

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”  
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ  
к.т.н., професор  
\_\_\_\_\_Петро ПЛЄШКОВ  
“\_\_” \_\_\_\_\_2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**  
на тему:  
**«Енергетичні характеристики промислових підприємств як основа нормування споживання електроенергії**  
**Energy characteristics of industrial enterprises as a basis for standardizing electricity consumption»**

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу магістратури, групи ЕЕ-24М  
ОПП «Електротехнічні системи  
електроспоживання»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_Олександр КУКУЛЕНКО  
«\_\_» \_\_\_\_\_2025 р.

Керівник роботи  
к.т.н, доцент  
\_\_\_\_\_Олександр СІРІКОВ  
«\_\_» \_\_\_\_\_2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

м. Кропивницький, 2025

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Петро ПЛЄШКОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кукулєнка Олександр Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Енергетичні характеристики промислових підприємств як основа нормування споживання електроенергії

Energy characteristics of industrial enterprises as a basis for standardizing electricity consumption

2. Керівник роботи Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 10.12.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою кваліфікаційної роботи є виведення енергетичних характеристик, як основи нормування та раціонального використання електричної енергії на промислових підприємствах.

Завдання роботи: нормування енергоспоживання; енергетичні баланси та енергетичні характеристики; енергетичні характеристики підприємства при багатомоноклітурному виробництві; енергетичні характеристики підприємств з масовим випуском продукції; енергетичні характеристики Харківського плиткового заводу; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.10.25</i>	
2	<i>Нормування енергоспоживання</i>	<i>17.10.25</i>	
3	<i>Енергетичні баланси та енергетичні характеристики</i>	<i>24.10.25</i>	
4	<i>Енергетичні характеристики підприємства при багатомономенклатурному виробництві</i>	<i>31.10.25</i>	
5	<i>Енергетичні характеристики підприємств з масовим випуском продукції</i>	<i>07.11.25</i>	
6	<i>Енергетичні характеристики Харківського плиткового заводу</i>	<i>14.11.25</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>21.11.25</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>28.11.25</i>	
9	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації до неї</i>	<i>05.12.25</i>	

Дата видачі завдання

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Сіріков О.І.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Кукуленко О.О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Кукуленко О. О. Енергетичні характеристики промислових підприємств як основа нормування споживання електроенергії.**

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025.

Метою кваліфікаційної роботи є виведення енергетичних характеристик, як основи нормування та раціонального використання електричної енергії на промислових підприємствах.

Задачею нормування є вивід технічно та наукового обґрунтування норм загальної та питомої витрати електроенергії на всіх рівнях промислового процесу та підприємств в цілому. Для виконання цього завдання використовується побудова і аналіз енергетичних характеристик, як теорія кореляційного зв'язку і регресійного аналізу.

Для виробничих цехів і фабрики в цілому можна побудувати залежності між загальним і питомим споживанням електричної енергії і їх продуктивністю. Ця залежність може бути отримана і як функціональна. Але, беручи до уваги вплив ряду другорядних випадкових факторів, які на практиці вносять похибку в функціональну залежність між головними факторами, функціональним залежностям протистоять основані на дослідних даних статистичні зв'язки.

Результати кваліфікаційної роботи щодо визначення енергетичних характеристик формують проектне уявлення про виробничі процеси та окремі агрегати, а зіставлення енергетичних параметрів з нормативними значеннями або з передовим досвідом (зокрема, країн Європейського Союзу) дозволяє визначити можливості енергозбереження та виокремити перспективні напрями модернізації систем енергопостачання.

**Ключові слова:** енергетичні характеристики, нормування витрат електроенергії, кореляційні зв'язки, раціональне електроспоживання.

## ABSTRACT

### **Kukulenko O. O. Energy characteristics of industrial enterprises as a basis for standardizing electricity consumption**

Qualification work for the second (master's) level of higher education in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Electrotechnical systems of electricity consumption», Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The purpose of the qualification work is to derive energy characteristics as the basis for standardization and rational use of electrical energy at industrial enterprises.

The task of standardization is to derive technical and scientific justification for the norms of total and specific electricity consumption at all levels of the industrial process and enterprises as a whole. To perform this task, the construction and analysis of energy characteristics is used, such as the theory of correlation and regression analysis.

For production workshops and factories in general, it is possible to construct dependencies between total and specific electrical energy consumption and their productivity. This dependency can also be obtained as a functional one. However, taking into account the influence of a number of secondary random factors, which in practice introduce an error into the functional dependency between the main factors, functional dependencies are opposed by statistical relationships based on experimental data.

The results of qualification work on determining energy characteristics form a design idea of production processes and individual units, and comparing energy parameters with regulatory values or with best practices (in particular, European Union countries) allows us to determine energy saving opportunities and identify promising areas for modernization of energy supply systems.

**Key words:** energy characteristics, electricity consumption rationing, correlations, rational electricity consumption.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 НОРМУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ .....	10
1.1. Мета і задачі нормування енергоспоживання .....	10
1.2. Види норм енергоспоживання .....	13
1.3. Вибір показника нормування.....	18
1.4. Методи отримання норм.....	23
РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	29
2.1. Енергетичні характеристики як кореляційні зв'язки .....	29
2.2. Поняття про кореляцію.....	33
2.3. Енергетичні характеристики як лінійний кореляційний зв'язок.....	36
2.4. Енергетичні характеристики як нелінійний кореляційний зв'язок.....	39
РОЗДІЛ 3 ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА ПРИ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ .....	44
3.1. Коротка характеристика та вихідні дані для Харківського склотарного заводу.....	44
3.2. Визначення коефіцієнтів енергоємності.....	44
3.3. Енергетична характеристика заводу .....	49
3.4. Визначення реальності існування і форми зв'язку.....	50
3.5. Оцінка похибки рівняння зв'язку .....	55
3.6. Виведення енергетичної характеристики заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку.....	56
3.7. Реальність і форма основної енергетичної характеристики заводу важкої промисловості.....	57
3.8. Виведення рівняння основної енергетичної характеристики.....	61
3.9. Обчислення похибки рівняння зв'язку .....	63

РОЗДІЛ 4 ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВ З МАСОВИМ ВИПУСКОМ ПРОДУКЦІЇ .....	68
4.1. Постановка задачі та початкові дослідні дані ПАТ “НВП “Радій” .....	68
4.2. Залежність загальних витрат електроенергії від кількості випущеної продукції.....	68
РОЗДІЛ 5 ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХАРКІВСЬКОГО ПЛИТКОВОГО ЗАВОДУ.....	80
5.1. Вихідні дослідні дані Харківського плиткового заводу .....	80
5.2. Визначення реальності існування форми зв'язку $\frac{w}{p_y} = f(\alpha)$ .....	86
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	92
6.1. Організаційні та правові засади електробезпеки на підприємстві.....	92
6.2. Основні причини електротравматизму .....	96
6.3. Наслідки ураження електричним струмом.....	100
ВИСНОВКИ.....	105
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	108
Додаток Розрахунок захисного заземлення.....	110

## ВСТУП

Забезпеченню раціонального та економного використання енергоресурсів давно приділяється велика увага у всьому світі. В даний час частка електроенергії в собівартості промислової продукції неухильно зростає. Якщо в кінці 80-х років частка електроенергії в собівартості промислової продукції складала декілька відсотків, то в даний час частка електроенергії в машинобудуванні перевищує 20%, а в енергоємних виробництвах досягає 60% і вище.

**Актуальність роботи.** Підвищення економічності та раціоналізація використання енергетичних ресурсів на виробництві є однією з головних задач енергозбереження, яка залишиться і на майбутнє. Для оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів використовуються питомі норми. Вони дозволять оцінити в кількісному виразі мінімальну необхідну кількість енергії, яка витрачається на одиницю продукції. Питома норма дозволяє оцінити, як стан енерговикористання поточного виробництва так і порівняти її значення з аналогічними значеннями в виробництві інших підприємств і навіть держав. Так, питомі норми в країнах ЄС в 1,5-3 рази менше ніж в Україні, що говорить про не ефективний стан енерговикористання на вітчизняному виробництві.

Питомі норми можуть бути виражені не тільки якоюсь постійною величиною, а також і певною залежністю – енергетичною характеристикою. Вона враховує вплив на питому норму продуктивності підприємства.

Серед способів отримання енергетичних характеристик найбільш поширеним є статистичний метод з використанням теорії ймовірності та математичної статистики. Цей метод дозволяє врахувати випадкові чинники, що впливають на енергоспоживання, та є найбільш простим, так як не вдається до всіх процесів та технологічних операцій на підприємстві опираючись лише на данні про випуск продукції та енергоспоживання.

Дана робота присвячена дослідженню електроспоживання з метою визначення, за допомогою теорії кореляції, науково обґрунтованих питомих норм

витрат електричної енергії для підприємств з різним характером випуску продукції.

**Мета роботи і задачі дослідження.** Метою роботи є отримання питомих норм споживання електроенергії на основі енергетичних характеристик промислових підприємств, що дозволить аналізувати ефективність та раціональність використання електроенергії. Вказана мета досягається застосуванням теорії кореляційного аналізу до споживання електроенергії та випуску продукції.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- розглянути методіку отримання питомих норм та енергетичних характеристик промислових підприємств;
- довести значущість і реальність існування кореляційного зв'язку між електроспоживанням і продукцією, що випускається;
- отримати енергетичні характеристики для промислового виробництва.

**Об'єкт дослідження.** Нормування електроспоживання на промислових підприємствах.

**Предмет дослідження.** Отримання енергетичних характеристик та на їх основі питомих норм електроспоживання для промислових підприємств.

**Методи досліджень** базуються на використанні: теорій ймовірності та математичної статистики, методів кореляційного аналізу.

**Основні наукові та практичні результати, їх значення.**

1. Отриманні енергетичні характеристики дозволяють за заданим значенням випуску продукції визначити науково обґрунтовану питому норму споживання електроенергії.

2. На основі отриманих норм питомого споживання електроенергії можна робити висновок про раціональність та ефективність використання електроенергії на промисловому підприємстві.

## РОЗДІЛ 1

### НОРМУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

#### 1.1. Мета і задачі нормування енергоспоживання

Нормування енергоспоживання є одним із ключових інструментів енергетичного менеджменту промислових підприємств, оскільки забезпечує науково обґрунтоване встановлення допустимих і цільових рівнів витрат електроенергії. На відміну від простого обліку, який лише фіксує фактичні витрати, нормування формує базу для планування, контролю та управління енергоспоживанням, а також слугує основою для оцінки ефективності реалізованих енергозберігаючих заходів.

Метою нормування енергоспоживання на промисловому підприємстві є встановлення технічно, технологічно та економічно обґрунтованих нормативів витрат електроенергії, які:

- відображають раціональний рівень використання енергоресурсу за існуючих виробничих умов;
- забезпечують досягнення заданих показників енергоефективності;
- створюють основу для планування потреби в електроенергії, формування виробничих програм і бюджетів;
- сприяють виявленню та реалізації резервів енергозбереження.

Іншими словами, нормування покликане не лише «закріпити» певні витрати як допустимі, а й задати орієнтир для поетапного зниження енергоємності продукції, підвищення конкурентоспроможності підприємства та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Для досягнення зазначеної мети в процесі нормування енергоспоживання вирішується комплекс взаємопов'язаних задач, які доцільно згрупувати за функціональними напрямками.

#### *Аналітичні та діагностичні задачі*

На початковому етапі нормування необхідно забезпечити всебічний аналіз поточного стану енергоспоживання:

- збирання, систематизація та верифікація даних обліку електроенергії за цехами, ділянками, видами продукції, основними групами обладнання;
- аналіз структури та динаміки споживання електроенергії, виявлення найбільш енергоємних процесів і установок;
- дослідження режимних параметрів – графіків навантажень, коефіцієнтів використання та попиту, рівня  $\cos \varphi$ ;
- виявлення втрат електроенергії в мережах підприємства, а також нераціональних режимів роботи електроприймачів.

Результатом вирішення цих задач є формування достовірної інформаційної бази про енергетичні характеристики підприємства, що є передумовою для розробки реалістичних і водночас прогресивних норм.

#### *Розрахунково-аналітичні задачі*

Наступний блок задач пов'язаний безпосередньо з розробкою норм:

- вибір методів нормування (дослідно-статистичних, розрахунково-аналітичних, порівняльних, комбінованих) з урахуванням специфіки підприємства;
- встановлення системи нормуючих показників (питомі витрати на одиницю продукції, норми на технологічну операцію, норми на обладнання, на цех тощо);
- побудова розрахункових моделей витрат електроенергії для основних технологічних процесів з урахуванням технологічних режимів, продуктивності обладнання, тривалості циклів;
- визначення базового (цільового) рівня енергоспоживання та розрахунок нормативів для різних рівнів деталізації – від окремого агрегату до підприємства в цілому;
- урахування впливу факторів, що змінюються (асортимент і якість сировини, номенклатура продукції, режим роботи підприємства, сезонність).

Ці задачі забезпечують перехід від суто фактичних даних до теоретично обґрунтованих нормативів, які можуть бути використані для планових розрахунків та порівняльного аналізу.

### *Організаційно-управлінські задачі*

Ефективність нормування визначається не лише точністю розрахунків, а й тим, як норми впроваджуються в систему управління:

- інтеграція розроблених норм енергоспоживання в систему планування виробництва, матеріально-технічного забезпечення та бюджетування;
- розподіл нормативів і лімітів споживання електроенергії між цехами, дільницями та іншими структурними підрозділами;
- визначення повноважень і відповідальності посадових осіб за дотримання норм та реалізацію заходів з енергозбереження;
- розробка внутрішніх регламентів, інструкцій та стандартів, що встановлюють порядок формування, перегляду і коригування норм.

В результаті норми перестають бути лише «довідковими величинами» і перетворюються на дієвий управлінський інструмент.

### *Економічні та мотиваційні задачі*

Важливим аспектом нормування є його економічне наповнення:

- оцінка економічних наслідків дотримання та порушення норм енергоспоживання (зміна собівартості продукції, прибутку, рентабельності);
- формування системи стимулювання персоналу за досягнення або перевищення цільових показників енергоефективності;
- обґрунтування інвестиційних проектів у сфері енергозбереження (модернізація обладнання, впровадження частотно-регульованого приводу, систем компенсації реактивної потужності тощо) на основі порівняння нормативних і фактичних витрат;
- побудова внутрішніх цінових сигналів (трансферних тарифів, внутрішньоцехових лімітів), що стимулюють раціональне споживання електроенергії.

### *Інформаційно-контрольні та прогностичні задачі*

Для підтримання актуальності норм і забезпечення їх відповідності реальним умовам виробництва необхідне виконання низки задач, пов'язаних з моніторингом та прогнозуванням:

- організація систематичного контролю фактичного енергоспоживання та порівняння його з нормативним рівнем на різних рівнях управління;
- аналіз причин відхилень від норм (технологічні, організаційні, режимні, пов'язані зі станом обладнання тощо);
- регулярний перегляд і коригування норм у разі зміни технології, модернізації обладнання, переходу на нові види продукції;
- прогнозування потреби в електроенергії на основі розроблених нормативів та планових показників обсягу виробництва;
- формування звітності з енергоефективності для внутрішніх і зовнішніх користувачів (керівництво підприємства, власники, контролюючі органи, енергопостачальні компанії).

