальне та максимальне значення множника, що дисконтується, в інтервалі – з таблиць.

При сталості річного доходу і відсутності тимчасового лага динамічний термін окупності визначається з виразу:

$$T_0 = \frac{\lg(1 + \alpha / P_B)}{\lg(1 + \alpha)}, \quad (4.43)$$

де: P_B – коефіцієнт повернення капіталу, що дорівнює

$$P_B = \frac{CF_t}{I_0} - \alpha, \quad (4.44)$$

Величина T_0 може бути також розрахована з фінансових таблиць за відомими значеннями процентної ставки α і $\alpha_{T(PP)}$.

При цьому уточнене значення терміну окупності розраховується методом лінійної інтерполяції:

$$T_0 = T_{MIN} + (T_{MAX} - T_{MIN}) \frac{\alpha_{T(PP)} - \alpha_{T_{MIN}}}{\alpha_{T_{MAX}} - \alpha_{T_{MIN}}}, \quad (4.45)$$

Запитання до самоконтролю

1. Назвіть основні принципи оцінки ефективності інвестиційних проектів.
2. Як розрізняють оцінку ефективності залежно від бази порівняння проектів?
3. Які показники ефективності інвестиційних проектів відносяться до основних? Як вони розраховуються?
4. Що показує індекс прибутковості інвестицій?
5. Як визначається внутрішня норма рентабельності?
6. Коли застосовуються спрощені методи розрахунку показників ефективності ЕЗЗ?

Тема 5. Техніко-економічне обґрунтування використання енергоспоживаючого обладнання

Впровадженню енергозберігаючого проекту на об'єкті повинен передувати вибір економічно доцільного варіанта з декількох потенційно можливих альтернативних ЕЗЗ. З цією метою на попередньому етапі необхідно виконати порівняльний аналіз ефективності таких проектів. При цьому енергозберігаючі проекти слід розділяти на дві групи.

До першої групи належать проекти витратного характеру, не призначені для отримання прибутку. До другої групи належать проекти, здійснення яких призводить до зниження поточних витрат і приросту прибутку.

Проекти першої групи представлені заходами, необхідність виконання яких обумовлена вимогами відповідних нормативних і директивних документів (СНиП, ГОСТ, норми технологічного проектування конкретних об'єктів і т. п.). У першу чергу до них відносяться проекти витратного характеру, пов'язані зі створенням об'єктів інженерної інфраструктури (опалення та вентиляція, водопостачання, освітлення будівель і т. п.). До першої групи належать, наприклад, встановлення приладів обліку енергії, збільшення теплозахисту огорожувальних конструкцій до нормативної величини і т. п. Слід дотримуватися пріоритетність впровадження різних ЕЗЗ в рамках даної групи. Наприклад, заходам щодо збільшення теплоізоляції будівлі обов'язково повинні передувати встановлення автоматичних регуляторів, а також теплогідравлічні балансування систем мікроклімату будинку.

При цьому необхідно зробити порівняння кількох альтернативних варіантів технічних рішень з точки зору їх економічної доцільності. Такі проекти можуть відрізнятися один від одного термінами служби та надійністю конструкцій та обладнання, втратами енергії, розміром капіталовкладень і поточних витрат. Як правило, варіант, в якому задіяно більш дороге енергозберігаюче обладнання, забезпечує менший розмір поточних витрат.

ЕЗЗ першої групи плануються шляхом вибору оптимального варіанта за критерієм сукупних дисконтованих витрат.

Проекти другої групи пов'язані або з установкою додаткового енергозберігаючого обладнання (теплообмінники, автоматичні регулятори енергоспоживання і т. п.), або із заміною старого обладнання на нове, менш енергоємне.

В обох випадках враховуються як період функціонування об'єкта, так і терміни служби конкуруючих ТЗ.

Для заходів першої групи завдання ТЕО зводиться до вибору такого альтернативного варіанта, який буде пов'язаний з найменшими сукупними дисконтованими витратами (СДВ) за розрахунковий період.

Сукупні дисконтовані витрати з порівнюваним варіантом визначаються з виразів:

$$СДВ_1 = (K_{H1} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{1t} - A_{1t}}{(1 + \alpha)^t}), \quad (5.1)$$

$$СДВ_2 = (K_{H2} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{2t} - A_{2t} + \Delta ПП_t}{(1 + \alpha)^t}), \quad (5.2)$$

де, відповідно за варіантами: K_H – дисконтовані капіталовкладення, що визначаються за формулою (4.30) з урахуванням тимчасового лага і кількості замін устаткування за розрахунковий період; C_t, A_t , – поточні витрати та амортизаційні відрахування на рік t ; $\Delta П, П_t$ – зміна податку на прибуток у другому варіанті; α – прийнята процентна ставка (норма дисконту), відн. од.; T – горизонт розрахунку (розрахунковий період).

