

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання практичних робіт з дисципліни**  
**«Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності»**  
для студентів спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,  
освітня програма (спеціалізація) «Енергетичний менеджмент»  
всіх форм навчання  
Частина 1

2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма (спеціалізація) «Енергетичний менеджмент» всіх форм навчання. Частина 1. Укл.: К.О.Братковська, Ю.Б.Ліуш. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 32с.

Укладач: К.О.Братковська, доцент, канд.екон.наук  
Ю.Б.Ліуш, доцент, канд.техн.наук

Рецензент: А.В.Пирожок, доцент, канд.техн.наук

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

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електропостачання промислових  
підприємств»  
Протокол № 8  
від «26» квітня 2023 р.

Рекомендовано до видання  
НМК електротехнічного  
факультету  
Протокол № 10  
від «29» червня 2023 р.

**ЗМІСТ**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                | 4  |
| Заняття 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЇ ПЕРВИННИХ ТА<br>ПОХІДНИХ ПЕР .....                          | 5  |
| Заняття 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ<br>ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....                                | 10 |
| Заняття 3,4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ<br>ОБІРУНТУВАННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ЗАМІНИ<br>ОБЛАДНАННЯ..... | 17 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                     | 30 |
| ДІАГРАМА ПЕРЕРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ<br>ВЕЛИЧИН .....                                         | 31 |

## ВСТУП

Енергозбереження – це діяльність, яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів у національному господарстві. Енергоефективність – це властивість обладнання, технології, виробництва або систем загалом, яка характеризує міру використання енергії на одиницю кінцевого продукту, і може бути оцінена за допомогою показників як кількісно (кВт·год, тонни умовного палива, кДж на одиницю кінцевого продукту), так і якісно (низька, висока).

Підвищення енергоефективності досягається за рахунок реалізації системи цілеспрямованих організаційних і технічних заходів, у тому числі за рахунок управління раціональним використанням енергії на всіх стадіях її виробництва, передачі, розподілу і споживання, включаючи комплексне оптимальне розв'язання технічних, економічних та екологічних проблем, пов'язаних із цим процесом, що є не що інше як енергетичний менеджмент.

В умовах ринкової економіки важливою є не тільки ефективність використання активів та інвестицій, але й ресурсів, у тому числі енергетичних. Процес прийняття рішень щодо впровадження енергозберігаючих заходів, підвищення енергоефективності та зниження енерговитрат підприємства вимагає обґрунтування їх доцільності, яке є невід'ємною складовою в діяльності енергоменеджера, і вивчається в рамках дисципліни «Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності».

## Заняття 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЇ ПЕРВИННИХ ТА ПОХІДНИХ ПЕР

**Мета:** Навчитися визначати економію ПЕР на основі даних енергоаудиту та аналізувати отримані результати.

### Загальні відомості.

Аналіз ефективності використання ПЕР на об'єкті супроводжується розрахунком економії первинних та похідних ПЕР та обчисленням основних показників енергоефективності.

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

$$\Delta E_w = \sum_i Q_{wi}^0 [e_{wi}^\delta - e_{wi}^0 + \sum_j (q_{ji}^\delta - q_{ji}^0) \cdot e_j^\delta + \sum_\phi (q_{\phi i}^\delta - q_{\phi i}^0) \cdot e_{\phi i}^\delta] \quad (1.1)$$

$$\Delta T_w = \sum_i Q_{wi}^0 [t_{wi}^\delta - t_{wi}^0 + \sum_j (q_{ji}^\delta - q_{ji}^0) \cdot t_j^\delta + \sum_\phi (q_{\phi i}^\delta - q_{\phi i}^0) \cdot t_{\phi i}^\delta] \quad (1.2)$$

де  $\Delta E_w$ ,  $\Delta T_w$  – 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;

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

$e_j^\delta, t_j^\delta$  – 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  $\phi$ -го напівфабрикату на виробництво  $i$ -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  $\phi$ -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:

$$S_w = \Delta E_w \cdot Z_e + \Delta T_w \cdot Z_t \quad (1.3)$$

де  $\Delta S_w$  – вартість зекономлених цехом ПЕР, у грн.;

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

### Приклад 1.1.

В цеху з перероблення пластичних мас за звітний період (тиждень) вироблено 130 т насичуваної тканини, із якої в цьому самому цеху 120 т витрачено на виготовлення 106 т товарного обрізного текстоліту, а 10 т передано для перероблення іншим цехам.