Виконання цих задач забезпечує «замкнений цикл» управління енергоспоживанням: від встановлення норм – через їх впровадження та контроль – до коригування й удосконалення.

Отже, нормування енергоспоживання має комплексну мету, що охоплює технічні, технологічні, організаційні та економічні аспекти діяльності промислового підприємства. Основні задачі нормування полягають у:

- створенні надійної інформаційної бази про енергетичні характеристики підприємства;
- розробці обґрунтованих норм витрат електроенергії на різних рівнях деталізації;
- інтеграції норм у систему управління виробництвом та фінансами;
- забезпеченні економічної зацікавленості персоналу у дотриманні та поліпшенні показників енергоефективності;
- організації постійного контролю, аналізу відхилень та актуалізації нормативів.

## **1.2. Види норм енергоспоживання**

Ефективність системи нормування енергоспоживання значною мірою залежить від того, наскільки коректно обрано види норм для різних рівнів

управління та об'єктів споживання електроенергії. Класифікація норм дає можливість ув'язати технічні параметри роботи обладнання, особливості технологічного процесу та вимоги до планування й контролю енергоспоживання на підприємстві.

Нижче розглянуто основні види норм енергоспоживання за кількома найбільш важливими класифікаційними ознаками.

### ***1. Класифікація норм за об'єктом нормування***

За об'єктом, на який поширюється норма, виділяють такі основні групи:

*Норми на підприємство в цілому.*

Встановлюються у вигляді річних, квартальних чи місячних нормативів (лімітів) споживання електроенергії. Використовуються для стратегічного планування, формування договірних величин з енергопостачальними організаціями та контролю загального рівня енергоемності виробництва.

*Норми на структурний підрозділ (цех, дільницю, службу).*

Визначають гранично допустимі або нормативні витрати електроенергії на рівні окремих виробничих підрозділів. Дають змогу деталізувати відповідальність за дотримання норм та здійснювати порівняльний аналіз енергоефективності різних підрозділів.

*Норми на вид продукції або групу продукції.*

Виражаються, як правило, у вигляді питомих витрат електроенергії на одиницю продукції (т, шт, м<sup>2</sup> тощо). Є базою для планування енергоспоживання при зміні обсягу та асортименту виробництва.

*Норми на технологічний процес або операцію.*

Враховують структуру й тривалість окремих операцій, режими роботи обладнання, параметри технології (температура, тиск, швидкість обробки тощо). Застосовуються при детальному технічному нормуванні енергоспоживання.

*Норми на одиницю обладнання (агрегат, установку, електроприймач).*

Встановлюються, виходячи з потужності, часу роботи, коефіцієнта завантаження та ефективності конкретної машини або установки.

Використовуються для аналізу роботи обладнання, оцінки доцільності його модернізації або заміни.

Такий підхід дозволяє будувати ієрархічну систему норм – від агрегату до підприємства в цілому.

## ***2. Класифікація норм за формою вираження***

За формою подання та характером розрахунку розрізняють:

- *Питомі норми енергоспоживання.* Виражають витрати електроенергії на одиницю продукції, робіт або послуг: кВт·год/т, кВт·год/шт, кВт·год/м<sup>2</sup> тощо. Є найпоширенішим видом норм, оскільки безпосередньо пов'язані з обсягом виробництва та використовуються для планових і фактичних розрахунків.

- *Штучні (індивідуальні) норми.* Встановлюються для виготовлення одиничного виробу чи виконання конкретної технологічної операції з урахуванням її тривалості, режимів роботи обладнання та допоміжних операцій. Застосовуються в умовах дрібносерійного або індивідуального виробництва.

- *Комплексні (укрупнені) норми.* Охоплюють сумарні витрати електроенергії на виготовлення певного обсягу продукції, на роботу групи обладнання чи всього цеху. Зручні для оперативного планування та контролю, однак менш придатні для детального аналізу причин відхилень.

- *Лімітні норми (ліміти енергоспоживання).* Встановлюються у вигляді гранично допустимих витрат електроенергії за певний період (зміну, добу, місяць, рік) у кВт·год. Використовуються для регламентації споживання на рівні підприємства або підрозділів, часто прив'язуються до договірних величин навантаження з енергопостачальником.

- *Норми втрат електроенергії.* Визначають допустимий рівень втрат у трансформаторах, кабельних лініях, розподільчих мережах, компенсуювальних пристроях. Можуть задаватися у відсотках до переданої енергії або в абсолютних величинах (кВт·год за період). Є важливим інструментом контролю технічного стану енергогосподарства.

## ***3. Класифікація норм за ступенем обґрунтованості***

За методом отримання та глибиною опрацювання виділяють:

– *Технічно обґрунтовані норми.* Розраховуються на основі паспортних характеристик обладнання, технічної документації, передових режимів роботи та раціональної організації виробництва. Враховують оптимальні параметри технологічних процесів і мінімально необхідні втрати. Такі норми вважаються найбільш прогресивними.

– *Дослідно-статистичні норми.* Формуються шляхом обробки фактичних даних обліку енергоспоживання за попередні періоди з урахуванням умов роботи підприємства. Перевага – відносна простота отримання; недолік – залежність від історично сформованого рівня витрат, який може бути завищеним.

– *Комбіновані (розрахунково-статистичні) норми.* Поєднують теоретичні розрахунки з коригуванням на основі фактичних даних. Застосовуються у випадках, коли повний технічний розрахунок ускладнений, але є достатній обсяг інформації для верифікації результатів.

– *Тимчасові та проектні норми.* Використовуються на стадії проектування або освоєння нового виробництва, коли фактичні дані відсутні або недостатні. Надалі підлягають уточненню за результатами роботи обладнання та аналізу фактичного енергоспоживання.

#### **4. Класифікація норм за роллю в системі планування та контролю**

За функціональним призначенням у системі управління виділяють:

– *Базові (еталонні) норми.* Встановлюються, як опорний рівень енергоспоживання за умов певного технічного стану підприємства та організації виробництва. Служать основою для порівняння фактичних і планових показників, а також для оцінки результатів впровадження енергозберігаючих заходів.

– *Планові (цільові) норми.* Враховують заплановані заходи щодо підвищення енергоефективності та зміни в технології чи номенклатурі продукції. Можуть бути нижчими за базові, якщо передбачається реалізація енергозберігаючих проектів.

– *Граничні (лімітні) норми.* Встановлюються як межа, яку не допускається перевищувати в процесі виробничої діяльності. Вони можуть бути пов'язані з

договірними зобов'язаннями перед енергопостачальною організацією (договірна потужність, максимально дозволене навантаження).

– *Фактично досягнуті (звітні) норми.* Не є нормативами в класичному розумінні, але відображають реально досягнутий рівень енергоспоживання за умов певного періоду. Застосовуються як тимчасові орієнтири та база для перегляду базових і планових норм.

### **5. Класифікація норм за часовою ознакою**

За характером дії в часі норми енергоспоживання можуть бути:

– *Поточні.* Діють за існуючого рівня технічного оснащення та організації виробництва. Вони враховують фактичний стан обладнання, реальні технологічні режими та обмеження.

– *Перспективні (прогресивні).* Розраховуються з урахуванням планованої модернізації обладнання, впровадження нових технологій, систем автоматизації та керування навантаженням. Служать орієнтиром для розвитку енергетичного господарства підприємства.

– *Сезонні.* Встановлюються для окремих періодів року, коли структура та рівень енергоспоживання суттєво змінюються (наприклад, через опалення, вентиляцію, кондиціонування, роботу холодильних установок). Дають змогу точніше планувати навантаження в енергосистемі підприємства.

### **6. Класифікація норм за характером енергоспоживання**

З урахуванням залежності витрат електроенергії від обсягу виробництва розрізняють:

– *Норми на умовно-постійні витрати.*

Охоплюють споживання, яке мало залежить від обсягу випуску продукції: освітлення, чергові та аварійні навантаження, частина витрат на вентиляцію та опалення електричними приладами. Такі норми зазвичай задаються у вигляді лімітів за часом або за період.

– *Норми на умовно-змінні витрати.*

Безпосередньо пов'язані з обсягом виробництва та тривалістю роботи технологічного обладнання. До них належать питомі норми на основні

технологічні процеси (плавлення, сушіння, механічна обробка, транспортування тощо).

*– Норми на технологічні та мережеві втрати.*

Включають втрати в трансформаторах, кабельних лініях, допоміжних установках, а також втрати, пов'язані з конкретними технологічними операціями (пускові режими, холості ходи, перепади напруги). Їх виділення в окрему групу дозволяє цілеспрямовано планувати заходи щодо їх зниження.

### **1.3. Вибір показника нормування**

Раціональний вибір показника нормування енергоспоживання є ключовою передумовою побудови обґрунтованої системи норм. Від того, який саме показник (або їх система) покладений в основу нормування, залежить коректність планових розрахунків, можливість порівняння фактичних витрат з нормативними, а також адекватність висновків щодо енергоефективності виробництва.

В загальному випадку показник нормування має відображати зв'язок між витратами електроенергії та корисним результатом діяльності підприємства (випуск продукції, виконаний обсяг робіт, надані послуги), бути кількісно вимірюваним, порівнюваним у часі та придатним для аналітичної обробки.

#### ***1. Вимоги до показника нормування енергоспоживання***

При виборі показника нормування до нього висувається низка основних вимог:

1. *Фізична та економічна змістовність.* Показник повинен мати чіткий фізичний і/або економічний зміст, тобто однозначно інтерпретуватися як міра витрат енергії на досягнення певного результату (виробництво продукції, виконання операції, забезпечення технологічного режиму).

2. *Можливість однозначного вимірювання.* Величини, що входять до складу показника (витрати електроенергії, обсяг продукції, час роботи тощо), мають підлягати достовірному обліку та вимірюванню на підприємстві.

3. *Порівнюваність у часі та просторі.* Показник має забезпечувати можливість порівняння:

- між різними періодами роботи одного підприємства;
- між підрозділами підприємства;
- за потреби – між різними підприємствами галузі.

4. *Чутливість до змін енергоефективності.* При зміні умов або заходів з енергозбереження значення показника повинно помітно змінюватися, відображаючи реальний ефект від цих змін.

5. *Стабільність зв'язку з основними факторами.* Залежність між витратами електроенергії та нормувальним показником (обсягом продукції, часом роботи тощо) має бути відносно стабільною та описуваною (лінійною або відомою нелінійною функцією).

6. *Простота використання в практиці.* Показник повинен бути зручним для застосування в планових розрахунках, контролі та звітності, не вимагати надмірно складних вимірювань чи обчислень на рівні цехів і дільниць.

## **2. Природні та вартісні показники нормування**

У практиці нормування енергоспоживання найбільш поширеними є два підходи до вибору нормувального показника: використання натуральних (природних) і вартісних (економічних) характеристик обсягу діяльності.

### *1. Натуральні показники (у фізичних одиницях):*

- маса продукції, т;
- кількість виробів, шт;
- обсяг обробленого матеріалу, м<sup>2</sup>, м<sup>3</sup>, м;
- інші технологічні натуральні параметри (наприклад, т розплаву, м тканини, м<sup>2</sup> покриття тощо).

На їх основі формуються питомі норми електроспоживання:

$$q_e = W/Q, \quad (1.1)$$

де  $W$  – витрати електроенергії за період, кВт·год;

$Q$  – обсяг випуску продукції в натуральних одиницях.

Переваги натуральних показників:

- високий фізичний зміст (безпосередній зв'язок з технологією);

- незалежність від змін цінової кон'юнктури;
- зручність аналізу енергоємності конкретних видів продукції.

Недоліки:

- складність застосування на підприємствах з дуже широким і різномірним асортиментом продукції;
- потреба в введенні умовних або приведених одиниць для порівняння різних видів продукції.

*2. Вартісні показники:*

- вартість товарної (реалізованої) продукції, грн;
- обсяг доданої вартості, грн;
- виручка від реалізації продукції, грн.

Вартісний показник дозволяє визначати енергоємність продукції:

$$E_y = W/P, \quad (1.2)$$

де  $P$  – вартість товарної продукції за той же період, грн.

Переваги вартісних показників:

- можливість агрегованої оцінки енергоефективності в умовах багатомоноклатурного виробництва;
- зручність використання в економічному аналізі та при формуванні фінансових показників.

Недоліки:

- залежність від рівня цін, інфляційних процесів, зміни структури собівартості;
- часткове «розмивання» технологічного змісту показника.

В реальній практиці доцільно поєднувати натуральні показники (для аналізу окремих видів продукції та процесів) та вартісні (для узагальненої оцінки енергоефективності підприємства в цілому).

*3. Одиничні та комплексні показники нормування*

Показник нормування може відображати витрати електроенергії:

- на одиницю продукції (одиничний показник);

– на комплекс продукції або робіт (комплексний показник).

Одиничний показник нормування застосовується, коли:

- підприємство випускає переважно один основний вид продукції;
- технологічні процеси однотипні;
- є можливість однозначно зіставити витрати електроенергії з обсягом одного виду продукції.

У цьому випадку питомі витрати електроенергії  $q_e$  є основним і достатнім показником для нормування.

Комплексний показник нормування використовується у випадку:

- різноманітної номенклатури продукції;
- значних відмінностей у технології її виготовлення;
- різної енергоємності окремих виробів.

Для цього вводяться приведені одиниці продукції, наприклад:

- приведення різних виробів до «умовної» тонни або «умовного» виробу з використанням коефіцієнтів, що відображають відносну енергоємність;
- використання вартісного показника (кВт·год/тис. грн продукції), як агрегованого індикатора.

Комплексні показники є менш деталізованими, але забезпечують можливість нормування енергоспоживання на рівні цеху або підприємства при значній номенклатурі продукції.

Для ряду задач нормування важливо враховувати не тільки обсяг продукції, а й режим роботи обладнання. У цьому випадку як показники нормування можуть використовуватися:

- час роботи обладнання, год;
- машино-години роботи групи агрегатів;
- фонди робочого часу (змінний, добовий, річний).

Тоді норми можуть встановлюватися у вигляді:

- питомих витрат електроенергії на машино-годину:

$$q_{mh} = W/T, \quad (1.3)$$

де  $T$  – час роботи обладнання, год;

- питомих витрат на зміну, добу або інший проміжок часу;
- допустимих рівнів середньої потужності при відомому графіку навантажень.

Такі показники особливо корисні:

- для допоміжних і енергетичних установок (насоси, вентилятори, компресори, освітлення);
- для режимного нормування та управління максимумами навантаження.

Для нормування енергоспоживання промислового підприємства доцільно використовувати систему взаємопов'язаних показників, а саме:

1. Основний показник нормування для технологічних процесів – питомі витрати електроенергії на одиницю основної продукції (1.1), що дозволяє безпосередньо оцінювати енергоємність виробів та проводити порівняння за видами продукції.

2. Додатковий узагальнюючий показник – енергоємність товарної продукції (1.2), який використовується для порівняльної оцінки енергоефективності підприємства в динаміці та в порівнянні з іншими підприємствами.

3. Режимні показники для нормування роботи обладнання:

- питомі витрати на машино-годину;
- коефіцієнти використання встановленої потужності;
- коефіцієнт попиту та коефіцієнт потужності (для контролю режимів навантаження).

4. Показники нормування втрат електроенергії:

- відносні (у відсотках до поданої або спожитої електроенергії);
- абсолютні (кВт·год за період) для основних елементів мережі (трансформаторів, ліній).