Для деяких проектів розраховують показник річних СДВ (рік). Вони визначаються з виразів:

$$СДВ_{1(рік)} = (K_{H1} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{1t} - A_{1t}}{(1 + \alpha)^t}) \beta_{T1}, \quad (5.3)$$

$$СДВ_{2(рік)} = (K_{H2} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{2t} - A_{2t} + \Delta ПП_t}{(1 + \alpha)^t}) \beta_{T2}, \quad (5.4)$$

де: β_t – коефіцієнт анuitету; T_1, T_2 – термін служби обладнання в порівнюваних варіантах, років; K_{H1}, K_{H2} – капіталовкладення, дисконтовані відповідно в межах відрізків часу T_1 і T_2 .

Коефіцієнт анuitету – величина, зворотна множнику, що дисконтується (див. формулу (4.39)). Він визначається з виразу:

$$\beta_T = \frac{1}{\alpha_T} = \frac{\alpha(1+\alpha)^T}{(1+\alpha)^T - 1}, \quad (5.5)$$

Зміна податку на прибуток визначається за формулою:

$$\Delta\Pi\Pi = \frac{C_{\Pi\Pi}}{100} (C_1 - C_2), \quad (5.6)$$

де: $C_{\Pi\Pi}$ – ставка податку на прибуток, %.

Якщо поточні витрати за роками розрахункового періоду незмінні, для розрахунку CDB використовуються формули:

$$CDB_1 = K_{H1} + (C_1 - A_1)\alpha_T, \quad (5.7)$$

$$CDB_2 = K_{H2} + (C_2 - A_2 + \Delta\Pi\Pi)\alpha_T, \quad (5.8)$$

Сукупні дисконтовані витрати в річному обчисленні при сталості річних витрат визначаються з виразів:

$$CDB_1 = K_{H1}\beta_{T1} + (C_1 - A_1), \quad (5.9)$$

$$CDB_2 = K_{H2}\beta_{T2} + (C_2 - A_2 + \Delta\Pi\Pi), \quad (5.10)$$

У виразах K_{H1} , K_{H2} – капіталовкладення, дисконтовані відповідно в межах відрізків часу T_1 і T_2 ; β_{T1}, β_{T2} – коефіцієнт ануїтету.

Метод вибору варіантів інвестування за показником *СДВ* має особливе значення для бюджетної сфери та неприбуткових організацій, де дуже актуальне питання про найбільш раціональне використання обмежених інвестиційних ресурсів. Однак слід обмежити застосування критерію *СДВ* областю ЕЗЗ першої групи, оскільки мають місце ситуації, коли прийнятий (за мінімумом *СДВ*) кращий варіант може дати негативну прибутковість інвестицій.

У тих випадках, коли порівнюються енергозберігаючі проекти з різними термінами служби ТЗ (t_1, t_2, t_3 і т.д.) у межах розрахункового періоду T , *ЧТВ* слід визначати за формулою:

$$ЧТВ = D_t \alpha_T - K \frac{\alpha_T}{\alpha_t}, \quad (5.11)$$

де: K – початкові інвестиції; α_T, α_t , – дисконтувальний множник, відповідно за звітний період T і за термін служби t оцінюваних ТЗ. Слід зазначити, що в цій ситуації орієнтація на термін окупності інвестицій в якості основного критерію відбору ЕЗЗ може призвести до помилкових результатів.

Запитання до самоконтролю

1. Для яких енергозберігаючих заходів виконують порівняльний аналіз ефективності?
2. Що таке сукупні дисконтовані витрати ?
3. Що таке коефіцієнт ануїтету?
4. Чим відрізняється застосування показника *СДВ* та *СДВ_(рік)*?
5. Як впливає на розрахунок тривалість розрахункового періоду?

**Змістовий модуль 3. Економічні аспекти
управління енерговикористанням
Тема 6. Техніко-економічне обґрунтування
енергозабезпечення**

Всі види матеріальних і грошових витрат, крім капітальних вкладень, пов'язані з виробництвом і збутом продукції, називаються витратами виробництва. Вони складають собівартість виготовленої продукції.

Собівартість продукції – це вартісна оцінка використовуваних у процесі виробництва природних ресурсів, сировини, матеріалів, палива, енергії, основних засобів, трудових ресурсів, а також інших витрат на її виробництво і реалізацію.

Визначають як собівартість усієї продукції, або витрати I , так і собівартість одиниці продукції s . Розрахунок загальних виробничих витрат містить всі виробничі витрати, тобто. матеріальні, витрати з оплати праці, загальнозаводські, накладні та інші витрати, віднесені на виробництво продукції за розглянутий період. Собівартість одиниці продукції визначається як відношення всіх виробничих витрат до кількості виробленої продукції:

$$\bar{s} = \frac{I}{V} \quad (6.1)$$

де I – сумарна (повна) собівартість, млн грн.; s – одинична собівартість, млн грн / од. пр.; V – обсяг виробленої продукції.

У промисловості розрізняють наступні види собівартості: цехова, заводська і повна.

Цехова собівартість – представляє собою витрати цеху, пов'язані з виробництвом продукції.

Загальновиробнича (або заводська) – крім витрат цехів містить загальнозаводські та загальногосподарські витрати (такі, як витрати на утримання заводууправління, складів і т.п.).

Повна (або комерційна) – відображає всі витрати на виробництво і реалізацію продукції, складається з виробничої собівартості і позавиробничих витрат (витрати на тару, упаковку, транспортування продукції).