За рахунок організаційних заходів з енергозбереження та дотримання безвитратних рекомендацій питомі витрати енергоносіїв на виготовлення товарного текстоліту склали: електроенергії – 130 кВт·год/т, стисненого повітря – 20 м³/т, природного газу – 13 м³/т, пари – 0,05 Гкал/т.

В базовому періоді витратний коефіцієнт насичуваної тканини на тонну обрізного текстоліту складав 1,133 т/т, питома витрата електроенергії – 135 кВт·год/т, стисненого повітря – 20,3 м³/т, природного газу – 12,5 м³/т, пари – 0,048 Гкал/т.

На вироблення 1 Гкал пари витрачається 80 м³ природного газу, 20 кг мазуту і 30 кВт·год електроенергії; на вироблення 1 тис.м³ стисненого повітря – 95 кВт·год електроенергії, на виробництво тони насичуваної тканини – 800 кВт·год електроенергії і 1100 м³ природного газу.

Визначити обсяги зекономлених ПЕР при виготовленні текстоліту та їх загальну вартість, якщо фактична вартість електроенергії згідно розрахунку з постачальником складає 3960,0 грн/тис.кВт·год, тариф на послуги з передачі електричної енергії для користувачів системи 380,28 грн/МВт·год (без урахування податку на додану вартість); тариф на послуги з розподілу електричної енергії для споживачів 1 класу напруги 110,98 грн/МВт·год (без урахування податку на додану вартість); вартість природного газу 9890,0 грн/тис.м³, мазуту 9400,0 грн/т. Виробленою продукцією для цеху буде 106 т текстоліту і 10 т насичуваної тканини.

$$\begin{aligned} \Delta E_W = & 106 \cdot [135 - 130 + (20,3 - 20) \cdot 0,095 + \\ & + (0,048 - 0,05) \cdot 30 + (1,133 - \frac{120}{106}) \cdot 800] = 605,059 \text{ кВт·год.} \end{aligned}$$

$$\Delta T_W = 106 \cdot [12,5 - 13 + (0,048 - 0,05) \cdot 80 + \\ + (1,133 - \frac{120}{106}) \cdot 1100] = 37,84 \text{ м}^3$$

$$\Delta B_M = 106 \cdot (0,048 - 0,05) \cdot 0,02 = -0,00424 \text{ т.}$$

$$S_W = [3960 + (380,28 + 110,98) \cdot 1,2] \cdot 0,605059 + \\ + 9890 \cdot 0,003784 - 9400 \cdot 0,00424 = 2750,29 \text{ грн.}$$

Тобто попри зростання споживання пари і витрати на споживання мазуту спостерігається економія витрат на ПЕР за рахунок зниження споживання інших видів енергоресурсів.

### **Задача для самостійного розв'язку**

Ковальський цех машинобудівного заводу за звітний період виробив 4000 т сталених поковок із 5400 т зливків, виготовлених у сталеливарному цеху заводу. Питомі витрати енергоносіїв склали: електроенергії – 27 кВт·год/т, стисненого повітря – 150 м³/т, природного газу – 32 м³/т, пари – 0,05 Гкал/т, сталених зливків – 1,35 т/т.

За той самий період минулого року (тобто в базовому періоді) витратний коефіцієнт металу на тонну поковок складав 1,36 т/т, питома витрата електроенергії – 26 кВт·год/т, стисненого повітря – 140 м³/т, природного газу – 31,5 м³/т, пари – 0,052 Гкал/т.

Крім того, в базовому періоді на вироблення 1 Гкал пари витрачалося 80 м³ природного газу, 20 кг мазуту і 30 кВт·год електроенергії; на вироблення 1 тис.м³ стисненого повітря – 95 кВт·год електроенергії, на відливання 1 тонни зливків – 1200 кВт·год електроенергії і 1300 м³ природного газу.

Визначити загальну вартість зекономлених цехом ПЕР, якщо фактична вартість електроенергії згідно розрахунку з постачальником складає 4120,0 грн/тис.кВт·год, тариф на послуги з передачі електричної енергії для користувачів системи 380,28

грн/МВт·год (без урахування податку на додану вартість); тариф на послуги з розподілу електричної енергії для споживачів 2 класу напруги 962,56 грн/МВт·год (без урахування податку на додану вартість); вартість природного газу 10140,0 грн/тис.м<sup>3</sup>, мазуту 9800,0 грн/т.