Таке поєднання показників дозволяє:

- забезпечити достатню деталізацію при аналізі конкретних технологічних процесів;
- мати інтегральні індикатори для управлінських рішень на рівні підприємства;

– враховувати як технологічну, так і економічну складові енергоефективності.

Отже, вибір показника нормування енергоспоживання ґрунтується на комплексному врахуванні фізичного змісту, можливості вимірювання, чутливості до змін енергоефективності, зручності для планування й контролю. Для промислових підприємств найбільш доцільним є використання натуральних питомих показників як основи нормування по основних видах продукції, доповнених вартісними та режимними показниками, які забезпечують узагальнену та багаторівневу оцінку енергоефективності.

#### **1.4. Методи отримання норм**

Вибір методів отримання норм енергоспоживання визначає якість усієї системи нормування. Від того, наскільки коректно побудована методика розрахунку нормативів, залежить реалістичність планових показників, точність оцінки резервів енергозбереження та обґрунтованість управлінських рішень. У практиці промислових підприємств застосовується низка методів, які можуть використовуватися окремо або в комбінації залежно від наявності вихідних даних, ступеня деталізації та стадії життєвого циклу виробництва.

##### *1. Дослідно-статистичний метод*

Дослідно-статистичний метод ґрунтується на аналізі фактичних даних про споживання електроенергії за попередні періоди. Сутність методу полягає у визначенні середніх або найкращих (мінімальних) питомих витрат на основі статистичної обробки ряду спостережень.

Послідовність застосування:

- збір даних про витрати електроенергії  $W_i$  та обсяги продукції  $Q_i$  за кілька періодів (зміни, дні, місяці);
- розрахунок фактичних питомих витрат:

$$q_i = W_i/Q_i;$$

- відбір типових чи найкращих значень  $q_i$  (без явно аномальних відхилень);
- усереднення або вибір мінімально досягнутого рівня як нормативу.

Переваги:

- простота реалізації;
- не потребує детальної технічної інформації про обладнання та технологію;
- відображає реальні умови роботи підприємства.

Недоліки:

- «прив'язка» до історично сформованого рівня енергоспоживання, який може бути далеким від оптимального;
- ускладнення врахування змін технології, номенклатури продукції, модернізації обладнання;
- ризик закріплення у нормах нераціональних режимів роботи.

Цей метод доцільно використовувати на початкових етапах нормування або як допоміжний інструмент для перевірки результатів більш прогресивних методів.

## 2. Розрахунково-аналітичний (технічний) метод

Розрахунково-аналітичний метод базується на використанні технічних характеристик обладнання, параметрів технологічного процесу та розрахунку енергетичних балансів. Він вважається найбільш обґрунтованим і прогресивним, оскільки орієнтований на раціональний, а не історично сформований рівень витрат.

Загальна схема розрахунку питомої норми для технологічного процесу:

1. Визначення необхідної корисної енергії (наприклад, теплової, механічної), що потрібна для виконання операції або виготовлення одиниці продукції.

2. Врахування ККД окремих ланок перетворення енергії (електродвигунів, передавальних механізмів, технологічних установок):

$$W_{\text{ел}} = E_{\text{кор}} / \eta_{\Sigma}, \quad (1.4)$$

де  $E_{\text{кор}}$  – корисна енергія;

$\eta_{\Sigma}$  – сумарний ККД ланцюга перетворення.

3. Врахування режимних коефіцієнтів:

- коефіцієнта завантаження обладнання;
- коефіцієнта використання часу;
- коефіцієнтів, що враховують пуски, холостий хід, перерви.

4. Поділ розрахованих витрат на обсяг продукції або час роботи для отримання питомої норми.

Приклад. Для електроприводу з номінальною потужністю  $P_n$ , коефіцієнтом завантаження  $k_{зав}$  та часом роботи  $t$ :

$$W = P_n \cdot k_{зав} \cdot t \cdot k_{реж},$$

де  $k_{реж}$  – коефіцієнт, що враховує режим роботи (пуски, зупинки, холості ходи).

Переваги:

- орієнтація на технічно досяжний раціональний рівень енергоспоживання;
- можливість аналізу впливу окремих факторів (ККД, завантаження, режимів роботи);
- придатність для розробки перспективних (прогресивних) норм.

Недоліки:

- значна трудомісткість;
- потреба в повній і достовірній інформації про технічні характеристики та технологічні параметри;
- необхідність залучення кваліфікованих фахівців.

### 3. Балансовий метод

Балансовий метод передбачає складання енергетичного балансу підприємства, цеху або установки з розподілом всієї поданої електроенергії на корисно використану та втрати. На основі такого балансу встановлюються норми як на корисне споживання, так і на допустимий рівень втрат.

Загальний вигляд балансу:

$$W_{надх} = W_{кор} + W_{втр},$$

де  $W_{надх}$  – електроенергія, подана в систему;

$W_{\text{кор}}$  – корисно використана енергія;

$W_{\text{втр}}$  – втрати (у трансформаторах, лініях, обладнанні, при пусках, тощо).

Нормативи можуть встановлюватися:

- для  $W_{\text{кор}}$  – на основі технічного чи розрахунково-аналітичного методу;
- для  $W_{\text{втр}}$  – у вигляді допустимих відносних або абсолютних величин.

Балансовий метод особливо корисний:

- для оцінки ефективності енергогосподарства в цілому;
- для виявлення «вузьких місць» – ділянок з надмірними втратами;
- при розробці норм на мережеві та трансформаційні втрати.

#### 4. Порівняльний (бенчмаркінговий) метод

Порівняльний метод ґрунтується на зіставленні енергетичних показників досліджуваного підприємства з:

- галузевими нормативами та стандартами;
- показниками передових підприємств-аналогів;
- внутрішніми «еталонними» підрозділами.

На основі такого порівняння визначається цільовий рівень питомих витрат, який може бути прийнятий як орієнтир при розробці норм. Наприклад, якщо середня питома витрата електроенергії в галузі на виробництво 1 т продукції становить  $q_{\text{гал}}$ , а на підприємстві –  $q_{\text{факт}}$ , то перспективна норма може орієнтуватися на:

$$q_{\text{норм}} = q_{\text{гал}} \cdot k_{\text{умов}}$$

де  $k_{\text{умов}}$  – коефіцієнт, що враховує специфіку умов роботи підприємства (якість сировини, рівень оснащеності, режим роботи тощо).

Переваги:

- орієнтація на кращі практики та галузеві досягнення;
- можливість швидкого визначення цільових орієнтирів без детальних технічних розрахунків.

Недоліки:

- необхідність надійних і порівнянних даних по підприємствах-аналогах;

– потреба в коректному врахуванні відмінностей умов (асортимент, технологія, масштаби виробництва).

#### *5. Експериментально-аналітичний метод*

Експериментально-аналітичний метод передбачає проведення спеціальних натурних вимірювань споживання електроенергії в реальних або наближених до реальних умовах експлуатації.

Етапи:

- вибір об'єкта дослідження (обладнання, лінії, технологічної ділянки);
- організація короткочасних або тривалих вимірювань електроспоживання при різних режимах роботи та навантаженні;
- побудова залежностей виду:

$$W = f(Q), P = f(Q), W = f(t, \text{режим}),$$

де  $Q$  – обсяг продукції,  $t$  – час, «режим» – параметри технологічного процесу;

- виділення доцільних режимів роботи, визначення мінімально досяжних питомих витрат;
- формування норм на основі експериментально отриманих характеристик.

Переваги:

- висока достовірність результатів за умови правильного проведення вимірювань;
- можливість урахування реальних режимів роботи, витрат, пусків, зупинок;
- придатність для освоєння нових технологій, коли відсутня статистика.

Недоліки:

- необхідність спеціальних вимірювальних приладів та організації дослідів;
- часова та ресурсна затратність;
- обмежений обсяг охопленого обладнання (як правило, найважливіші споживачі).

#### *6. Комбінований (розрахунково-статистичний) метод*

Комбінований метод поєднує розрахунково-аналітичний, дослідно-статистичний та, за потреби, експериментальний підходи.

Його доцільно застосовувати у більшості випадків, коли:

- для частини процесів можлива детальна технічна розробка норм;
- для інших – є лише статистичні дані або результати вимірювань;
- необхідно верифікувати розрахункові норми за фактичними показниками.

Типовий алгоритм:

1. Попереднє розрахунково-аналітичне встановлення норм.
2. Порівняння отриманих значень з фактичними питомими витратами та галузевими даними.
3. Коригування норм з використанням статистики й результатів експериментів (введення поправочних коефіцієнтів).
4. Остаточне затвердження нормативів з подальшим моніторингом їх виконання. Такий підхід дозволяє досягти балансу між прогресивністю норм і їх реалізованістю в конкретних виробничих умовах.
7. Аналітико-статистичні та модельні методи (регресійний аналіз, імітаційне моделювання).

Для підприємств із розгалуженою структурою споживання електроенергії та великою кількістю факторів, що впливають на енергоспоживання, можуть застосовуватися модельні методи, зокрема:

- регресійний аналіз (побудова емпіричних залежностей виду:

$$W = a_0 + a_1Q_1 + a_2Q_2 + \dots + a_nQ_n,$$

де  $Q_i$  – обсяги продукції різних типів, а  $a_i$  – коефіцієнти, що відображають «часткову» енергоємність);

- багатофакторний аналіз (урахування впливу кількох технологічних параметрів одночасно);
- імітаційне моделювання режимів роботи підприємства (графіків навантаження, зміни асортименту), що дозволяє оцінити енергоспоживання при різних сценаріях та вибрати оптимальні.

## РОЗДІЛ 2

### ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

#### 2.1. Енергетичні характеристики як кореляційні зв'язки

Енергетичні характеристики промислового підприємства, як правило, мають ймовірнісний характер і відображають не жорстко детерміновані функціональні залежності, а кореляційні зв'язки між споживанням електроенергії та сукупністю факторів, що на нього впливають. До таких факторів належать обсяг і структура випуску продукції, режим роботи обладнання, технічний стан електроприймачів, погодні та сезонні умови, організація виробництва тощо.

Розуміння енергетичних характеристик, як кореляційних зв'язків дозволяє:

- виділити серед багатьох факторів ті, що найбільш суттєво впливають на споживання електроенергії;
- кількісно оцінити силу та напрямок цього впливу;
- побудувати математичні моделі енергоспоживання, придатні для прогнозування та нормування.

#### 1. Поняття кореляційного зв'язку в задачах енергетичного аналізу

Під кореляційним зв'язком розуміють статистичну залежність між випадковими величинами, за якої зміна однієї величини в середньому зумовлює зміну іншої, але не визначає її однозначно. У контексті енергетичних характеристик такими випадковими величинами є:

- витрати електроенергії за певний період  $W$ , кВт·год;
- обсяг випуску продукції  $Q$ , натуральні або умовні одиниці;
- середня чи максимальна потужність навантаження  $P_{\text{сер}}, P_{\text{max}}$ , кВт;
- тривалість роботи обладнання  $t$ , год;
- фактори зовнішнього середовища (температура навколишнього середовища, сезон, зміна тощо).

Таким чином, енергетичні характеристики підприємства (графіки питомих витрат, залежності «енергія – продукція», «потужність – час» тощо) доцільно

тракувати як усереднені кореляційні залежності, отримані на основі масиву фактичних даних обліку й вимірювань.

## 2. Статистичні показники кореляційних зв'язків

Для кількісної оцінки кореляційних зв'язків в аналізі енергоспоживання застосовуються такі основні показники:

1. Парний коефіцієнт кореляції  $r_{xy}$  між двома величинами (наприклад,  $x = Q$ ,  $y = W$ ):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість спостережень;

$x_i, y_i$  – фактичні значення показників;

$\bar{x}, \bar{y}$  – їх середні значення.

За модулем  $r_{xy}$  оцінюють силу зв'язку:

-  $|r_{xy}| \approx 0$  – зв'язок практично відсутній;

-  $|r_{xy}| = 0,3 \div 0,5$  – помірний зв'язок;

-  $|r_{xy}| = 0,7 \div 0,9$  – тісний зв'язок.

Знак коефіцієнта показує напрямок зв'язку: додатний – зі збільшенням  $x$  в середньому зростає  $y$ , від'ємний – зі збільшенням  $x$  у в середньому зменшується.

2. Коефіцієнт детермінації  $R^2$ , який використовується після побудови регресійної моделі (наприклад, лінійної залежності). Він показує, яку частку варіації результативної ознаки (витрат електроенергії) пояснює модель:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2.2)$$

де  $\hat{y}_i$  – розрахункові (модельні) значення витрат.

Чим ближче  $R^2$  до 1, тим повніше враховано вплив основних факторів і тим якісніше описано енергетичну характеристику.

Розглядання енергетичних характеристик як кореляційних зв'язків має безпосереднє практичне значення для нормування споживання електроенергії.

Основні напрямки використання:

1. Виділення визначальних факторів нормування.

На основі кореляційного аналізу встановлюється, які фактори найбільшою мірою впливають на витрати електроенергії:

- якщо  $r_{WQ}$  є високим, обсяг продукції  $Q$  обирається як основний показник нормування;

- якщо виявлено сильний зв'язок з режимними параметрами (час роботи, середня потужність), до нормувальної бази включаються відповідні показники.

2. Побудова «еталонних» енергетичних характеристик.

На основі історичних даних обираються періоди найбільш раціональної роботи (мінімальні питомі витрати, оптимальні режими), за якими будується регресійна залежність  $W = f(Q, X_i)$ . Отримана крива (поверхня) фактично є нормативною енергетичною характеристикою, яка задає очікуваний рівень витрат при заданих умовах.

3. Розмежування нормативних та понаднормативних витрат.

Для заданого набору факторів ( $Q, X_i$ ) розраховується нормативне значення  $W_{\text{норм}}$  за кореляційною моделлю, а фактичні витрати  $W_{\text{ф}}$  порівнюються з ним:

$$\Delta W = W_{\text{ф}} - W_{\text{норм}}$$

Позитивне перевищення  $\Delta W > 0$  інтерпретується як понаднормативні витрати, що можуть бути пов'язані з нераціональними режимами, несправністю обладнання, організаційними недоліками.

4. Перевірка і актуалізація норм.

У процесі роботи підприємства накопичуються нові дані, за якими:

- перевіряється стабільність кореляційних зв'язків;
- уточнюються параметри регресійних моделей;
- вносяться корективи до нормативних енергетичних характеристик.

Це забезпечує динамічний характер системи нормування, коли норми не є раз і назавжди встановленими величинами, а адаптуються до змін у технології та організації виробництва.

#### 5. Особливості інтерпретації кореляційних зв'язків у енергетичних задачах

При використанні кореляційних моделей в аналізі енергоспоживання необхідно враховувати низку особливостей:

- Кореляція не тотожна причинності. Високе значення коефіцієнта кореляції між двома показниками ще не гарантує, що один із них є причиною зміни іншого. Потрібен технологічний аналіз, щоб підтвердити фізичну обґрунтованість встановлених зв'язків.

- Вплив прихованих факторів. Часто на енергоспоживання впливають фактори, які прямо не враховані у моделі (наприклад, кваліфікація персоналу, організація ремонту, режим зміни). Їхній ефект потрапляє до випадкової складової, що необхідно враховувати при інтерпретації результатів.