В енергетиці відсутня цехова собівартість.

Собівартість продукції враховується і планується за економічними елементами і за калькуляційними статтями (за статтями витрат).

Собівартість продукції, розрахована за економічними елементами, містить економічно однорідні елементи незалежно від того, де витрачаються кошти і на які цілі.

До економічних елементів відносять: матеріальні витрати за вирахуванням вартості зворотних відходів, амортизаційні відрахування, витрати на ремонт, заробітну плату, витрати на покупну енергію й інші грошові витрати.

Групування за економічними елементами необхідне для визначення загальних потреб підприємства в матеріальних і грошових ресурсах, тобто для складання кошторису виробництва.

Для внутрішньовиробничого планування і виявлення резервів необхідно знати не тільки загальну суму витрат, а й величину витрат залежно від місця їх виникнення. Для розрахунку собівартості одиниці продукції певного виду і складання калькуляції застосовується угруповання витрат за калькуляційними статтями, яке враховує їх виробниче призначення, фази виробництва.

До калькуляційних статей відносяться:

- 1) паливо на технологічні потреби;
- 2) вода на технологічні потреби;
- 3) основна заробітна плата виробничих робітників;
- 4) додаткова заробітна плата виробничих робітників (на оплату відпусток, відряджень і т.п.);
- 5) відрахування на соціальне страхування із заробітної плати виробничих робітників з урахуванням ЄСВ;
- 6) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:
 - а) амортизація обладнання,
 - б) витрати на поточне технічне обслуговування;
- 7) витрати з підготовки та освоєння виробництва (пускові витрати);
- 8) покупна енергія на технологічні потреби;
- 9) цехові витрати;
- 10) загальнозаводські витрати;
- 11) комерційні витрати.

Перші дев'ять пунктів становлять цехову собівартість, з першого по десятий пункти – загальновиробничу собівартість, а з урахуванням одинадцятого пункту – повну комерційну собівартість.

Методи поділу витрат за видами продукції

У теплоенергетиці широко розвинене комбіноване виробництво енергії на базі комплексного використання палива. У комплексних виробництвах одночасно на різних стадіях технологічного процесу виробляється кілька видів продукції, що розрізняються як за фізичними властивостями і параметрами, так і за ступенем ефективності процесів одержання кожного виду продукції. При цьому значна частина витрат на виробництво - загальна і повинна бути розподілена між усіма видами продукції.

Відповідно до діючих правил бухгалтерського обліку та Закону про оподаткування підприємство самостійно приймає рішення про розподіл загальних витрат між видами продукції. Таким чином, підприємство може забезпечити підвищення конкурентоспроможності своєї продукції.

Існує кілька принципів розподілу витрат за видами продукції.

Принцип пропорційного кількісного показника – фізичний метод (маса, об'єм, штуки).

Усі витрати комбінованого виробництва приймаються такими, якими вони були б при роздільному виробництві кожного з видів продукції.

Витрати при комбінованому виробництві завжди менше, ніж при роздільному: $I_{\text{комб}} < I_{\text{розд}}$

Річний обсяг виробництва виду кожного продукції

Показники, пропорційно якими розподіляються витрати

V_1 λ_1

V_2 λ_2

V_n λ_n

I_k λ_k

де I_k – сумарні витрати комбінованого виробництва;

$$\lambda_k \equiv \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (6.2)$$

Частка на кожне окреме виробництво:

$$I_1 \equiv I_{\kappa} \frac{\lambda_1}{\lambda_{\kappa}}. \quad (6.3)$$

Собівартість :

$$\bar{c} = \frac{I_i}{V_{\kappa}} = \frac{I_{\kappa} \lambda_i}{V_i \lambda_{\kappa}} \quad (6.4)$$

Приклад. Теплоелектроцентрально – це комбіноване виробництво електроенергії та теплової енергії. Для ТЕЦ найбільшими є витрати на паливо, і тому метод полягає у розподілі загальної витрати палива між виробництвом теплоти та електричної енергії.

Цей спосіб рознесення витрат зручний і простий, але має деякі недоліки, головний з яких – умовність показника, пропорційно якому проводиться поділ витрат.

Принцип віднімання витрат. З декількох продуктів виділяється один – основний, а решту розглядають як побічні. Витрати на побічні продукти віднімають із загальних витрат за ціною реалізації або за собівартістю отримання їх в роздільному виробництві. Залишок відносять на основний продукт.

Нехай відомі обсяги виробництва, собівартості та ціни реалізації всіх видів продукції при роздільному виробництві:

$$V_1, S_1, C_1; V_2, S_2, C_2; \dots; V_n, S_n, C_n$$

Нехай перший продукт – основний вид продукції, тоді загальні річні витрати можна визначити за формулою:

$$I_1 = I_{\kappa} - \sum_{i=2}^n (V_i \bar{S}_i) \quad (6.5)$$

або

$$I_1 = I_{\kappa} - \sum_{i=2}^n (V_i C_i), \quad (6.6)$$

де I_k , I_1 – загальні витрати і витрати на основний продукт, грн / год;

$\bar{s}_1$ – собівартість і-го побічного продукту, грн / од. пр.;

C_i – ціна і - го побічного продукту.