**Питання.**

1. Що враховується при визначенні економії (перевитрати) ПЕР цеху конкретного підприємства?
2. Як змінюються показники економії ПЕР і як за їх допомогою можна проаналізувати стан енергоефективності підприємства?

## **Заняття 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

**Мета:** Навчитися визначати показники енергоефективності на основі даних енергоаудиту та аналізувати отримані результати.

### **Загальні відомості.**

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;
- індикатори впровадження енергозбереження.

Крім цього, 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).

Таблиця 2.1 – Показники енергоефективності підприємства

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

Продовження таблиці 2.1

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

**Приклад 2.1.**

Обсяги споживання ПЕР цеху дробіння збагачувальної фабрики свинцево-цинкового комбінату 478494 тис кВт-год електроенергії, 24,725 тис т дизельного пального. Обсяги виробництва товарної продукції 4342 млн грн. Рентабельність виробництва 18%. На підставі проведеного енергетичного обстеження на збагачувальній фабриці запропоновано встановити нову дробилку – шокову замість молоткової. Додатково запропоновано частотний перетворювач для дробилки. Очікуваний відсоток прямої економії електроенергії 18%. Визначити показники енергоефективності до та після модернізації обладнання, якщо фактична ціна електроенергії з урахуванням тарифу на передачу та розподіл 4260 грн./тис.кВт-год, дизельного пального – 10000 грн./т.

Визначимо споживання ПЕР в т.у.п. (коефіцієнти переводу визначаємо з діаграми перерахунку енергетичних величин – додаток А):

для електроенергії

$$W_{ТУП} = 478494 \cdot 0,123 = 58854,762 \text{ т.у.п.},$$

для дизельного пального

$$V_{ТУП} = 24725 \cdot 1,31 = 32389,75 \text{ т.у.п.}$$

Загальне споживання ПЕР у т.у.п.:

$$P = 58854,762 + 32389,75 = 91244,512 \text{ т.у.п.}$$

Енергоемність випуску продукції:

$$e = \frac{91244,512}{4342} = 21,014 \text{ т.у.п./млн. грн.}$$

Вартість спожитих ПЕР:

$$C_{ПЕР} = 478494 \cdot 4260 + 24725 \cdot 10000 = 2285634,44 \text{ тис. грн.}$$

Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн/т.у.п.:

$$\begin{aligned} \Pi_{сер}^{ПЕР} &= \frac{(478494 \cdot 4260 + 24725 \cdot 10000)}{58854,762 + 32389,75} = \frac{228563444}{91244,512} = \\ &= 25,05 \text{ тис.грн./т.у.п.} \end{aligned}$$

Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн./грн.:

$$C_E = \frac{228563444}{4342000} = 0,526 \text{ грн./грн.}$$

Частка витрат ПЕР у собівартості продукції:

$$I_{CB} = \frac{228563444}{4342000 / (1 + 0,18)} \cdot 100\% = 62,11\%.$$

Споживання електроенергії після модернізації обладнання:

$$W = 478494 \cdot (1 - 0,18) = 392365,08 \text{ тис.кВт·год;}$$

споживання електроенергії в т.у.п.:

$$W_{ТУП} = 392365,08 \cdot 0,123 = 48260,905 \text{ т.у.п.}$$

Загальне споживання ПЕР у т у п :

$$P = 48260,905 + 32389,75 = 80650,655 \text{ т.у.п.}$$

Енергоємність випуску продукції:

$$e = \frac{80650,655}{4342} = 18,575 \text{ т.у.п./млн. грн.}$$

Вартість спожитих ПЕР:

$$C_{\text{ПЕР}} = 392365,08 \cdot 4260 + 24725 \cdot 10000 = 1918725,24 \text{ тис.грн.}$$

Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн./т.у.п.:

$$C_{\text{сер}}^{\text{ПЕР}} = \frac{1918725,24}{80650,655} = 23,79 \text{ тис.грн./т.у.п.}$$

Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн./грн.