- Необхідність статистичної перевірки моделей. Отримані залежності мають бути перевірені на статистичну значущість (за критеріями Ст'юдента, Фішера тощо), оцінені на наявність мультиколінеарності, автокореляції залишків (особливо для часових рядів).

- Обмеженість діапазону застосування. Кореляційні моделі, побудовані на даних за певний період, коректні лише в межах діапазону значень факторів, для яких вони були отримані. Вихід за ці межі (різка зміна технології, заміна обладнання) потребує повторного аналізу.

Таким чином, енергетичні характеристики промислового підприємства доцільно розглядати як кореляційні зв'язки між витратами електроенергії та сукупністю факторів, що формують ці витрати. Використання апарату кореляційно-регресійного аналізу дозволяє:

- ідентифікувати головні фактори енергоспоживання;

- побудувати математичні моделі енергетичних характеристик;
- сформувані нормативні енергетичні залежності та відокремити нормативні й понаднормативні витрати;
- забезпечити науково обґрунтовану базу для подальшого нормування споживання електроенергії.

## 2.2. Поняття про кореляцію

У процесі аналізу енергетичних характеристик промислових підприємств часто виникає необхідність дослідити взаємозв'язки між різними показниками: споживанням електроенергії та обсягом продукції, середньою потужністю навантаження та часом роботи обладнання, питомими витратами та режимними параметрами технологічних процесів тощо. Такі взаємозв'язки, як правило, не є жорстко функціональними. Їх доцільно описувати за допомогою апарату кореляції, тобто статистичної залежності випадкових величин.

### 1. Сутність кореляції та її відмінність від функціональної залежності

Під кореляцією розуміють статистичний зв'язок між випадковими величинами, за якого зміна однієї величини супроводжується, у середньому, певною зміною іншої, але кожному значенню однієї змінної не відповідає строго визначене значення іншої. Для порівняння:

- Функціональна залежність: кожному значенню аргументу  $x$  однозначно відповідає одне значення функції  $y = f(x)$ . Випадкової складової немає або вона не розглядається.
- Кореляційний зв'язок: при одному й тому самому значенні  $x$  можливі різні значення  $y$ , що утворюють певний розподіл; розглядається середня (узагальнена) тенденція зміни  $y$  зі зміною  $x$ .

В задачах енергетичного аналізу це означає, що при однаковому обсязі випуску продукції або при тому самому часі роботи обладнання витрати електроенергії можуть дещо відрізнятися через:

- зміну режимів роботи (частота пусків, простої, холості ходи);
- різну якість сировини;

- різний технічний стан обладнання;
- вплив зовнішніх умов (температура, сезон, графік зміни);
- організаційні фактори (дисципліна, налаштування системи керування тощо).

Тому енергетичні характеристики доцільно вважати статистичними, а не строго детермінованими залежностями.

### *2. Випадкові величини та їх спільний розподіл*

Формально кореляція розглядається в межах теорії випадкових величин. Нехай:  $X$  – випадкова величина, що описує фактор (наприклад, обсяг продукції, час роботи, середню потужність);  $Y$  – випадкова величина, що описує результат (наприклад, витрати електроенергії, питомі витрати).

Ці величини мають спільний розподіл ймовірностей, який характеризує, з якою частотою зустрічаються ті чи інші поєднання значень ( $X, Y$ ). На практиці цей розподіл не задається аналітично, а оцінюється за вибіркою спостережень:  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , отриманих з даних обліку та вимірювань.

Якщо значення  $X$  і  $Y$  змінюються незалежно, говорять про відсутність кореляції. Якщо ж із зростанням (або зменшенням)  $X$  значення  $Y$  в середньому також збільшуються (або зменшуються), спостерігається позитивний (або негативний) кореляційний зв'язок.

### *3. Кількісна міра кореляції*

Для кількісної оцінки сили лінійного кореляційного зв'язку між двома змінними застосовують коефіцієнт кореляції  $r$ . Його значення змінюється в межах:

$$-1 \leq r \leq 1.$$

- $r \approx 1$  – тісний прямий лінійний зв'язок;
- $r \approx -1$  – тісний обернений лінійний зв'язок;
- $r \approx 0$  – лінійний зв'язок практично відсутній.

На практиці прийнято орієнтовно вважати:

- $|r| < 0,3$  – слабкий зв’язок;
- $0,3 \leq |r| < 0,5$  – помірний;
- $0,5 \leq |r| < 0,7$  – відчутний;
- $|r| \geq 0,7$  – тісний зв’язок.

Для енергетичного аналізу це означає, що при високих значеннях  $|r|$  обраний фактор (наприклад, обсяг продукції) придатний як базовий показник нормування, тоді як при низьких значеннях необхідно шукати інші, більш інформативні фактори.

#### *4. Кореляція та причинно-наслідкові зв’язки*

Важливою методологічною особливістю використання кореляції в енергетичних задачах є розмежування статистичної залежності та причинно-наслідкового зв’язку.

- Висока кореляція між двома змінними не завжди означає, що одна з них є причиною іншої. Можлива дія третього, «прихованого» фактора, що одночасно впливає на обидві змінні.

- У техніко-економічних дослідженнях напрямок причинності визначається не лише статистикою, а й фізичним змістом процесу та технологічною логікою.

У контексті енергетичних характеристик:

- причинно-наслідковий зв’язок «обсяг продукції → споживання електроенергії» є фізично обґрунтованим;

- водночас кореляція між, наприклад, споживанням електроенергії та календарним номером місяця може відображати лише сезонні й організаційні впливи й не нести прямого технологічного змісту.

Отже, при інтерпретації кореляційних зв’язків необхідно завжди спиратися на знання технології виробництва та особливостей роботи енергогосподарства підприємства.

#### *5. Практичне значення поняття кореляції для енергетичного аналізу*

Узагальнюючи, можна виділити основні практичні аспекти застосування кореляційного підходу в задачах нормування енергоспоживання:

- кореляція дозволяє формалізувати емпіричні спостереження: те, що інтуїтивно сприймається як «залежність витрат електроенергії від обсягу продукції», одержує кількісне статистичне підтвердження;

- на основі кореляційного аналізу здійснюється відбір інформативних факторів для побудови енергетичних характеристик;

- кореляційні зв'язки лягають в основу регресійних моделей, які використовуються для прогнозування, нормування та розділення нормативних і понаднормативних витрат.

### **2.3. Енергетичні характеристики як лінійний кореляційний зв'язок**

На практиці для цілей нормування, планування та прогнозування найчастіше застосовується лінійний кореляційний зв'язок, який дозволяє описати залежність у простій аналітичній формі та дає зручні для інтерпретації параметри.

#### *1. Загальний вигляд лінійної кореляційної моделі*

Найбільш поширена форма опису енергетичної характеристики – це лінійна регресійна модель виду:

$$W = a_0 + a_1 \cdot Q, \quad (2.3)$$

де  $W$  – витрати електроенергії за певний період, кВт·год;

$Q$  – обсяг випуску продукції за цей період (у натуральних або умовних одиницях);

$a_0$  – умовно-постійна складова енергоспоживання;

$a_1$  – коефіцієнт, який характеризує умовно-змінні витрати і фактично відповідає питомим витратам на одиницю продукції.

#### *2. Фізична інтерпретація параметрів лінійної енергетичної характеристики*

Параметри  $a_0$  та  $a_1$  мають чіткий техніко-економічний зміст:

- Коефіцієнт  $a_0$  (вільний член) відображає частину витрат електроенергії, що не залежить безпосередньо від обсягу продукції. До неї належать:

- освітлення виробничих і допоміжних приміщень;
- чергові та аварійні навантаження;
- витрати на роботу допоміжного обладнання, яке функціонує незалежно від фактичного випуску;
- втрати в мережах і трансформаторах, пов'язані з наявністю напруги, а не з величиною навантаження.

Цю складову часто називають умовно-постійними витратами. Коефіцієнт  $a_1$  характеризує змінну частину витрат, пропорційну обсягу продукції. У наближеному вигляді він відтворює питомі витрати електроенергії на одиницю продукції в досліджуваному діапазоні.

Таким чином, лінійна енергетична характеристика у вигляді прямої лінії на площині  $(Q, W)$  дозволяє подати енергоспоживання як суму двох складових:

$$W = W_{\text{ум.пост}} + W_{\text{ум.змін}} = a_0 + a_1 \cdot Q, \quad (2.4)$$

У рамках нормування це дає змогу:

- виділити базовий (мінімально необхідний) рівень витрат, не пов'язаний із випуском продукції;
- оцінити, наскільки раціональними є питомі витрати на додаткову одиницю продукції.

### *3. Оцінювання параметрів лінійної моделі методом найменших квадратів*

Параметри  $a_0$  та  $a_1$  визначаються на основі фактичних даних обліку за допомогою методу найменших квадратів (МНК). Сутність МНК полягає в мінімізації суми квадратів відхилень фактичних значень  $W_i$  від розрахункових  $\hat{W}_i$ :

$$\sum_{i=1}^n (W_i - \hat{W}_i)^2 = \min,$$

де  $\hat{W}_i = a_0 + a_1 \cdot Q_i$ .

Розв'язання задачі мінімізації приводить до системи нормальних рівнянь, з якої отримують оцінки:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(W_i - \bar{W})}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2},$$

$$a_0 = \bar{W} - a_1 \bar{Q},$$

де

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i.$$

Практично це означає, що лінійна енергетична характеристика проводиться «якнайкраще» через хмару точок  $(Q_i, W_i)$ , мінімізуючи сумарні квадрати відхилень.

#### 4. Оцінка якості лінійної енергетичної характеристики

Оскільки лінійний зв'язок є лише наближенням, необхідно оцінювати, наскільки добре він описує реальні дані. Для цього використовують:

##### 1. Коефіцієнт кореляції $r_{WQ}$

Показує силу лінійного зв'язку між обсягом продукції та витратами електроенергії. Для визнання моделі придатною в задачах нормування бажано, щоб:

$$|r_{WQ}| \geq 0,7 \text{ (тісний зв'язок).}$$

##### 2. Коефіцієнт детермінації $R^2$

Відображає частку варіації  $W$ , пояснену моделлю:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (W_i - \hat{W}_i)^2}{\sum (W_i - \bar{W})^2}.$$

Чим ближче  $R^2$  до 1, тим більш адекватно модель відображає енергетичну характеристику.

### *5. Межі застосовності лінійного кореляційного підходу*

Лінійний кореляційний зв'язок є зручним та інформативним, проте його застосування має певні обмеження:

- Обмежений діапазон зміни факторів. Лінійна модель коректна, як правило, у межах діапазону значень  $Q$ , для якого вона будувалася. При суттєвому виході за ці межі (різка зміна обсягів, включення/відключення крупних агрегатів) потрібне повторне оцінювання моделі.

- Зміна технічного стану та технології. Модернізація обладнання, впровадження нових технологічних процесів, зміна номенклатури продукції можуть істотно змінити характер енергетичних характеристик, що вимагає побудови нових лінійних моделей.

- Нелінійність режимних залежностей. Для окремих видів обладнання (випалювальні печі, компресори, холодильні установки тощо) залежність витрат від навантаження є виражено нелінійною, і проста лінійна модель може бути недостатньо точною.

Попри це, лінійні кореляційні моделі залишаються основним практичним інструментом на рівні підприємств і цехів, оскільки вони є прості в побудові та інтерпретації, достатньо точно описують енергоспоживання в робочому діапазоні та легко інтегруються в системи планування, нормування й контролю.

### **2.4. Енергетичні характеристики як нелінійний кореляційний зв'язок**

Розгляд енергетичних характеристик лише як лінійних кореляційних зв'язків є корисним спрощенням, але не завжди достатньо точним. У реальних умовах промислового підприємства залежність між витратами електроенергії та факторами, що їх визначають (обсяг продукції, навантаження обладнання, режим роботи, параметри технологічного процесу), часто має нелінійний характер. Це зумовлено особливостями фізичних процесів, режимами роботи електротехнічного обладнання та складною структурою енергоспоживання.

Тому, поряд із лінійними моделями, у задачах аналізу та нормування енергоспоживання доцільно застосовувати нелінійні кореляційні моделі, які точніше відображають реальні енергетичні характеристики.

Основні чинники, що призводять до нелінійного характеру кореляційних зв'язків це залежність ККД обладнання від навантаження. Для електродвигунів, насосів, вентиляторів, компресорів ККД змінюється з навантаженням, досягаючи максимуму в певній зоні. Це призводить до того, що питомі витрати електроенергії на одиницю продукції не є постійними, а змінюються при зміні завантаження. Також втрати в електричних мережах і трансформаторах пропорційні квадрату струму, що обумовлює нелінійну залежність між навантаженням та сумарними витратами електроенергії. До того ж часті пуски й зупинки обладнання, робота з непостійним навантаженням, циклічні технологічні процеси (печі, сушарки) створюють нерівномірний розподіл споживання електроенергії, що складно описати простою лінійною функцією. У ряді випадків при наближенні до максимальної потужності установки спостерігається «насичення» режиму: подальше збільшення продуктивності потребує диспропорційного росту енергоспоживання.

## *2. Типові види нелінійних кореляційних моделей*

Нелінійні енергетичні характеристики можуть описуватися різними типовими функціями. Найчастіше застосовуються:

### 1. Поліноміальні (квадратичні) моделі

$$W = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2. \quad (2.5)$$

Така модель дозволяє врахувати зміну питомих витрат із ростом обсягу продукції, у тому числі наявність мінімуму чи зростання енергоємності при виході за оптимальний діапазон завантаження.

### 2. Степеневі моделі

$$W = k \cdot Q^b, \quad (2.6)$$

де  $k, b$  – коефіцієнти моделі.

Такі залежності характерні, зокрема, для насосів і вентиляторів (закони подібності: потужність приблизно пропорційна кубу швидкості або продуктивності).

### 3. Експоненційні та логарифмічні моделі

$$W = a \cdot e^{bQ}, \text{ або } W = a + b \cdot \ln Q. \quad (2.7)$$

Використовуються, коли при малих змінах фактора відбувається різка зміна енергоспоживання (наприклад, при нагріві до високих температур, фазових переходах тощо) або коли приріст енерговитрат зменшується при зростанні обсягу.

### 4. Сегментні (кусочно-лінійні) моделі

Енергетична характеристика описується кількома лінійними відрізками:

$$W = \begin{cases} a_0^{(1)} + a_1^{(1)}Q, & Q \in [Q_1, Q_2], \\ a_0^{(2)} + a_1^{(2)}Q, & Q \in [Q_2, Q_3], \\ \dots \end{cases} \quad (2.8)$$

Такий підхід зручний, коли в різних діапазонах завантаження обладнання діють різні режими (наприклад, зміна кількості працюючих агрегатів).

Вибір конкретного виду моделі визначається:

- фізичним змістом процесу;
- аналізом експериментальних або облікових даних;
- вимогами до точності й простоти використання.

### 3. Побудова нелінійних кореляційних моделей

Процедура побудови нелінійної енергетичної характеристики включає етапи:

1. Збір і попередній аналіз даних. На основі вибірки  $(Q_i, W_i)$  перевіряється наявність систематичних відхилень від лінійної залежності та можливий вигляд кривої при графічному зображенні даних.

2. Вибір типу нелінійної моделі. Враховуються фізична природа процесу (наприклад, квадратична залежність втрат від струму), вигляд графіка «енергоспоживання – фактор».