а собівартість одиниці основного виду продукції з виразу:

$$\bar{s} = \frac{I_1}{V_1}. \quad (6.7)$$

При такому розподілі всі вигоди ставляться на основний продукт, але у цього способу є ряд недоліків:

1) в окремих випадках віднесення економії до одного виду може призвести до того, що основний вид буде мати нульове або навіть негативне значення собівартості, наприклад, внаслідок високих цін.

Тоді цей спосіб не може бути використаний;

2) у разі використання собівартості для роздільного виробництва продукції в розрахунок вводиться інформація, що відноситься до інших виробництв, що викликає невизначеність у вирішенні завдань.

Метод визначення частки спільних витрат у собівартості продукції в умовах роздільного виробництва.

Нехай відомі обсяги $V_1, V_2, \dots, V_n$, собівартості $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \dots, \bar{s}_n$ і загальні витрати I_k на виробництво всіх видів продукції

$$\sum (V_i \bar{s}_i) > I_k. \quad (6.8)$$

Загальні експлуатаційні витрати в комбінованому виробництві менше, ніж сума експлуатаційних витрат на отримання продуктів $V_1, V_2, \dots, V_i$ в роздільному виробництві з питомою собівартістю $\bar{s}_1$ одиниці продукції кожного виду $\sum (V_i \bar{s}_i) > I_k$ Співвідношення цих величин оцінюється коефіцієнтом

$$\alpha = \frac{I_k}{\sum (\overline{V_i S_i})} < 1. \quad (6.9)$$

Цей коефіцієнт використовується як знижувальний для визначення витрат кожного виду продукції комбінованого виробництва

$$\overline{S_i^k} = \alpha S_i = \frac{I_k}{\sum (\overline{V_i S_i})} \overline{S_i} \quad (6.10)$$

де $\overline{S_i^k}$ – собівартість одиниці продукції при комбінованому виробництві.

Ціновий метод. При цьому методі визначення частки спільних витрат здійснюється пропорційно ціні продукції в умовах роздільного виробництва за аналогією з попереднім методом.

Метод електричних еквівалентів. При розподілі витрат за цим методом розраховується частка кожного виду енергії в загальному обсязі виробництва. Для порівнянності всі види потужності та енергії виражаються в одиницях електроенергії, тобто в кіловатах або кіловат-годинах. Використовуються різні коефіцієнти розподілу: для умовно-постійних та умовно-змінних витрат. Умовно-постійні витрати визначаються складом устаткування енергопідприємства, його сумарною встановленою потужністю. Цей метод застосовується у спрощеному вигляді, коли всі види витрат розподіляються пропорційно кількості енергії, без урахування їх залежності від режимів роботи обладнання.

Коефіцієнт умовно-постійних витрат за видами продукції визначається співвідношеннями:

$$m_e^{nocm} = \frac{N_e}{N_\Sigma}; \quad m_{m.e}^{nocm} = \frac{N_{m.e}}{N_\Sigma} \quad (6.11)$$

де N_e – електрична потужність обладнання; $N_{m.e}$ – електричний еквівалент потужності відборів пари на зовнішнє тепlopостачання

$$N_{m.e} = 0,278 Q_{zod};$$

$N_{\Sigma} = N_e + N_{m.e}$ – сумарна потужність за відбором пари та електроенергії, МВт;

$Q_{год}$ – сумарне максимальне годинне навантаження за теплою на зовнішнє тепlopостачання, ГДж / год

Умовно - постійні витрати розподіляються наступним чином. На електроенергію відносяться витрати: на заробітну плату:

$$I_e^{3.n} = I_{3.n} m_e^{nocm}, \quad (6.12)$$

амортизацію

$$I_e^{am} = I_{am} m_e^{nocm}, \quad (6.13)$$

на ремонт та інше.

$$I_e^{nocm} = I_{nocm} m_e^{nocm} \quad (6.14)$$

Аналогічний розрахунок проводиться по теплоті.

До умовно-змінних витрат відносяться паливні витрати, які розподіляються пропорційно кількості виробленої за рік енергії:

$$I_e^T = I_T \frac{E_{\Gamma}}{W_{\Sigma}} \quad (6.15)$$

де $W_{\Sigma} = E_{\Sigma} + W_{m.e}$ – еквівалент сумарної річної енергії;

$W_{m.e} = 0,278 Q_{omn}$

Витрати на паливо для виробництва тепла та електроенергії

$$I_{T.E}^T = I_T \frac{W_{T.E}}{W_{\Sigma}} \quad I_e^T = I_T \frac{E_{\Gamma}}{W_{\Sigma}} \quad (6.16)$$

Собівартість виробленої одиниці електричної енергії та тепла:

$$\overline{c_{e.e}^{вир}} = \frac{\sum I_E}{E_p} = \frac{I_E^{nocm} + I_E^T}{E_p}; \quad (6.17)$$

$$\overline{c_{e.e}^{вир}} = \frac{\sum I_T}{E_p} = \frac{I_{T.E}^{nocm} + I_{T.E}^T}{E_p} \quad (6.18)$$