$$C_E = \frac{1918725,24}{4342000} = 0,442 \text{ грн./грн.}$$

Частка витрат ПЕР у собівартості продукції:

$$I_{\text{CB}} = \frac{1918725,24}{4342000/(1+0,18)} \cdot 100\% = 52,14\%.$$

**Задачі для самостійного розв'язку.**

**Задача 2.1.**

Судоремонтний завод споживає 27487070 кВт год електроенергії, 4499 тис.м<sup>3</sup> газу, 796 т дизельного пального. Річний обсяг виробництва послуг та готової продукції 190 млн.грн. На підставі проведеного енергетичного обстеження на заводі запропоновано модернізацію обладнання, очікувана економія газу складе 820 тис.м<sup>3</sup>, економія електроенергії складе 10%. Визначити показники енергоємності послуг та готової продукції, середньої вартості одиниці ПЕР та частку ПЕР у собівартості продукції до та після енергоефективної модернізації обладнання, якщо фактична ціна

електроенергії з урахуванням тарифу на передачу та розподіл 4380 грн./тис.кВт·год, природного газу – 12400 грн./тис.м<sup>3</sup>, дизельного пального – 10000 грн./т. Рентабельність 21%.

### **Задача 2.2.**

Обсяги споживання ПЕР інструментального заводу 309506 тис.кВт·год електроенергії, 44990 тис м<sup>3</sup> газу, 2,484 т дизельного пального. Обсяги виробництва товарної продукції 2485 млн грн. На підставі проведеного енергетичного обстеження на заводі запропоновано використання автоматичного регулювання температури електропечей. Це призведе до зниження витрати електроенергії на 11,5%. Визначити показники енергоемності готової продукції, середньої вартості одиниці ПЕР та частку ПЕР у собівартості продукції до та після енергоефективної модернізації обладнання, якщо фактична ціна електроенергії з урахуванням тарифу на передачу та розподіл 5120 грн./тис.кВт·год, природного газу – 11300 грн./тис.м<sup>3</sup>, дизельного пального – 10000 грн./т. Рентабельність 20%.

### **Задача 2.3.**

Обсяги споживання ПЕР текстильної фабрики 42673 тис кВт·год електроенергії, 13910 тис м<sup>3</sup> газу та 1020 т дизельного пального. Обсяги виробництва товарної продукції 3196 млн грн. На підставі проведеного енергетичного обстеження на фабриці запропоновано енергоефективну модернізацію обладнання, після чого очікується економія електроенергії 10%, газу 15%. Визначити показники енергоемності готової продукції, середньої вартості одиниці ПЕР та частку ПЕР у собівартості продукції до та після енергоефективної модернізації обладнання, якщо фактична ціна електроенергії з урахуванням тарифу на передачу та розподіл 3980 грн./тис.кВт·год, природного газу – 9400 грн./тис.м<sup>3</sup>, дизельного пального – 9800 грн./т. Рентабельність 25%.

### **Питання.**

1. Як змінюються показники енергоефективності і як за їх допомогою можна проаналізувати стан енергоефективності підприємства?

### Заняття 3,4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ЗАМІНИ ОБЛАДНАННЯ

**Мета:** Навчитися проводити техніко-економічне обґрунтування заміни або встановлення енергозберігаючого обладнання та аналізувати отримані результати.

#### Загальні відомості.

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:

$$\Pi = \Delta E - C_E, \quad (3.1)$$

де:  $\Delta E$  – 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 ( $P$ ):

$$C_E = A + P, \quad (3.2)$$

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

$$\Pi = \Delta E - \Delta C_E = \Delta E - [(A_H + P_H) - (A_C + P_C)], \quad (3.3)$$

де:  $\Delta C_E$  – 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.

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:

$$A = 0,01(H_A K), \quad (3.4)$$

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:

$$P = 0,01(H_P K), \quad (3.5)$$

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

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

$$D = P + A_H \quad (3.6)$$

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

$$D = P + (A_H - A_C) + \Delta ПП. \quad (3.7)$$

Чистий дисконтований прибуток визначається з виразу:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+\alpha)^t} - K, \quad (3.8)$$

$D_t$  – дохід, отриманий в рік  $t$ ,  $T$  – розрахунковий період в роках;  $K$  – капіталовкладення, наведені в часі до початку розрахункового періоду;  $\alpha$  – прийнята процентна ставка (базова ставка, норма дисконту), відн. од.