3. Оцінка параметрів моделі. Застосовується нелінійний метод найменших квадратів безпосередньо до вибраної функції або лінійаризація моделі (наприклад, логарифмування степеневі чи експоненційної залежності) з подальшим використанням лінійного МНК.

4. Перевірка адекватності моделі. Оцінюються коефіцієнт детермінації  $R^2$ , значущість коефіцієнтів, характер залишків (відсутність вираженої тенденції, прийнятний рівень розкиду) та фізична інтерпретованість результатів (чи відповідає модель реальній поведінці системи).

Якщо модель виявляється статистично та фізично адекватною, її приймають як нормативну енергетичну характеристику.

*4. Використання нелінійних кореляційних зв'язків у нормуванні енергоспоживання*

Практичне застосування нелінійних енергетичних характеристик у системі нормування передбачає:

1. Нормування залежно від режиму роботи. Норми встановлюються не у вигляді єдиного питомого показника, а як функція від фактора:  $q_{\text{норм}}(Q) = f(Q)$ , або  $W_{\text{норм}}(Q) = f(Q)$ .

2. Формування режимних карт і діаграм. На основі нелінійних характеристик будуються графіки «питомі витрати – навантаження» з виділенням області оптимальних значень та режимні карти для операторів, які вказують, при яких навантаженнях обладнання працює з мінімальними витратами.

3. Розділення нормативних та понаднормативних витрат з урахуванням нелінійної залежності.

4. Визначення ефекту від оптимізації режимів. На основі моделі оцінюють, як зміняться витрати електроенергії при переході з одного режиму завантаження на інший. Це дає змогу кількісно обґрунтувати заходи з:

- перерозподілу навантаження між агрегатами;
- зміни графіків роботи;
- застосування частотно-регульованого приводу тощо.

#### *5. Доцільність використання нелінійних моделей та обмеження*

Впровадження нелінійних кореляційних моделей в систему нормування має як переваги, так і обмеження.

##### Переваги:

- підвищення точності опису енергетичних характеристик;
- можливість урахування складних режимних ефектів;
- більш коректний розподіл нормативних і понаднормативних витрат;
- можливість пошуку оптимальних режимів з мінімальними питомими витратами.

##### Обмеження:

- більша складність побудови й застосування моделей порівняно з лінійними;
- потреба в достатньо великому й якісному масиві даних;
- необхідність періодичного оновлення моделі при зміні технології, обладнання чи режимів роботи;
- дещо ускладнене використання на рівні рядового персоналу без відповідної автоматизації.

Енергетичні характеристики як нелінійний кореляційний зв'язок дозволяють більш адекватно відобразити реальні процеси енергоспоживання в промислових системах. Використання нелінійних регресійних моделей (поліноміальних, степеневих, експоненційних, кусочно-лінійних) дає змогу:

- урахувати залежність ККД і втрат від навантаження;
- виділити оптимальні режими роботи обладнання;
- побудувати точніші нормативні енергетичні характеристики;
- обґрунтувати заходи щодо зниження питомих витрат електроенергії.

## РОЗДІЛ 3

### ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА ПРИ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

#### **3.1. Коротка характеристика та вихідні дані для Харківського склотарного заводу**

Завод випускає три основні види продукції: термоси, скляні труби і трьохлітрові бутллі. В термосному цеху на ділянці виготовлення термосних оболонок встановлені термопластавтомати "Бодалекс", а на ділянці вироблення термосних колб – автомати "Олівотто", поточна лінія сребрення і отжига колб. Виробництво скляних труб виконується методом вертикального втягування труб за допомогою машин ФТ-2. Скляні трьохлітрові бутллі виробляються на двох пресодувних машинах 2ПВМ-3. Живлення скломасою механічне за допомогою крапельного живителя МП-211.

Середньорічна потужність заводу складає випуск 5300 тис. шт. термосів, 125508 тис. шт. трьохлітрових бутллів і 25000 тис. погонних метрів скляних труб.

На заводі є норми питомих витрат електроенергії на одиницю натуральної продукції. Питомі витрати електричної енергії на тисячу штук термосів складає 2050 кВт·год/тис. шт., на тисячу штук трьохлітрових бутллів – 181,8 кВт·год/тис. шт., на тисячу погонних метрів скляних труб – 427 кВт·год/тис. шт.

Статистичні дані по добовому електроспоживанню і продуктивністю за два місяця приведені в табл. 3.1. Ці вихідні дані служили основою для дослідження електроспоживання на Харківському склотарному заводу.

#### **3.2. Визначення коефіцієнтів енергоємності**

Для підприємств з розгалуженим виробничим процесом і випуском різномірної продукції, значне розгалуження виробництва і велика кількість різномірних часткових процесів і операцій на кожен вид готової продукції, як правило, потребують застосовувати умовні одиниці продукції.

Таблиця 3.1. Дослідні дані по добовому електроспоживанню і продуктивністю  
Харківського склотарного заводу

Дата	Споживання ел. енергії тис. кВт·год.	Випуск продукції		
		балони 3-х літрові тис. шт.	труби скляні в 2” вираховані, тис. п. м.	Термоси тис. шт.
1	2	3	4	5
01.12	38,7	55,1	8,9	11,9
02.12	42,1	60,7	8,3	13,2
03.12	40,2	57,6	7,2	12,8
04.12	40,96	58,9	8,4	12,7
05.12	42,4	61,7	8,6	13,1
06.12	40,9	60,4	7,6	12,7
07.12	43,1	55,2	9,5	14,1
08.12	37,0	60,3	12,7	10,0
09.12	43,7	66,1	12,0	12,9
10.12	46,2	66,8	12,1	13,0
11.12	41,14	60,4	10,7	11,5
12.12	45,36	60,7	10,8	13,5
13.12	45,6	60,6	8,1	15,1
14.12	38,8	62,2	10,3	11,2
15.12	36,2	63,2	7,7	10,4
16.12	32,5	68,6	8,7	7,9
17.12	32,5	64,3	9,1	8,2
18.12	45,9	52,3	8,9	15,8
19.12	36,4	63,1	4,7	11,1
20.12	35,7	64,4	4,9	10,6
21.12	43,7	63,1	9,8	13,6
22.12	40,1	64,6	8,3	12,9
23.12	48,9	65,7	7,2	16,4
24.12	51,4	54,5	14,8	17,1
25.12	48,8	63,0	10,3	16,0
26.12	46,4	65,8	8,9	14,9
27.12	53,2	65,4	6,8	18,7
28.12	45,7	65,5	9,8	14,4
29.12	63,3	64,7	12,9	22,4
30.12	40,9	63,8	8,9	12,4
01.01	27,5	40,96	3,4	9,0
02.01	35,2	45,22	7,4	11,5
03.01	24,5	38,88	7,2	6,9
04.01	38,1	47,62	8,5	12,5
05.01	30,2	58,08	8,1	7,8

Продовження табл. 3.1.

1	2	3	4	5
06.01	43,8	60,52	7,6	14,3
07.01	36,8	60,11	5,4	11,3
08.01	39,3	59,58	7,8	12,0
09.01	48,6	57,69	8,6	16,5
10.01	43,6	61,05	9,4	13,8
11.01	36,8	58,39	6,8	11,3
12.01	42,2	56,17	7,8	13,9
13.01	44,8	62,27	11,3	13,9
14.01	33,4	60,87	8,2	9,1
15.01	42,0	62,62	7,4	13,3
16.01	42,8	60,42	14,1	12,5
17.01	58,4	53,98	9,4	21,7
18.01	59,6	59,59	8,3	22,0
19.01	41,2	59,05	8,1	13,1
20.01	33,4	53,33	9,8	8,6
21.01	40,1	62,52	6,5	12,6
22.01	45,8	65,95	8,0	14,6
23.01	38,8	62,89	7,4	11,6
24.01	45,0	59,92	10,2	14,3
25.01	43,9	60,92	7,9	14
26.01	37,2	60,1	8,0	10,8
27.01	48,4	58,7	8,7	16,2
28.01	46,6	61,44	8,4	15,5
29.01	50,9	61,05	6,6	18,0
30.01	59,7	67,36	8,7	21,3

Нормування електроенергії на умовну одиницю натуральної продукції є прогресивним заходом порівняно з частим застосуванням нормуванням на тис. грн. валової продукції.

При визначенні енергоємності по окремим видам продукції для заводів з порівняно вузькою номенклатурою масово-поточного виробництва застосовується метод вирішення систем лінійних рівнянь.

Для досліджуваного заводу з масовим випуском номенклатури трьох видів отримаємо систему лінійних рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} W_1 = A_1x + B_1y + C_1z \\ W_2 = A_2x + B_2y + C_2z \\ W_3 = A_3x + B_3y + C_3z \end{cases}$$

де  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – випуск трьох літрових бутлів за добу, тис. шт.

$B_1, B_2, \dots, B_n$  – випуск скляних труб за добу, тис. п. м.

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – випуск термосів за добу, тис. шт.

$x$  – питомі витрати електроенергії на тис.шт. трьох літрових бутлів;

$y$  – питомі витрати електроенергії на тис. погонних метрів труб;

$z$  – питомі витрати електроенергії на тис. шт. термосів;

$W_1, W_2, \dots, W_n$  – витрати електроенергії за добу по заводу.

При аналізі електроспоживання Харківського склотарного заводу за два місяця (грудень, січень) були складені 20 систем рівнянь з трьома невідомими.

Розв'язок цієї системи рівнянь дав наступні усереднені значення питомих витрат по продукції видів  $A, B$  і  $C$ :

$$\bar{\omega}_A = \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{3685,219}{20} = 184,26 \text{ кВт}\cdot\text{год./тис.шт.}$$

$$\bar{\omega}_B = \bar{Y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{8743917}{20} = 437,2 \text{ кВт}\cdot\text{год./тис.п.м.}$$

$$\bar{\omega}_C = \bar{Z} = \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} = \frac{41191,19}{20} = 2059,55 \text{ кВт}\cdot\text{год./тис.шт.}$$

Ці значення питомих витрат прийняті для приведення продукції до однієї умовної натуральної одиниці.

В результаті розрахунків визначилися коефіцієнти енергоємності для продукції видів  $A, B$  і  $C$ :

$K_A = 0,42$  – коефіцієнт енергоємності для трьох літрових бутлів;

$K_B = 1,0$  – коефіцієнт енергоємності для скло труб;

$K_C = 4,71$  – коефіцієнт енергоємності для термосів.

Переведення продукції, що випускається в умовні натуральні одиниці виконується за формулою

$$A_{\text{умов}} = K_A \cdot A + K_B \cdot B + K_C \cdot C, \text{ тис.п.м.умов.труб/доба.}$$

Результати переведення приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Випуск продукції в натуральних і умовних одиницях

Випуск продукції						Сумарний випуск продукції в умовних одиницях $A_{\text{умов}}$ . тис.п.м.умов.труб/доба
в натуральних один.			в умовних одиницях			
Бутлі 3-х літрові, тис. шт.	труби скляні, тис.шт.	термоси, тис.шт.	Бутлі 3-х літрові	труби скляні	термоси	
1	2	3	4	5	6	7
55,1	8,9	11,9	23,142	8,9	56,049	88,091
60,7	8,3	13,2	25,494	8,3	62,172	95,966
57,6	7,2	12,8	24,192	7,2	60,288	91,68
58,9	8,4	12,7	24,738	8,4	59,817	92,955
61,7	8,6	13,1	25,914	8,6	61,701	96,215
60,4	7,6	12,7	25,368	7,6	59,817	92,785
55,2	9,5	14,1	23,184	9,5	66,411	99,095
60,3	12,7	10,0	25,326	12,7	47,1	85,126
66,1	12,0	12,9	27,762	12,0	60,759	100,521
66,8	12,1	13,0	28,056	12,1	61,23	101,386
60,4	10,7	11,5	25,386	10,7	54,165	90,233
60,7	10,8	13,5	25,494	10,8	63,585	99,879
60,6	8,1	15,1	25,452	8,1	71,121	104,673
62,2	10,3	11,2	26,124	10,3	52,752	89,176
63,2	7,7	10,4	26,544	7,7	48,984	83,228
68,6	8,7	7,9	28,812	8,7	37,209	74,721
64,3	9,1	8,2	27,006	9,1	38,622	74,728
52,3	8,9	15,8	21,966	8,9	74,418	105,284
63,1	4,7	11,1	26,502	4,7	52,281	83,483
64,4	4,9	10,6	27,048	4,9	49,926	82,874
63,1	9,8	13,6	26,502	9,8	64,056	100,358
54,6	8,3	12,9	22,932	8,3	60,759	91,991
65,7	7,2	16,4	27,594	7,2	77,244	112,038
54,5	14,8	17,1	22,89	14,8	80,541	118,231
63,0	10,3	16,0	26,46	10,3	75,36	112,715
65,8	8,9	14,9	27,636	8,9	70,179	106,715

Продовження табл. 3.2.

1	2	3	4	5	6	7
65,4	6,8	18,7	27,468	6,8	88,077	122,345
65,5	9,8	14,4	27,51	9,8	67,824	105,134
64,7	12,9	22,4	27,176	12,9	105,504	145,758
63,8	8,9	12,4	26,796	8,9	58,404	94,11
40,96	3,4	9,0	17,203	3,4	42,39	62,993
45,22	7,4	11,5	18,992	7,4	54,156	80,557
38,88	7,2	6,9	16,329	7,2	32,499	56,028
47,62	8,5	12,5	20,0	8,5	58,875	87,375
58,08	8,1	7,8	24,393	8,1	36,738	69,231
60,52	7,6	14,3	25,418	7,6	67,353	100,371
60,11	5,4	11,3	25,246	5,4	53,223	83,869
59,58	7,8	12,0	25,023	7,8	56,52	89,343
57,69	8,6	16,5	24,229	8,6	77,715	110,544
61,05	9,4	13,8	25,641	9,4	64,998	100,039
58,39	6,8	11,3	24,523	6,8	53,223	84,546
65,17	7,8	13,9	23,591	7,8	65,469	96,86
62,27	11,3	13,9	26,153	11,3	65,469	102,922
60,87	8,2	9,1	25,565	8,2	42,861	76,626
62,62	7,4	13,3	26,3	7,4	62,643	96,343
60,42	14,1	12,5	25,376	14,1	58,875	98,351
53,98	9,4	21,7	22,671	9,4	102,207	134,278
59,59	8,3	22,0	25,027	8,3	103,62	136,947
59,05	8,1	13,1	24,801	8,1	61,701	94,602
63,33	9,8	8,6	26,598	9,8	40,506	76,904
62,52	6,5	12,6	26,258	6,5	59,346	92,104
65,95	8,0	14,6	27,699	8,0	68,766	104,465
62,89	7,4	11,6	26,413	7,4	54,636	88,449
59,95	10,2	14,3	25,179	10,2	67,353	102,732
60,92	7,9	14	25,586	7,9	65,94	99,426
60,1	8,0	10,8	25,242	8,0	50,688	84,11
58,7	8,7	16,2	24,654	8,7	76,302	109,656
61,44	8,4	15,5	25,804	8,4	73,005	107,209
61,05	6,6	18,0	25,541	6,6	84,78	117,021
67,36	8,7	21,3	28,291	8,7	100,323	137,314

### 3.3. Енергетична характеристика заводу

Розрахунково-дослідний метод нормування, як було вказано вище є більш строгим і обґрунтованим.