Собівартість електроенергії і тепла, відпущених споживачеві:

$$\overline{c_{e.e}^{відп}} = \frac{\sum I_E}{E_p - E_{B.П}}; \quad (6.19)$$

$$\overline{c_{e.e}^{вир}} = \frac{\sum I_{T.E}}{Q_{відп}} = \frac{I_{T.E}^{nocm} + I_{T.E}^T}{Q_{відп}} \quad (6.20)$$

де E_p – річне вироблення електроенергії, кВт · год / рік; $E_{в.п}$ – витрата електроенергії на власні потреби, кВт · год / рік; $Q_{відп}$ – річна кількість відпущеної теплової енергії, ГДж / рік; I_E – витрати на вироблення електроенергії, млн грн / рік; $I_{т.е}$ – витрати на вироблення теплоенергії, млн грн / рік

Запитання до самоконтролю

1. Що називають витратами виробництва?
2. Назвіть методи розподілу витрат за видами продукції і їх недоліки.
3. Поясніть метод віднімання витрат та його недоліки.
4. Поясніть метод визначення частки спільних витрат у собівартості продукції в умовах роздільного виробництва.
5. Поясніть ціновий метод.
6. Поясніть метод електричних еквівалентів.

Змістовий модуль 4. Оптимізаційні задачі при оцінці економічних аспектів енергоефективності

Тема 7. Транспортні задачі в підвищенні енергоефективності

7.1 Постановка задачі оптимізації джерел енергозабезпечення підприємства

Транспортні задачі – задачі пошуку шляхів перевезення продуктів від пунктів виробництва до пунктів споживання, при яких загальна вартість перевезення є мінімальною. Вони також набули поширення в енергетиці, де під продуктом мається на увазі електрична потужність, що передається від джерел живлення до споживачів лініями електропередавання.

Оптимізації підлягають витрати на схему електричної мережі, яка складається з ліній електропередавання, що пов'язують вузли джерел живлення з вузлами споживачів.

В енергетичному менеджменті транспортні задачі можна використовувати для пошуку оптимальних шляхів забезпечення різних енергетичних потреб підприємств – як енергетичні ресурси, отримані від різних постачальників на власних енергетичних потужностях підприємства.

Нехай в системі енергозабезпечення підприємства є $i=1\dots n$ вузлів джерел виробництва енергії та $j=1\dots m$ вузлів споживачів. Як джерела виробництва може розглядатись таке обладнання як газові та електричні котли, теплові помпи, сонячні колектори, ГТУ, КГУ та інше обладнання, що генерує електричну та/або теплову енергію.

Ефективність використання того чи іншого обладнання визначається специфікою підприємства, так, зокрема, теплові помпи та КГУ можуть використовувати потенціальну енергію за рахунок утилізації ВЕР. Як споживачі розглядається обсяг енергії за напрямком її використання, тобто ГВП, опалення, технологічні потреби.

За умовами задачі оптимізації потужність кожного джерела з n складає A_i , потужність кожного з m споживачів – B_j . Якщо в загальному випадку оптимальний варіант характеризується мінімальними витратами на забезпечення j споживачів від i джерел, то в запропонованій постановці він може відображати мінімальні витрати підприємства на енергоресурси від i джерел на j потреби, які визначаються добутком обсягу енергії на собівартість її виробництва. Остання залежить не тільки від технологій, але і від потужності обладнання, а в деяких випадках і від способу доведення енергії до споживачів.

Розмір капіталовкладень в обладнання суттєво залежить від потужності. У більшості випадків зі збільшенням потужності знижуються капіталовкладення. Тому першочерговою задачею є визначення з потужністю генеруючого обладнання, яка може визначатись за потребою в енергії або за наявністю ресурсу для утилізації.

Собівартість виробництва енергії Z_{ij} в загальному вигляді розраховується за формулою:

$$C = B_{\text{паливо}} + B_{\text{амор}} + B_{\text{рем}} + B_{\text{ФЗП}} + B_{\text{ін}}, \quad (7.1)$$

де $B_{\text{паливо}}$ – витрати на паливо;

$B_{\text{амор}}$ – витрати на амортизацію;

$B_{\text{рем}}$ – витрати на ремонт;

$B_{\text{ФЗП}}$ – витрати на фонд заробітної плати;

$B_{\text{ін}}$ – інші витрати.

Витрати на паливо для сонячних колекторів:

$$B_{\text{паливо}}^{\text{СК}} = 0 \quad (7.2)$$

Витрати на паливо для теплових pomp визначається потужністю електроприводу теплової помпи:

$$B_{паливо}^{TH} = \frac{1}{3} \cdot Q_{TH} \cdot T_{ел} \quad (7.3)$$

Витрати на паливо для когенераційного обладнання містять доставку палива та природний газ, необхідний для запуску:

$$B_{паливо}^{кзу} = V_{тр.} \cdot C_{тр} + V_{г} \cdot T_{г}, \quad (7.4)$$

де $V_{тр.}$ – об'єм палива, що транспортується, т;

$C_{тр}$ – вартість транспортування, грн/т;

$V_{г}$ – об'єм природного газу, м³;

$T_{г}$ – ціна за 1 м³ газу, грн/м³.