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:

$$ІП = \frac{ЧТВ}{K} + 1. \quad (3.9)$$

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:

$$ВНР = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1 + ВНР)^t} - K = 0 \quad (3.10)$$

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:

$$BHP = \alpha_{MIN} + (\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}) \frac{ЧТВ_{>0}}{ЧТВ_{>0} + ЧТВ_{<0}}, \quad (3.11)$$

де:  $\alpha_{MIN}, \alpha_{MAX}$  – мінімальне і максимальне значення ставки в інтервалі;  $ЧТВ_{<0}, ЧТВ_{>0}$  – 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:

$$T_o = \frac{K}{D_t}. \quad (3.12)$$

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

$$\sum_t^{T_o} D_t = K. \quad (3.13)$$

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:

$$\sum_{t=1}^{T_o} \frac{D_t}{(1 + \alpha)^t} - K = 0, \quad (3.14)$$

розв'язаного щодо  $T_o$ .

Показник  $T_o$  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:

$$T_0 = T_{MIN} + (T_{MAX} - T_{MIN}) \frac{ЧТВ_{<0}}{ЧТВ_{<0} + ЧТВ_{>0}}, \quad (3.15)$$

де:  $T_{MIN}, T_{MAX}$  – мінімальне та максимальне значення часу в інтервалі;  $ЧТВ_{<0}, ЧТВ_{>0}$  – мінімальне та максимальне значення  $ЧТВ$  в інтервалі, причому враховується по модулю.

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

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

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

$$ЧТВ = Д_t \cdot \alpha_T - K, \quad (3.16)$$

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

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + \alpha)^{-T}}{\alpha} = \frac{(1 + \alpha)^T - 1}{\alpha(1 + \alpha)^T}. \quad (3.17)$$

### Приклад 3.1.

На підприємстві передбачається впровадити енергозберігаюче обладнання, що забезпечує економію теплоенергії. Ціна теплової енергії для підприємства 3200 грн/Гкал. Норма відрахувань на техобслуговування і ремонт такого обладнання 7%. За песимістичним сценарієм внаслідок погіршення експлуатаційних характеристик річна

економія електроенергії зменшується на 2 % щорічно, за оптимістичним – залишається незмінною. Норма дисконту 10%. Показники запропонованих варіантів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для оцінки встановлення обладнання

| Показники                                      | Вар.А | Вар.В |
|------------------------------------------------|-------|-------|
| Обсяг споживання теплової енергії на рік, Гкал | 1300  | 2100  |
| Економія теплоти, % від загального споживання  | 8     | 5     |
| Капіталовкладення в проект, тис.грн.           | 680   | 620   |
| Річна норма амортизації основних засобів, %    | 12,5  | 12,5  |

Оскільки проект пов'язаний з придбанням нових енергозберігаючих технічних засобів (ТЗ), які раніше на об'єкті не застосовувалися, окремо оцінюється кожний варіант.

За оптимістичним варіантом економія витрат на енергоресурси:

$$\Delta E_A = 1300 \cdot 0,08 \cdot 3200 = 332800 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію за (3.4):

$$A_A = 0,125 \cdot 680000 = 85000 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт за (3.5):

$$P_A = 0,07 \cdot 680000 = 47600 \text{ грн.}$$

Приріст поточних витрат за (3.2):

$$C_{EA} = 85000 + 47600 = 132600 \text{ грн.}$$

Прибуток за (3.1):

$$П_A = 332800 - 132600 = 200200 \text{ грн.}$$

Дохід за (3.6):

$$D_A = 200200 + 85000 = 285200 \text{ грн.}$$

Для оптимістичного варіанту на основі отриманих даних розраховуємо чисту теперішню вартість за (3.16), коефіцієнт приведення за (3.17) для 5 років:

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + 0,1)^{-5}}{0,1} = 3,79;$$

$$\text{ЧТВ}_A = 285200 \cdot 3,79 - 680000 = 400908 \text{ грн.}$$

Для негативного значення ЧТВ:

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + 0,4)^{-5}}{0,4} = 2,035.$$

$$\text{ЧТВ}_A = 285200 \cdot 2,035 - 680000 = - 99571 \text{ грн.}$$

Внутрішня норма рентабельності за (3.11):

$$BHP = 0,1 + (0,4 - 0,1) \frac{400908}{400908 + 99571} = 0,34.$$

Індекс прибутковості інвестицій за (3.9):

$$\Pi_A = 400908/680000 + 1 = 1,59 \text{ грн./грн.}$$

Статичний термін окупності:

$$T_O = \frac{680}{285,2} = 2,38 \text{ р. або 2р. 5 міс.}$$

Розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності оптимістичного варіанту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності оптимістичного варіанту

| Роки | Грошовий потік | Ставка дисконту 0,1 | Дисконтований грошовий потік | Кумулятивний грошовий потік |
|------|----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0    | -680           | 1                   | -680                         | -680                        |
| 1    | 285,2          | 1,1                 | 259,273                      | -420,727                    |
| 2    | 285,2          | 1,21                | 235,702                      | <b>-185,025</b>             |
| 3    | 285,2          | 1,331               | 214,275                      | <b>29,250</b>               |
| 4    | 285,2          | 1,4641              | 194,795                      | 224,046                     |
| 5    | 285,2          | 1,61051             | 177,087                      | 401,132                     |