Дослідні дані по добовому електроспоживанню і продуктивністю були зібрані по заводу, розподілені по класам і виписані в формі подвійної кореляційної таблиці, яка є основою для виводу розрахунково-дослідного зв'язку між електроспоживанням і продуктивністю заводу методами математичної статистики.

Вихідні дослідні дані приведені в подвійній кореляційній табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Подвійна кореляційна таблиця до визначення зв'язку для Бучанського склотарного заводу

кВт·год доба	тис. умовн. труб/доба									
	61	71	81	91	101	111	121	131	141	n <sub>w</sub>
27	2									2
32		3	2							5
37			8	5						13
42				9	10					19
47					8	6				14
52							3			3
57								1		1
62									3	3
n <sub>A</sub>	2	3	10	14	18	6	3	1	3	60
	27	32	36	40,21	44,2	47	52	57	62	

### 3.4. Визначення реальності існування і форми зв'язку

Щоб знайти статистичний зв'язок, потребується розв'язати дві задачі: визначити форму зв'язку і його силу. Форма зв'язку може бути визначена із аналізу існуючої функціональної залежності або дослідних даних по розташуванню точок на графіку з подальшою перевіркою знайденої форми за допомогою відомих методів математичної статистики. Аналіз дослідних даних дозволяє стверджувати, що кореляційний зв'язок може бути наближено представлений прямою лінією виду

$$W = b \cdot A + W_{\text{пост}}, \text{ тис.кВт} \cdot \text{год./доба}$$

Для визначення показників статистичного зв'язку складена допоміжна табл. 3.4, в якій проводяться всі допоміжні розрахунки.

Таблиця 3.4. Допоміжна таблиця для визначення показників статистичного зв'язку

$A_h$	$n_A$	$A_h \cdot n_A$	$A_h^2$	$A_h^2 \cdot n_A$	$W_i$	$n_W$	$n_W \cdot W_i$	$W_i^2$	$n_W W_i^2$	$A'_h$	$W_i$	$A'_h \cdot W_i$	$n_{h,i}$	$A'_h \cdot W_i \cdot n_{h,i}$
61	2	122	3721	7442	27	2	54	729	1458	61	27	1647	2	3294
71	3	213	5041	15123	32	5	160	1024	5120	71	32	2272	3	6816
81	10	810	6561	65610	37	13	481	1369	17797	81	32	2592	2	5184
91	14	1274	8581	115934	42	19	798	1764	35516	81	37	2997	8	23976
101	18	1818	10201	183618	47	14	658	2209	30926	91	37	3367	5	16835
111	6	666	12321	73926	52	3	156	2704	8112	91	42	3822	9	34398
121	3	363	14641	43923	57	1	57	3249	3249	101	42	4242	10	42420
131	1	131	17161	17161	62	3	186	3844	11532	101	47	4747	8	37976
141	3	423	19881	59643						111	47	5217	6	31302
										121	52	6292	3	18876
										131	57	7467	1	7467
										141	62	8742	3	26226
	60	5820		582380		60	2550		111710				60	254770

Далі знаходимо наступні показники:

1) Повні середні

$$\bar{A} = \frac{\sum n_A A_h}{n} = \frac{5820}{60} = 97,0; \quad \bar{W} = \frac{\sum n_W W_i}{n} = \frac{2550}{60} = 42,5,$$

2) Середні квадратичні відхилення (стандарти)

$$\delta_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A A_h^2 - \bar{A}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 582380 - 97^2} = 17,243,$$

$$\delta_W = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_W W_h^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 11710 - 42,5^2} = 7,455.$$

3) Коваріація

$$M_{11} = \frac{1}{n} \sum n_{h,i} A'_h W_i - \bar{A} \bar{W} = \frac{1}{60} 254770 - 4122,5 = 123,666.$$

4) Коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{M_{11}}{\delta_A \delta_W} = \frac{123,666}{17,243 \cdot 7,455} = 0,9619.$$

Коефіцієнт кореляції оцінюється по відношенню:

$$|r| \sqrt{n-1} = 0,96 \sqrt{60-1} = 7,39 > 3$$

чим визначається його значимість і реальність існування встановленого кореляційного зв'язку.

5) Коефіцієнт регресії:

$$\rho_{WA} = r \frac{\delta_W}{\delta_A} = 0,96 \frac{7,445}{17,243} = 0,415.$$

Використовуючи отримані значення, складаємо рівняння регресії:

$$W_A - \bar{W} = \rho_{WA} (A - \bar{A})$$

з якого отримаємо

$$W_A = 0,415 \cdot A - 0,415 \cdot 97 + 42,5 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год/добу}$$

або

$$W_A = 415 \cdot A + 2245,0 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}, \quad (3.1)$$

ймовірно що

$$\omega_A = 415 + \frac{2245}{A} \text{ кВт}\cdot\text{год/тис.умовн.труб}, \quad (3.2)$$

Характеристики (3.1) і (3.2) зображені на рис. 3.1.

Значками ( $\times$ ) вказані приватні середні, значення яких приведені в кореляційній таблиці. При цьому їх значення визначалися за формулою:

$$\bar{W}_h = \frac{1}{n_A} \sum n_{h,i} W_i, \quad (3.3)$$

для заданих значень продуктивності  $A_h$ .

Для визначення форми зв'язку знайдемо кореляційне відношення і порівняємо його з визначеними значеннями коефіцієнтів кореляції.

б) Кореляційне відношення

$$\eta_w = \frac{\delta_{\bar{w}}}{\delta_w} = \frac{7,182}{7,455} = 0,9633,$$

$$\text{де } \delta_w = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A \bar{W}_h^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 1114699 - 1806,25} = 7,182$$

Знаходимо критерій  $T_\eta$  по рівності

$$T_\eta = \frac{(S-2)(1-\eta_y^2)}{(n-S)(\eta_y^2-r^2)} = \frac{(9-2)(1-0,9633^2)}{(60-9)(0,9633^2-0,9619^2)} = 2,59,$$

крім того, ступені свободи  $K_1$  і  $K_2$  дорівнюють:

$$K_1 = n - S = 60 - 9 = 51,$$

$$K_2 = S - 2 = 9 - 2 = 7,$$

де  $S$  – число строків кореляційної таблиці.

При 5% межі по значенням  $K_1 = 51$  і  $K_2 = 7$  знаходимо  $T_{\text{табл}} = 3,32$ , тобто  $T_\eta < T_{\text{табл}}$ . Отже, розходження між  $\eta_w$  і  $r$  можна вважати випадковими, регресію – прямолінійною.

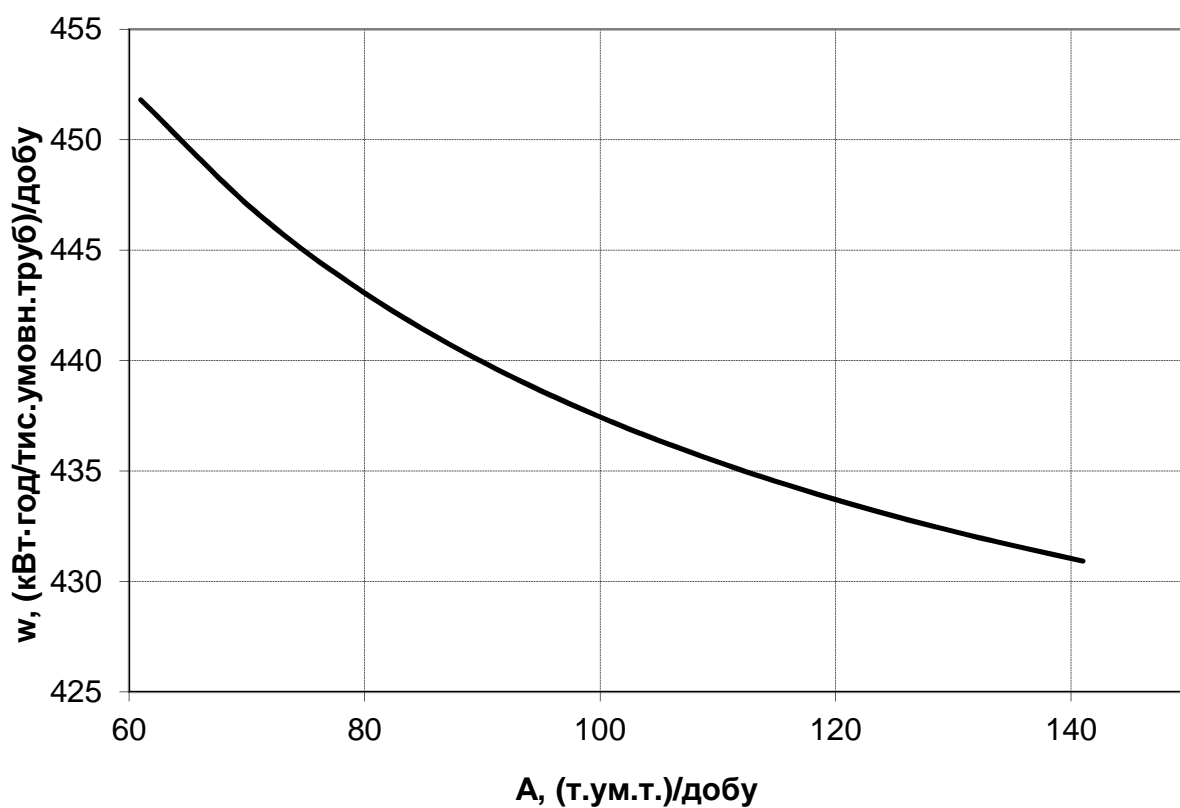
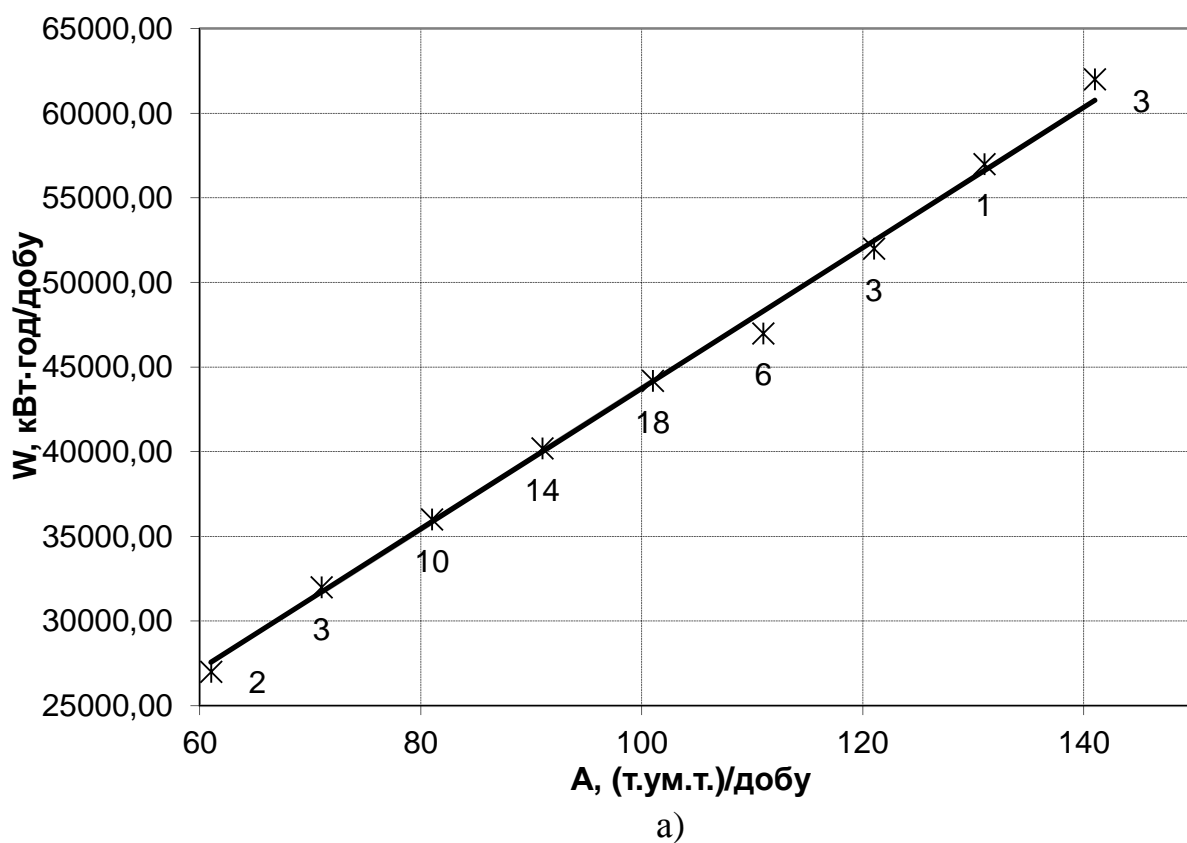


Рис. 3.1. Енергетичні характеристики Харківського склотарного заводу.  
а) залежність споживання електроенергії від випуску продукції  
б) залежність питомих витрат електроенергії від випуску продукції  
Значками ×(3) вказані дослідні точки та їх кількість.

### 3.5. Оцінка похибки рівняння зв'язку

Оцінку похибки між розрахунковими значеннями електроспоживання  $W_A$ , розрахованими за формулою (3.1), і дослідним значенням зручно виконувати по середньоквадратичній одиниці ваги шуканого зв'язку, виразив останнє в відсотках

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-c} \sum \left[ \frac{W_A - \bar{W}_h}{W_A} 100 \right]^2 n_A},$$

де  $\bar{W}_h$  – дослідні значення приватних середніх електроенергії, що споживається;

$W_A$  – відповідне розрахункове значення електроспоживання;

$C$  – число невідомих параметрів для характеристики виду (3.1),  $C=2$ .

Розрахунки по визначенню середньої квадратичної похибки зведені до табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Таблиця розрахунків для визначення середньоквадратичної похибки

$\bar{W}_h$	$W_A$	$\bar{W}_h - W_A$	$\frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100$	$\left[ \frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100 \right]^2$	$\left[ \frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100 \right]^2 n_A$
27	27,56	0,56	2,03193	4,128739	8,257478
32	31,71	0,29	0,91454	0,836383	2,509149
36	35,86	0,14	0,39041	0,15242	1,5242
40,21	40,01	0,2	0,49988	0,24988	3,49832
44,22	44,16	0,06	0,13587	0,01846	0,33228
47	48,31	1,31	2,71165	7,353045	44,11827
52	52,46	0,46	0,87686	0,768883	2,306649
57	56,61	0,39	0,68892	0,474610	0,474610
62	60,76	1,24	2,04082	4,164946	12,49483
					75,51578

тоді  $\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{60-2} 75,51578} = 1,14$ .

Таким чином, середньоквадратична похибка на одиницю шуканого зв'язку між розрахунковим і дослідним значенням електроспоживання складає 1,14%.

### 3.6. Виведення енергетичної характеристики заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку

В основі знаходження розрахунково-дослідних зв'язків покладена залежність між загальною витратою електроенергії і випуском продукції:

$$\left( \frac{w}{P_y} \right) = f(\alpha), \quad (3.4)$$

де  $\left( \frac{w}{P_y} \right)$  – загальні витрати електроенергії по підприємству;

$\alpha$  – добовий випуск продукції.

Щоб знайти статистичний зв'язок виду (3.4), треба вирішити дві задачі: визначити форму зв'язку і встановити її міць.