Витрати на амортизацію обчислюються за формулою:

$$B_{амор} = \frac{1}{T_{експ}} \cdot K_{обл} \cdot k, \quad (7.5)$$

де $T_{експ}$ – термін експлуатації обладнання, для сонячних колекторів – 25-30 років, для теплових pomp та когенераційного обладнання – до 20 років;

$K_{обл}$ – капіталовкладення;

$k = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує транспортні витрати та пусконаладжувальні роботи.

Витрати на ремонт визначаються як:

$$B_{рем} = 0,2 \cdot B_{амор} \quad (7.6)$$

Витратами на фонд заробітної плати нехтуємо, якщо не змінюється кількість працівників, а якщо змінюється, то обчислюємо за формулою:

$$B_{ФЗП} = 1,22 \cdot Z_n, \quad (7.7)$$

де Z_n – сума окладів посадових працівників, що залучені до обслуговування нового обладнання;

1,22 – коефіцієнт, що враховує сплату єдиного соціального внеску.

Інші витрати розраховуються за формулою:

$$B_{ін} = 0,05 \cdot (B_{паливо} + B_{амор} + B_{рем} + B_{ФЗП}) \quad (7.8)$$

Але впровадження нового обладнання супроводжується капіталовкладеннями.

Термін окупності заходів, що впроваджуються, визначається за наступною формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_{\Sigma}}{E_{\Sigma}} = \quad (7.9)$$

$$= \frac{K_{СК} + K_{ТН} + K_{КТУ}}{Q_{ГВП}(T_{ГВП} - C_{СК}) + Q_{ГВП}(T_{ГВП} - C_{ТН}) + Q_{опал}(T_{опал} - C_{ТН}) + Q_{опал}(T_{опал} - C_{КТУ}) + W(T_{ел} - C_{КТУ})}$$

де E_{Σ} – результат або ефект від здійснення енергозберігаючих заходів – впровадження сонячних колекторів, теплової помпи та когенераційного обладнання, грн;

K_{Σ} – витрати капіталу або обсяг інвестиції для реалізації енергоефективного проекту, що враховує капітальні витрати на впровадження сонячних колекторів, теплової помпи та когенераційного обладнання, грн.

Співвідношення кількості теплової енергії, виробленої за допомогою сонячних колекторів Q_1 , кількості теплової енергії, виробленої за допомогою теплових pomp Q_2 , кількості теплової енергії Q_3 та кількості електроенергії W_3 , виробленої за допомогою когенераційного обладнання для всіх підприємств різне, залежить від особливостей підприємств та економічної ефективності, тому є сенс шукати оптимальне співвідношення для кожного підприємства за допомогою задачі оптимізації.

Джерела виробництва енергії – $i=1...n$, потреби підприємства $j=1...m$. Кожне i -те джерело може повністю або частково задовольнити j -ті потреби підприємства в енергії.

У разі неможливості повного покриття усіх потреб споживачів власними генеруючими потужностями підприємства, що розглядаються в задачі, проблема дефіциту енергії вирішується за рахунок централізованих джерел енергії.

Задача оптимізації, що розглядається, має двостороннє рішення, тобто треба оцінювати вигоду від добору енергії з централізованого джерела енергії або її економії.

І навпаки, якщо не вистачає обсягів енергії, вводимо умовного споживача. Тобто різниця між обсягами енергії, якою можемо задовольнити потреби за рахунок джерел, що розглядаються та обсягами, що споживаються, розглядається як необхідний результат енергозбереження. Тобто така кількість енергії, на яку необхідно знизити обсяги енергоспоживання, щоб обмеження задачі оптимізації виконувались та задача мала рішення відповідно критерія мінімізації витрат підприємства на енергоресурси.

Кількість енергії, що виробляється генеруючим обладнанням (тепловою помпою, сонячним колектором та когенераційним

обладнанням), і є шуканими змінними X_{ij} . В умовах енергозабезпечення підприємства з урахуванням невеликої довжини теплотрас для передачі теплової енергії та кабельних ліній для електропостачання нехтуємо витратами на підведення енергії до споживачів.

Витрати на споживання енергоресурсів дорівнюють сумі добутків собівартостей Z_{ij} на величини енергії, що виробляються X_{ij} .

Цільова функція мінімізації витрат підприємства на енергоресурси має вигляд:

$$Z = \sum_{i=1 \dots n} \sum_{j=1 \dots m} (X_{ij} \cdot Z_{ij}) \rightarrow \min \quad (7.10)$$

Для кожного i -го джерела сума потужностей, що споживається на всі $j=1 \dots m$ потреби, дорівнює потужності A_i джерела:

$$\sum_{j=1 \dots m} X_{ij} = A_i \quad (7.11)$$

Вибір потужності обладнання доцільно розглядати для окремих випадків: ГВП, опалення або ГВП + опалення.

Капітальні витрати забезпечують різну собівартість $Z_{ГВП}$, $Z_{опал}$, $Z_{ТП}$. Якщо тепловий насос використовується для потреб ГВП – $W_{ГВП} < W_{опал}$, то собівартість теплової енергії $Z_{ГВП} > Z_{опал} (P_1, P_2, P_3)$.