Динамічний термін окупності:

$$T_0 = 2 + (3 - 2) \frac{185025}{185025 + 29250} = 2,86 \text{ р. або 2 р. 10 міс.}$$

За песимістичним варіантом економія витрат на енергоресурси в перший рік:

$$\Delta E_A = 1300 \cdot 0,08 \cdot 3200 \cdot 0,98 = 326144 \text{ грн.}$$

Прибуток за (3.1):

$$П_A = 326144 - 132600 = 193544 \text{ грн.}$$

Дохід за (3.6):

$$Д_A = 193544 + 85000 = 278544 \text{ грн.}$$

Дохід інших років, а також розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності песимістичного варіанту виконано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності песимістичного варіанту

| Роки | Грошовий потік | Ставка дисконту 0,1 | Дисконтований грошовий потік | Кумулятивний грошовий потік |
|------|----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0    | -680           | 1                   | -680                         | -680                        |
| 1    | 278,544        | 1,1                 | 253,222                      | -426,778                    |
| 2    | 271,888        | 1,21                | 224,701                      | -202,077                    |
| 3    | 265,232        | 1,331               | 199,273                      | <b>-2,805</b>               |
| 4    | 258,576        | 1,4641              | 176,611                      | <b>173,806</b>              |
| 5    | 251,92         | 1,61051             | 156,422                      | 330,229                     |

Продовження таблиці 3.3

| Роки | Ставка дисконту 0,4 | Дисконтований грошовий потік | Кумулятивний грошовий потік |
|------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0    | 1                   | -680                         | -680                        |
| 1    | 1,4                 | 198,960                      | -481,040                    |
| 2    | 1,96                | 138,718                      | -342,322                    |
| 3    | 2,744               | 96,659                       | -245,663                    |
| 4    | 3,8416              | 67,309                       | -178,353                    |
| 5    | 5,37824             | 46,841                       | -131,513                    |

При ставці дисконту 10%  $ЧТВ_A = 330229$  грн.

При ставці дисконту 40%  $ЧТВ_A = -131513$  грн.

Індекс прибутковості інвестицій за (3.9):

$$ІІ_A = 330229/680000 + 1 = 1,49 \text{ грн./грн.}$$

Внутрішня норма рентабельності за (3.11):

$$BHP = 0,1 + (0,4 - 0,1) \frac{330229}{330229 + 131513} = 0,31.$$

Статичний термін окупності:

$$T_0 = 2 + (3 - 2) \frac{129568}{135664 + 129568} = 2,489 \text{ р.}$$

або 2 р. 6 міс.

Динамічний термін окупності:

$$T_0 = 3 + (4 - 3) \frac{2805}{2805 + 173806} = 3,016 \text{ р.}$$

або 3 р. 6 дн.

Аналогічно проводимо розрахунок для варіанту В та робимо висновок стосовно кращого варіанту.

### Приклад 3.2.

З метою зниження енергоспоживання об'єкта за результатами енергоаудиту пропонується замінити обладнання на більш сучасне, енергоефективне. Фактична ціна електроенергії з урахуванням тарифу на передачу та розподіл 4750 грн./тис.кВт·год Показники базового та запропонованого варіанту наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для оцінки заміни обладнання

| Показники                              | Базовий | Запропонований |
|----------------------------------------|---------|----------------|
| Економія електроенергії, тис. кВт·год  | -       | 111            |
| Капіталовкладення, тис грн.            | 850     | 1040           |
| Витрати на ремонт, тис грн             | 79      | 88             |
| Термін служби технічних засобів, років | 6       | 6              |