*Початкові дані для розрахунку*

Загальна встановлена потужність по заводу:

$$P_{\text{уст}} = 49600 \text{ кВт};$$

Середня потужність заводу:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{в}} = 49600 \cdot 0,4 = 19840;$$

Споживання електроенергії за добу:

$$W_{\text{ср}} = P_{\text{уст}} \cdot 24 = 19840 \cdot 24 = 476160 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Фактичне питома споживання електроенергії:

$$\omega_{\text{ср}} = 2000 \text{ кВт} \cdot \text{год/т};$$

Проектна добова потужність:

$$A_0 = \frac{W_{\text{ср}}}{\omega_{\text{ср}}} = \frac{476160}{2000} = 238,08 \text{ т/добу};$$

Питома встановлена потужність заводу:

$$P_y = \frac{P_{\text{уст}}}{A_0} = \frac{49600}{238,08} = 208,3 \text{ в. од.};$$

Відношення питомої витрати електроенергії до питомої встановленої потужності:

$$\left( \frac{\omega_{\text{cp}}}{p_y} \right) = \frac{2000}{208,3} = 9,6 \text{ в. од.}$$

### 3.7. Реальність і форма основної енергетичної характеристики заводу важкої промисловості

Для розподілу отриманих після опрацювання вихідних показників  $\left( \frac{w}{p_y} \right)$  і  $\alpha$  по інтервалах складаємо подвійну кореляційну таблицю (табл. 3.6), що є основою для подальших досліджень.

Форма зв'язку може бути визначена з аналізу існуючої функціональної залежності або дослідних даних (умовних середніх) з подальшою перевіркою знайденої форми за допомогою відомих методів математичної статистики.

Таблиця 3.6. Подвійна кореляційна таблиця зв'язку  $\omega/p_y = f(\alpha)$ .

$(w/p_y)_i \backslash \alpha$	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	$n_i$
1,2						2	2	4
3,2				1	2	8		11
5,2			1	1	10	1		13
7,2		1	1	20	1			23
9,2		2	10	1				13
11,2		8	1					9
13,2	2	1						3
$n_a$	2	12	13	23	13	11	2	76
$(w/p_y)_a$	13,20	10,70	8,89	7,03	5,05	3,02	1,20	

На підставі даних табл. 3.7 обчислюємо такі показники:

1) Повні середні (табл. 3.7):

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \alpha = \frac{1}{76} 75,6 = 0,995; \quad \left( \frac{\bar{\omega}}{p_y} \right) = \frac{1}{n} \sum n_i \left( \frac{\omega}{p_y} \right) = \frac{1}{76} 533,2 = 7,016.$$

2) Стандарти:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \alpha^2 - \bar{\alpha}^2} = \sqrt{\frac{1}{76} 81,36 - 0,995^2} = 0,285,$$

$$\sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_i \left(\frac{\omega}{p_y}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{76} 4414,24 - 7,016^2} = 2,977.$$

Таблиця 3.7. Обчислення до виводу зв'язку  $\omega/p_y = f(\alpha)$ .

$\alpha$	$n_a$	$n_a \cdot \alpha$	$\alpha^2$	$n_a \cdot \alpha^2$	$(w/p_y)_i$	$n_i$	$n_i \cdot (w/p_y)$	$(w/p_y)^2$	$n_i \cdot (w/p_y)^2$
0,4	2	0,8	0,16	0,32	1,2	4	4,80	1,44	5,76
0,6	12	7,2	0,36	4,32	3,2	11	35,20	10,24	112,64
0,8	13	10,4	0,64	8,32	5,2	13	67,60	27,04	351,52
1,0	23	23,0	1,00	23,00	7,2	23	165,60	51,84	1192,32
1,2	13	15,6	1,44	18,72	9,2	13	119,60	84,64	1100,32
1,4	11	15,4	1,96	21,56	11,2	9	100,80	125,44	1128,96
1,6	2	3,2	2,56	5,12	13,2	3	39,60	174,24	522,72
$\Sigma$	<b>76</b>	<b>75,6</b>	<b>8,12</b>	<b>81,36</b>		<b>76</b>	<b>533,2</b>	<b>474,88</b>	<b>4414,24</b>

3) Коваріація (табл. 3.8):

$$\mu_{\Pi} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha,i} \alpha \left(\frac{\omega}{p_y}\right) - \bar{\alpha} \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right) = \frac{1}{76} 470,72 - 0,995 \cdot 7,016 = -0,79.$$

4) Коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\mu_{\Pi}}{\sigma_{\alpha} \sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}} = \frac{-0,79}{0,285 \cdot 2,977} = -0,927.$$

При невеликому числі спостережень або при малому значенні коефіцієнта кореляції припадає сумнів в реальності зв'язку між досліджуваними ознаками. Значимість коефіцієнта кореляції визначаємо по співвідношенню:

$$|r| \sqrt{n-1} = 0,927 \sqrt{76-1} = 8,025 > 3.$$

Коефіцієнт кореляції задовольняє умові і його можна вважати значущим і зв'язок реальним.

Таблиця 3.8. Обчислення до виводу зв'язку  $\omega/p_y = f(\alpha)$ 

$\alpha$	$(w/p_y)$	$\alpha \cdot (w/p_y)$	$n_{\alpha,i}$	$n_{\alpha,i} \cdot \alpha \cdot (w/p_y)$
0,4	13,20	5,28	2	10,56
0,6	7,20	4,32	1	4,32
0,6	9,20	5,52	2	11,04
0,6	11,20	6,72	8	53,76
0,6	13,20	7,92	1	7,92
0,8	5,20	4,16	1	4,16
0,8	7,20	5,76	1	5,76
0,8	9,20	7,36	10	73,60
0,8	11,20	8,96	1	8,96
1,0	3,20	3,20	1	3,20
1,0	5,20	5,20	1	5,20
1,0	7,20	7,20	20	144,00
1,0	9,20	9,20	1	9,20
1,2	3,20	3,84	2	7,68
1,2	5,20	6,24	10	62,40
1,2	7,20	8,64	1	8,64
1,4	1,20	1,68	2	3,36
1,4	3,20	4,48	8	35,84
1,4	5,20	7,28	1	7,28
1,6	1,20	1,92	2	3,84
$\Sigma$			<b>76</b>	<b>470,72</b>

Для визначення форми зв'язку знайдемо кореляційне відношення  $\eta$  і порівняємо його з обчисленим значенням коефіцієнта кореляції  $r$ .

5) Кореляційне відношення:

$$\eta = \frac{\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)}{\sigma\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}, \quad (3.5)$$

Знаходимо (табл. 3.9):

$$\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{76} 4319,838 - 7,016^2} = 2,76,$$

отже,

$$\eta = \frac{2,76}{2,977} = 0,9273.$$

Таблиця 3.9. Обчислення кореляційного відношення.

$\alpha$	$(w/p_y)_a$	$(w/p_y)_a^2$	$n_{\alpha,i}$	$n_{\alpha,i} \cdot (w/p_y)_a^2$
0,4	13,20	174,240	2	348,480
0,6	10,70	114,490	12	1373,880
0,8	8,89	79,073	13	1027,951
1	7,03	49,366	23	1135,416
1,2	5,05	25,464	13	331,028
1,4	3,02	9,109	11	100,204
1,6	1,20	1,440	2	2,880
$\Sigma$		<b>453,182</b>	<b>76</b>	<b>4319,838</b>

Далі знаходимо допоміжні показники:

$$\xi_1^2 = \frac{n \cdot (\eta^2 - r^2) \cdot \sigma_{\left(\frac{w}{p_y}\right)}^2}{S - 2} = \frac{76 \cdot (0,9273^2 - 0,9277^2) \cdot 2,977^2}{7 - 2} = 0,149,$$

$$\xi_2^2 = \frac{n \cdot (1 - \eta^2) \cdot \sigma_{\left(\frac{w}{p_y}\right)}^2}{n - S} = \frac{76 \cdot (1 - 0,9273^2) \cdot 2,977^2}{76 - 7} = 1,368,$$

де  $S$  – число стовпчиків кореляційної таблиці;

$n$  – кількість вимірів.

б) Знаходимо значення  $T_\eta$ :

$$T_\eta = \frac{\xi_2^2}{\xi_1^2} = \frac{1,368}{0,149} = 9,181.$$

7) Ступені свободи

$$K_1 = S - 2 = 7 - 2 = 5, K_2 = n - S = 76 - 7 = 59.$$

По таблиці розподілу знайдемо табличне значення  $T_{\text{табл}} = 4,3$ .

Як видно  $T_{\text{табл}} < T_\eta$ , тоді між  $\eta$  і  $r$  є істотна розбіжність, що вказує на існування нелінійного зв'язку.

### 3.8. Виведення рівняння основної енергетичної характеристики

Після того, як доведена реальність існування енергетичної характеристики заводу і встановлена її форма можна вивести рівняння кореляційного зв'язку в явній формі.

Припустимо, що зв'язок може бути представлений гіперболічним поліномом другого ступеня щодо змінної  $x$ .

$$Y_p = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2, \quad (3.6)$$

$$\text{де } Y_p = \left( \frac{\omega}{p_y} \right)_p; \quad x_i = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}.$$

Щоб обчислити невідомі коефіцієнти  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  використовуємо метод найменших квадратів.

Складаємо систему нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_0 n + a_1 \sum n_x \cdot x + a_2 \sum n_x \cdot x^2 + a_3 \sum n_x \cdot x^3 &= \sum n_x \cdot \bar{Y}_h \\ a_0 \sum n_x + a_1 \sum n_x \cdot x^2 + a_2 \sum n_x \cdot x^3 + a_3 \sum n_x \cdot x^4 &= \sum n_x \cdot \bar{Y}_h \cdot x \\ a_0 \sum n_x \cdot x^2 + a_1 \sum n_x \cdot x^3 + a_2 \sum n_x \cdot x^4 + a_3 \sum n_x \cdot x^5 &= \sum n_x \cdot \bar{Y}_h \cdot x^2 \\ a_0 \sum n_x \cdot x^3 + a_1 \sum n_x \cdot x^4 + a_2 \sum n_x \cdot x^5 + a_3 \sum n_x \cdot x^6 &= \sum n_x \cdot \bar{Y}_h \cdot x^3 \end{aligned} \right\}, \quad (3.7)$$

Введемо в систему рівнянь дослідні дані з таблиці, отримані на основі показників, приведених у подвійній кореляційній таблиці.

Таблиця 3.10. Обчислення коефіцієнту до розв'язку рівнянь

$\alpha$	$x = 1/\sqrt{\alpha}$	$n_x$	$n_x \cdot x$	$x^2$	$n_x \cdot x^2$	$x^3$	$n_x \cdot x^3$
0,4	1,58	2	3,16	2,5	5	3,95	7,9
0,6	1,29	12	15,49	1,667	20	2,15	25,8
0,8	1,12	13	14,53	1,3	16,25	1,40	18,2
1,0	1,00	23	23,00	1	23	1,00	23,0
1,2	0,91	13	11,87	0,833	10,8333	0,76	9,9
1,4	0,85	11	9,30	0,7	7,86	0,60	6,6
1,6	0,79	2	1,58	0,6	1,25	0,49	1,0
$\Sigma$		<b>76</b>	<b>78,934</b>		<b>84,190</b>		<b>92,412</b>

Продовження табл. 3.10.

$x^4$	$n_x \cdot x^4$	$x^5$	$n_x \cdot x^5$	$x^6$	$n_x \cdot x^6$
6,3	12,5	9,88	19,76	15,625	31,25
2,8	33,333333	3,59	43,03	4,62963	55,56
1,6	20,3	1,75	22,71	1,95313	25,39
1,0	23	1,00	23,00	1	23,00
0,7	9,0277778	0,63	8,24	0,5787	7,52
0,5	5,61	0,43	4,74	0,36443	4,01
0,4	0,78	0,31	0,62	0,24414	0,49
	<b>104,567</b>		<b>122,109</b>		<b>147,216</b>

Продовження табл. 3.10.

$\bar{Y}_h$	$n_x \bar{Y}_h$	$n_x x \bar{Y}_h$	$n_x x^2 \bar{Y}_h$	$n_x x^3 \bar{Y}_h$
13,2	26,4	41,74	66	104,36
10,7	128,4	165,76	214	276,27
8,9	115,6	129,24	144,50	161,56
7,0	161,6	161,60	161,6	161,60
5,0	65,6	59,88	54,66667	49,90
3,0	33,2	28,06	23,71429	20,04
1,2	2,4	1,90	1,50	1,19
	<b>533,200</b>	<b>588,191</b>	<b>665,981</b>	<b>774,916</b>

Отримана система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} 76a_0 + 78,934a_1 + 84,190a_2 + 92,412a_3 &= 533,2 \\ 78,934a_0 + 84,190a_1 + 92,412a_2 + 104,567a_3 &= 588,191 \\ 84,190a_0 + 92,412a_1 + 104,567a_2 + 122,109a_3 &= 665,981 \\ 92,412a_0 + 104,567a_1 + 122,109a_2 + 147,216a_3 &= 774,916 \end{aligned} \right\}$$

Розв'язавши цю систему рівнянь першого, другого та третього порядку:

$$M_3 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 & 84,190 & 92,412 \\ 78,934 & 84,190 & 92,412 & 104,567 \\ 84,190 & 92,412 & 104,567 & 122,109 \\ 92,412 & 104,567 & 122,109 & 147,216 \end{pmatrix}$$

$$N_3 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \\ 665,981 \\ 774,916 \end{pmatrix}, A_3 = M_3^{-1} N_3 = \begin{pmatrix} -73,614 \\ 170,175 \\ -118,213 \\ 28,651 \end{pmatrix},$$

$$M2 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 & 84,190 \\ 78,934 & 84,190 & 92,412 \\ 84,190 & 92,412 & 104,567 \end{pmatrix}, N2 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \\ 665,981 \end{pmatrix}, A2 = M2^{-1}N2 = \begin{pmatrix} -30,826 \\ 55,243 \\ -17,633 \end{pmatrix},$$

$$M1 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 \\ 78,934 & 84,190 \end{pmatrix}, N1 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \end{pmatrix}, A1 = M1^{-1}N1 = \begin{pmatrix} -9,157 \\ 15,572 \end{pmatrix}.$$

Отримаємо значення невідомих:

$a_0 = -75,614$	$a_0 = -30,826$	$a_0 = -9,157$
$a_1 = 170,175$	$a_1 = 55,243$	$a_1 = 15,572$
$a_2 = -118,213$	$a_2 = -17,633$	
$a_3 = 28,651$		

Розв'язок має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} y &= -9,157 + 15,572x \\ y &= -30,826 + 55,243x - 17,633x^2 \\ y &= -73,614 + 170,175x - 118,213x^2 + 28,651x^3 \end{aligned} \right\}$$

### 3.9. Обчислення похибки рівняння зв'язку

На додатних до статичних оцінок виведених характеристик необхідно для зіставлення розрахункових і дослідних даних визначити середню квадратичну похибку на одиницю ваги (%) за виразом:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum \left[ \frac{Y_p - \bar{Y}_x}{Y_p} 100 \right]^2} n_A, \quad (3.8)$$

де :  $n$  – загальне число дослідних даних;

$k$  – число невідомих, що визначалися для даного виду зв'язку;

$Y_p$  – розрахункове значення відношення  $\left( \frac{\omega}{p_y} \right)$  при даному  $\alpha$ ;

$\bar{Y}_x$  – досвідчене значення відношення  $\left( \frac{\omega}{p_y} \right)$  при даному  $\alpha$ .