Якщо можливості i -го джерела обмежені, вводиться додаткове обмеження щодо:

$$X_{ij} \leq \text{const} \quad (7.12)$$

Для кожного j -го споживача сума потужностей, що передається від всіх $i=1 \dots n$ джерел, дорівнює потужності B_j цього споживача:

$$\sum_{i=1...n}^n X_{ij} = B_{ij} \quad (7.13)$$

Строга нерівність застосовується для повного задоволення потреби.

Всі шукані потужності є невід'ємними:

$$X_{ij} \geq 0 \quad (7.14)$$

Неможливість використання i -го обладнання на j -потребу також розглядаємо як обмеження:

$$X_{ij} = 0 \quad (7.15)$$

Неможливість одночасної реалізації ($TH_{ГВП}$, $TH_{опал}$, $TH_{ТП}$ – альтернативні проекти) відображається за допомогою умовної змінної, яка приймає значення 1 при виборі обладнання за потужністю j -потреби, та 0 при виборі за іншою потужністю.

Тобто:

$$X_{TH}^{ГВП} + X_{TH}^{опал} + X_{TH}^{ТП} \leq 1$$

Застосування нестрокої нерівності за наявності централізованого джерела серед генеруючих потужностей передбачає відмову від i -го виду генеруючого обладнання у випадку, якщо собівартість виробництва енергії i -м обладнанням набагато більше тарифу на її постачання та споживання. Доцільним буде енергозабезпечення власними джерелами, якщо собівартість виробництва енергії менше за тариф або якщо існують обмеження щодо обсягів енергопостачання централізованим джерелом енергозабезпечення.

7.2 Алгоритм використання задачі оптимізації джерел енергозабезпечення підприємства

Для розв'язку задачі оптимізації запропонований алгоритм, зображений на рисунку 7.1.

В першу чергу, необхідно визначитись із специфікою підприємства та визначити енергетичні потреби підприємства. Далі, виходячи із потреб підприємства, підбирається потужність обладнання, визначається кількість енергії, що може ним вироблятися та розраховується собівартість цієї енергії, формулюються необхідні обмеження. Якщо собівартість виробництва енергоресурсу менше за тариф на централізоване постачання, то далі за допомогою Пошуку рішень в Microsoft Office Excel розв'язується задача оптимізації.

Цільовою функцією є мінімізація витрат підприємства на енергоресурси, а рішенням – кількість енергії, що виробляється кожним типом генеруючого обладнання. Програма автоматично вказує, яке рішення буде оптимальним, тобто супроводжуватиметься мінімальними витратами на енергоресурси для підприємства.

Якщо існує оптимальне рішення, тобто виконуються всі обмеження, значення цільової функції менше за базові витрати на енергоресурси та термін окупності впровадження обладнання є допустимим, то можна виконувати техніко-економічне обґрунтування і впроваджувати таке обладнання. Якщо ж оптимального рішення немає, то визначаємо можливе рішення з урахуванням динаміки тарифів і визначаємо час, коли використання такого обладнання стане вигідним.

Якщо собівартість виробництва енергоресурсу більше за тариф на централізоване постачання енергоресурсів, то розглядаємо шляхи мінімізації собівартості. Питомі витрати на одиницю виробленої продукції енергії при збільшенні потужності обладнання можуть як збільшуватись, так і зменшуватись. Відповідно, буде збільшуватись або зменшуватись собівартість енергоресурсу.

При збільшенні потужності генеруючого обладнання собівартість енергоресурсу зменшується – обираємо потужність обладнання виходячи з потенціалу підприємства для відпуску енергії стороннім споживачам. Якщо нова собівартість виробництва енергоресурсу за нових капіталовкладень менше за тариф на централізоване постачання, то за допомогою Пошуку рішень розв'язується задача оптимізації. Якщо ж нова собівартість виробництва енергоресурсу більше за тариф на централізоване постачання, то діємо як у випадку відсутності оптимального рішення.

Також потрібно враховувати, що навіть якщо собівартість виробництва енергоресурсу більша за тариф на централізоване постачання, то використання цього обладнання все одно може бути присутнім в оптимальному рішенні. Тобто, собівартість більш дешевих енергоресурсів може перебивати більш дорогі і в цілому, їх використання може бути вигідним.

При збільшенні потужності генеруючого обладнання собівартість енергоресурсу збільшується – вигідно використовувати менш потужне обладнання і, відповідно, більш ефективним буде генерувати менший об'єм енергії, отже, на підприємстві більш доцільним за пошук оптимізації джерел енергозабезпечення є реалізація потенціалу енергозбереження. Далі потрібно розрахувати показники ефективності заходів з енергозбереження та повернутися до вибору потужності генеруючого обладнання. Після чого знову розв'язуємо задачу оптимізації, знаходимо оптимальне рішення та виконуємо техніко-економічне обґрунтування оптимального рішення.

Запитання до самоконтролю

1. Що таке транспортні задачі?
2. Які обмеження формулюються при постановці задачі оптимізації?
3. Від чого залежить розмір капіталовкладень в обладнання?
4. Як визначається термін окупності заходів?
5. Який вигляд має цільова функція мінімізації витрат підприємства на енергоресурси ?