Економія витрат на енергоресурси:

$$\Delta E = 111 \cdot 4750 = 527250 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$A_C = 1 / 6 \cdot 850000 = 141666 \text{ грн.}$$

$$A_H = 1 / 6 \cdot 1040000 = 173333 \text{ грн.}$$

$$C_{EC} = 141666 + 79000 = 220666 \text{ грн.}$$

$$C_{EH} = 173333 + 88000 = 261333 \text{ грн.}$$

Використання більш досконалого обладнання призведе до збільшення витрат на виробництво продукції, і відповідно, при незмінних обсягах виробництва та цінах на продукцію – до зниження прибутку, внаслідок чого виникне додатній грошовий потік податку на прибуток. При ставці податку на прибуток 18%:

$$\Delta \Pi = 0,18 \cdot (261333 - 220666) = 7320 \text{ грн.}$$

Економія поточних витрат у разі заміни діючого обладнання на більш досконалий аналог визначається за формулою (3.3):

$$\Pi = 527250 - [261333 - 220666] = 486583 \text{ грн.}$$

У разі заміни діючого обладнання на більш досконалий аналог річний дохід визначається за (3.7):

$$D = 486583 + (173333 - 141666) + 7320 = 525570 \text{ грн.}$$

На основі отриманих даних розраховуємо чисту теперішню вартість за (3.16), коефіцієнт приведення за (3.17) для 6 років:

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + 0,1)^{-6}}{0,1} = 4,355;$$

$$ЧТВ = 525570 \cdot 4,355 - 1040000 = 1248994 \text{ грн.}$$

Для негативного значення ЧТВ:

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + 0,5)^{-6}}{0,5} = 1,824.$$

$$ЧТВ_A = 525570 \cdot 1,824 - 1040000 = - 81141 \text{ грн.}$$

Внутрішня норма рентабельності за (3.11):

$$BHP = 0,1 + (0,5 - 0,1) \frac{1248994}{1248994 + 81141} = 0,47.$$

Розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності оптимістичного варіанту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.5 – Розрахунок даних для визначення динамічного терміну окупності оптимістичного варіанту

| Роки | Грошовий потік | Ставка дисконту 0,1 | Дисконтований грошовий потік | Кумулятивний грошовий потік |
|------|----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0    | -1040000       | 1                   | -1040000                     | -1040000                    |
| 1    | 525570         | 1,1                 | 477790,909                   | -562209,091                 |
| 2    | 525570         | 1,21                | 434355,372                   | <b>-127853,719</b>          |
| 3    | 525570         | 1,331               | 394868,520                   | <b>267014,801</b>           |
| 4    | 525570         | 1,4641              | 358971,382                   | 625986,183                  |
| 5    | 525570         | 1,61051             | 326337,620                   | 952323,802                  |

Динамічний термін окупності:

$$T_0 = 2 + (3 - 2) \frac{127853719}{127853719 + 267014801} = 2,32 \text{ р.}$$

або 2 р. 4 міс.

Статичний термін окупності:

$$T_O = \frac{1040}{525,57} = 1,98 \text{ р. тобто 2 роки.}$$

Індекс прибутковості інвестицій за (3.9):

$$II_A = 1248994/1040000 + 1 = 2,2 \text{ грн./грн.}$$

### Питання.

1. Як розрізняють оцінку ефективності залежно від бази порівняння проектів?
2. Які показники ефективності інвестиційних проектів відносяться до основних? Як вони розраховуються?
3. Що показує індекс прибутковості інвестицій?
4. Як визначається внутрішня норма рентабельності?
5. Коли застосовуються спрощені методи розрахунку показників ефективності енергозберігаючих заходів?
6. Як впливає на розрахунок тривалість розрахункового періоду?

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про енергозбереження» / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1994. – 320 с. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І.Соловей, В.П.Розен, Ю.Г.Лега, О.О.Ситник, А.В.Чернявський, Г.В.Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
3. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню: ДСТУ 2155-93. – [Чинний від 01.01.95]. – К.: Держстандарт України. – 20с.
4. 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.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Енергетичний аудит та економічні аспекти енергоефективності» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма (спеціалізація) «Енергетичний менеджмент» денної форми навчання / Укл.: К.О.Братковська. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 44 с.
6. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги: ДСТУ 4472:2005. – [Чинний від 2006-01-07]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 23с. (Національний стандарт України).
7. ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення.

## ДІАГРАМА ПЕРЕРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Теплотворна здатність палив:

природний газ  $Q_H^P = 24,98$  МДж/кг

мазут  $Q_H^P = 33,71$  МДж/кг

вугілля  $Q_H^P = 38,40$  МДж/кг