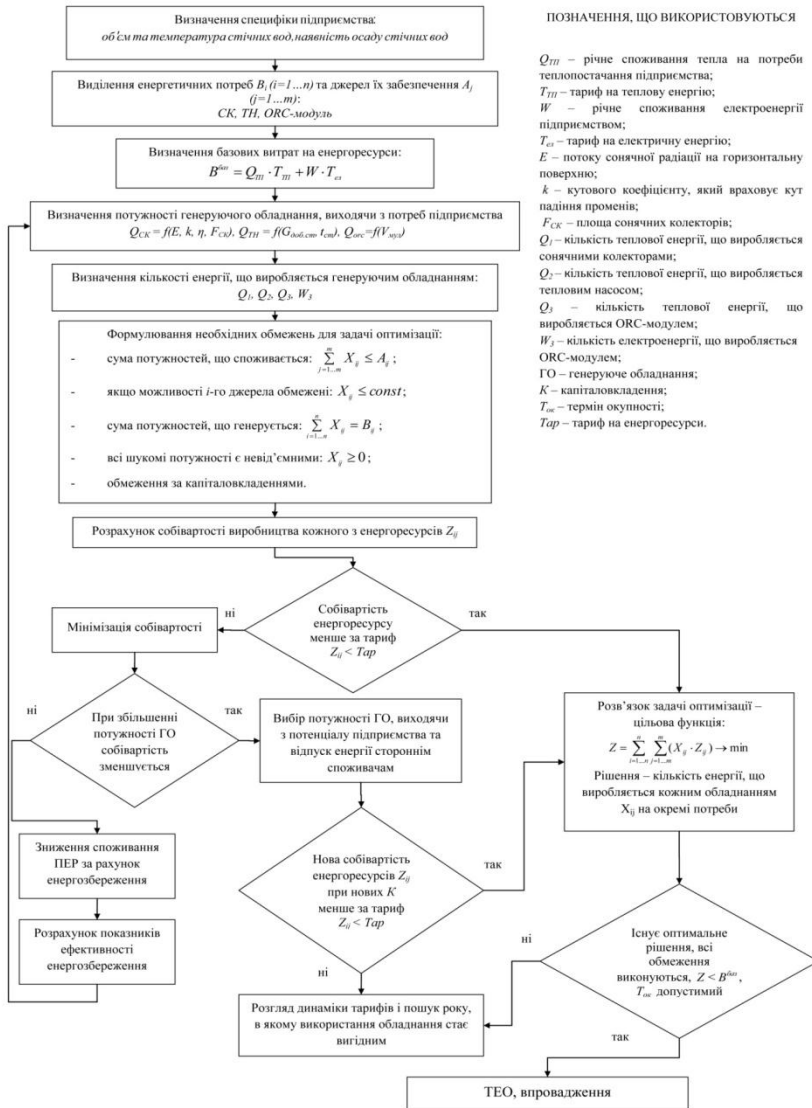


Рисунок 7.1 – Алгоритм використання задачі оптимізації джерел енергозабезпечення підприємства

ЛІТЕРАТУРА

1. Бакалін, Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент [Текст] : навч. посібник для внз / Ю. І. Бакалін. - 3-тє вид., перероб. і доп. - Х. : Бурун і К, 2006. - 319 с.
2. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения [Текст]. В 2 кн. Кн. 1 : справочник / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев ; ред. В. Г. Лисиенко. - М. : Теплотехник, 2005. - 688 с.
3. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения [Текст]. В 2 кн. Кн. 2 : справочник / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев ; ред. В. Г. Лисиенко. - М. : Теплотехник, 2005. - 760 с.
4. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. - 3-е изд., стереотип. - Мн. : БГЭУ, 2004. - 198 с.
5. Півняк, Г. Г. Проблеми енергозбереження, екології та шляхи їх розв'язання [Текст] : навч. посібник / Г. Г. Півняк, М. О. Доброгорський, М. А. Дудля ; Дніпропетр. гірн. ін-т. - К. : НМК ВО, 1991. - 134 с.
6. Самохвалов, В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження [Текст] : навч. посібник для ВНЗ / В. С. Самохвалов; Нац. ун-т кораблебудування ім. адм. Макарова (Херсон. філія). - К. : ЦУЛ, 2008. - 223с.
7. Саницький, М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві [Текст] : навч. посібник / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012. - 235 с.
8. Шульман, Р. Ф. Энергосберегающая энциклопедия биотопливных технологий и альтернативных источников энергии [Текст] : энциклопедия / Р. Ф. Шульман. - К. : , 2006. - 560 с.
9. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії [Текст] / С. М. Бевз, Б. І. Бондаренко, О. Ф. Буткевич та ін. ; ред. А. К. Шидловський ; НАН України. Підприємство "Укренергозбереження". - К. : Укр. енцикл. знання, 2007. - 559 с.
10. Маляренко, В. А. Енергоефективність та енергоаудит [Текст] : навч. посібник / В. А. Маляренко, І. А. Немировський ; ред.

В. А. Маляренко ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва ; Центр енергозберігаючих технологій. - Х. : САГА, 2009. - 330 с.