Обчислення для кожного рівняння приводиться у табл. 3.11–3.16.

Рівняння першого порядку:  $Y_p = -9,157 + 15,572a^{-\frac{1}{2}}$

Таблиця 3.11. Обчислення значень  $Y_p$  для рівняння першого порядку

$\alpha$	$Y_p$
0,4	15,465
0,6	10,946
0,8	8,253
1	6,415
1,2	5,058
1,4	4,004
1,6	3,154

Таблиця 3.12. Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки рівняння першого порядку

$Y_p$	$Y_h$	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	$n_\alpha$	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
15,465	13,2	-2,265	-14,6432	214,423	2	428,846
10,946	10,7	-0,246	-2,2507	5,06547	12	60,786
8,253	8,89231	0,6393	7,74604	60,0011	13	780,014
6,415	7,02609	0,6111	9,5259	90,7429	23	2087,087
5,0582	5,04615	-0,0121	-0,2387	0,05696	13	0,7405
4,0037	3,01818	-0,986	-24,616	605,946	11	6665,41
3,1538	1,2	-1,954	-61,950	3837,81	2	7675,611
				$\Sigma =$	<b>76</b>	<b>17698,493</b>

Рівняння другого порядку:  $Y_p = -30,826 + 55,243a^{-\frac{1}{2}} - 17,633a^{-1}$

Таблиця 3.13. Обчислення значень  $Y_p$  для рівняння другого порядку

$\alpha$	$Y_p$
0,4	12,4384
0,6	11,1041
0,8	8,8963
1	6,784
1,2	4,90956
1,4	3,26786
1,6	1,8268

Таблиця 3.14. Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки рівняння другого порядку

$Y_p$	$Y_h$	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	$n_\alpha$	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
12,4384	13,2	0,76165	6,123380218	37,4958	2	74,991571
11,1041	10,7	-0,4041	-3,638962012	13,242	12	158,90453
8,8963	8,89231	-0,004	-0,044894478	0,00202	13	0,0262017
6,784	7,02609	0,24209	3,568498769	12,7342	23	292,88622
4,90956	5,04615	0,13659	2,782157967	7,7404	13	100,62524
3,26786	3,01818	-0,2497	-7,640319465	58,3745	11	642,1193
1,8268	1,2	-0,6268	-34,31140711	1177,27	2	2354,5453
				$\Sigma =$	<b>76</b>	<b>3624,0984</b>

Рівняння третього порядку:

$$Y_p = -73,614 + 170,175a^{\frac{1}{2}} - 118,213a^{-1} + 28,615a^{\frac{3}{2}}$$

Таблиця 3.15. Обчислення значень  $Y_p$  для рівняння третього порядку

$\alpha$	$Y_p$
0,4	13,1768
0,6	10,7065
0,8	8,9222
1	6,9990
1,2	5,0185
1,4	3,0683
1,6	1,1947

Таблиця 3.16. Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки рівняння третього порядку

$Y_p$	$Y_h$	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	$n_\alpha$	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
13,17682196	13,2	0,02318	0,17590007	0,03094	2	0,06188167
10,70645023	10,7	-0,0065	-0,06024622	0,00363	12	0,04355528
8,9221738	8,892308	-0,0299	-0,33474026	0,11205	13	1,45666354
6,999	7,026087	0,02709	0,38701181	0,14978	23	3,44489723
5,018531199	5,046154	0,02762	0,55041298	0,30295	13	3,93840787
3,068349979	3,018182	-0,0502	-1,6350208	2,67329	11	29,4062232
1,194652899	1,2	0,00535	0,44758618	0,20033	2	0,40066677
				$\Sigma =$	<b>76</b>	<b>38,7523</b>

За підсумками таблиці визначаємо похибку для кожного виду рівняння:

$$\sigma_1 \% = \sqrt{\frac{1}{76-2} 17698,493} = 15,47\% ,$$

$$\sigma_2 \% = \sqrt{\frac{1}{76-2} 3624,1} = 7,05\% ,$$

$$\sigma_3 \% = \sqrt{\frac{1}{76-2} 38,75} = 0,73\% .$$

Виходячи з того, що для рівняння третього порядку похибку найменша, рівняння основної енергетичної характеристики має вигляд:

$$V_p = -73,614 + 170,175a^{\frac{1}{2}} - 118,213a^{-1} + 28,615a^{\frac{3}{2}}$$

або

$$\left( \frac{\omega}{p_y} \right)_p = -73,614 + 170,175a^{\frac{1}{2}} - 118,213a^{-1} + 28,615a^{\frac{3}{2}}$$

Помноживши це рівняння на  $\alpha$ , отримаємо залежність:

$$24 \cdot K_g = -73,614a + 170,175a^{\frac{1}{2}} - 118,213 + 28,615a^{\frac{1}{2}}$$

Питоме споживання електроенергії при відповідному значенні питомої встановленої потужності:

$$\omega = \left( -73,614 + 170,175a^{\frac{1}{2}} - 118,213a^{-1} + 28,615a^{\frac{3}{2}} \right)_{p_y}$$

$$p_{y1} = 150 \text{ в.о.}; p_{y1} = 270 \text{ в.о.}; p_{y1} = 400 \text{ в.о.}$$

По цих рівняннях будемо графіки:

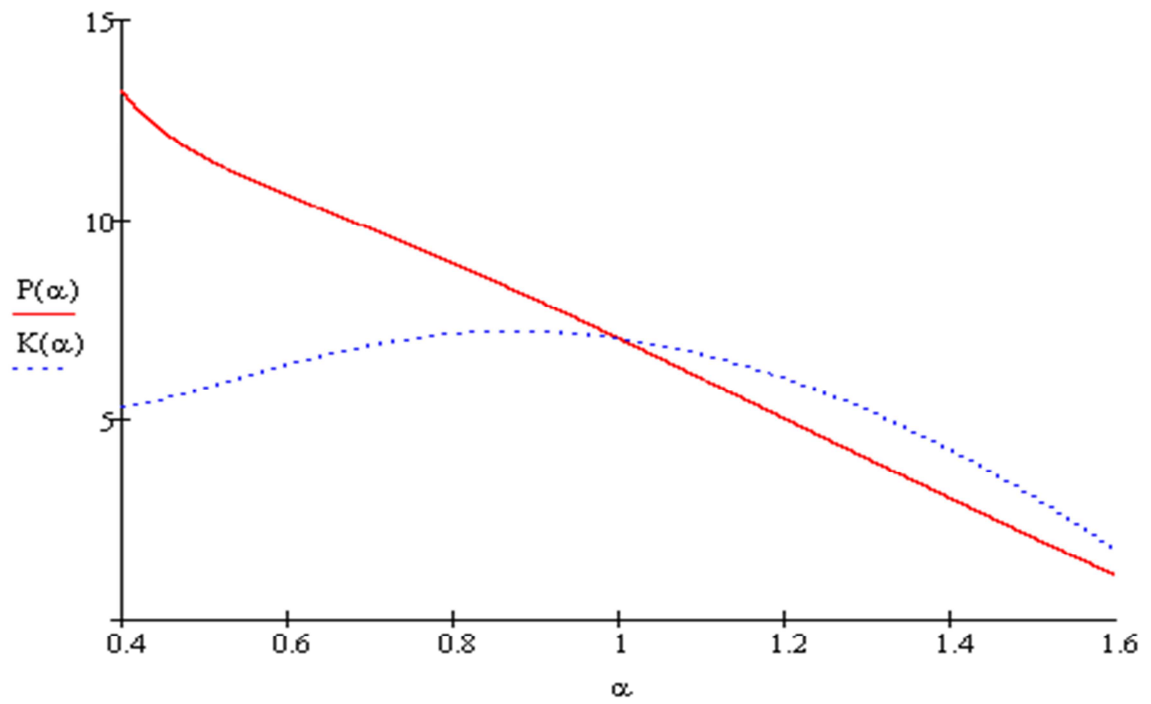


Рис. 3.2. Графіки залежності  $\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = f(\alpha)$ ,  $K_b = f(\alpha)$ .

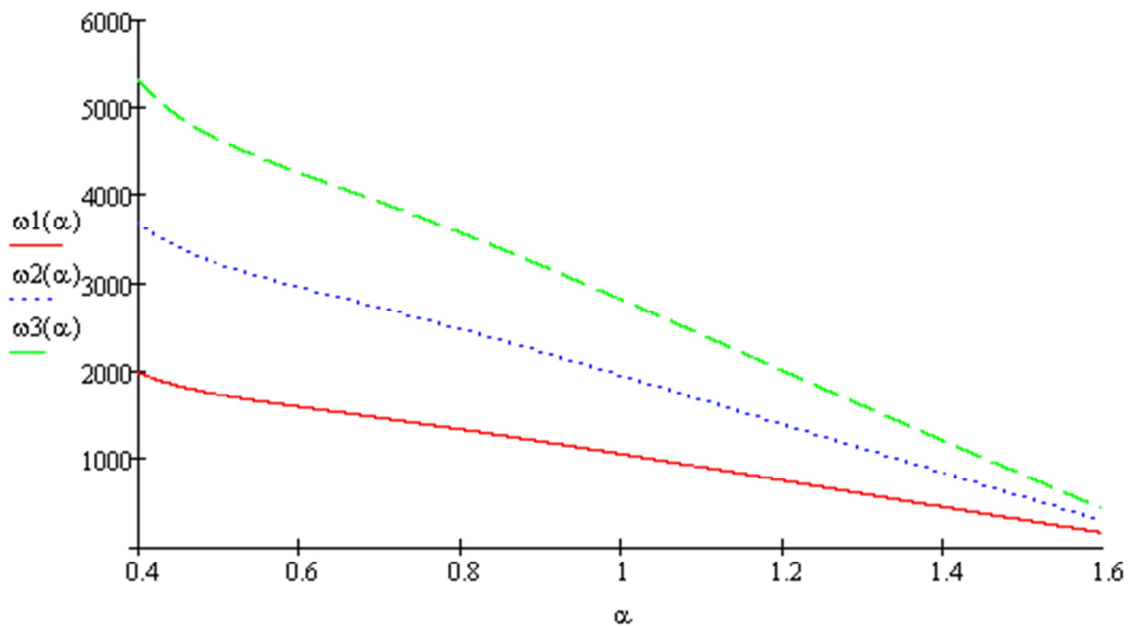


Рис. 3.3. Графіки залежності  $\omega = f(\alpha)$ .

## РОЗДІЛ 4

### ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДПРИЄМСТВ З МАСОВИМ ВИПУСКОМ ПРОДУКЦІЇ

#### 4.1. Постановка задачі та початкові дослідні дані ПАТ “НВП “Радій”

Для виробничих цехів і фабрики в цілому можна побудувати залежності між загальним і питомим споживанням електричної енергії і їх продуктивністю. Ця залежність може бути отримана і як функціональна. Але, беручи до уваги вплив ряду другорядних випадкових факторів, які на практиці вносять похибку в функціональну залежність між головними факторами, функціональним залежностям протистоять основані на дослідних даних статистичні зв'язки.

В подальшому приймається, що енергетичні характеристики є багатовимірними статистичними зв'язками і на цьому принципі оснований вивід методами математичної статистики розрахунково-дослідних зв'язків між споживанням електроенергії і продуктивністю головних виробничих цехів і в цілому по ПАТ “НВП “Радій”. Статистичні дані по змінному та добовому електроспоживанню і випуску продукції по фабриці за липень – вересень (літні заміри) наведені в табл. 4.1. По отриманій початковій інформації складена кореляційна табл. 4.2, яка є основою для подальших розрахунків.

#### 4.2. Залежність загальних витрат електроенергії від кількості випущеної продукції

В основу виведення розрахунково-дослідних зв'язків між загальними витратами електроенергії і випущеної продукції в тис. шт. покладена залежність:

$$W = f(A), \tag{4.1}$$

де  $W$  – загальні витрати електроенергії по цеху, тис. кВт. година/доба;

$A$  – добовий випуск продукції, тис. шт.

Щоб знайти статистичний зв'язок виду (4.1), треба вирішити дві задачі: визначити форму зв'язку і встановити її міць. Форма зв'язку може бути визначена з аналізу існуючої функціональної залежності або дослідних даних по розташуванню дослідних даних (умовних середніх) на графіку з подальшою перевіркою знайденої форми за допомогою відомих методів математичної статистики.

Аналіз дослідних даних дозволяє стверджувати, що кореляційні зв'язки (4.1) можуть бути наближено представлені прямою лінією виду:

$$W = b \cdot A + W_{\text{пост}} \text{ тис.кВт} \cdot \text{год/доба.} \quad (4.2)$$

Дослідні дані по добовому електроспоживанню і випуску продукції наведені в табл. 4.1, на основі якої побудована кореляційна табл. 4.2, яка являється основою для виведення зв'язку (4.1) методами математичної статистики. З кореляційної табл. 4.2 визначаємо показники статистичного зв'язку:

1) повні середні

$$\bar{A} = \frac{\sum n_A A_h}{n} = \frac{3528}{58} = 60,82759 \text{ тис. шт.},$$

$$\bar{W} = \frac{\sum n_W \cdot W_i}{n} = \frac{195,4}{58} = 3,36896 \frac{\text{тис.кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}.$$

2) середні квадратичні відхилення (стандарти)

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A A_h^2 - \bar{A}^2} = \sqrt{\frac{1}{58} 217000 - 60,82759^2} = 6,433 \text{ тис. шт.},$$

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_W W_i^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{58} 664,84 - 3,36896^2} = 0,3359 \frac{\text{тис.кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}.$$

3) коваріація

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \cdot \sum n_{h,i} A'_h W'_i - \bar{A} \bar{W} = \frac{1}{58} 12001,2 - 60,82759 \cdot 3,36896 = 1,9915$$

4) коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_A \cdot \sigma_W} = \frac{1,9915}{6,433 \cdot 0,3359} = 0,70305.$$

Таблиця 4.1. Витрати електроенергії та випуск продукції по ПАТ “НВП “Радій”

Дата	I зміна		II зміна		Всього по заводу	
	витрати електроенергії кВт·год	випуск продукції, тис.шт.	витрати електроенергії кВт·год	випуск продукції, тис.шт.	витрати електроенергії кВт·год	випуск продукції, тис.шт.
1	2	3	4	5	6	7
12.07	2088	41,24	1841	33,02	3929	74,26
13.07	2041	38,14	1796	30,61	3837	68,75
14.07	1440	25,54	1009	21,59	2449	48,13
15.07	453	-	453	-	906	-
16.07	453	-	453	-	906	-
17.07	1728	29,91	1231	22,84	2959	52,75
18.07	1601	28,13	1220	22,78	2821	50,91
19.07	1613	28,80	1220	22,78	2833	51,58
20.07	1896	33,15	1631	28,95	3527	62,10
21.07	1840	33,01	1659	29,97	3499	62,98
22.07	472	-	472	-	944	-
23.07	472	-	472	-	944	-
24.07	1844	33,10	1541	27,37	3385	60,47
25.07	1901	34,60	1639	28,95	3540	63,55
26.07	1908	34,61	1611	28,79	3519	63,40
27.07	1841	33,01	1611	28,79	3452	61,80

Продовження табл. 4.1.

1	2	3	4	5	6	7
28.07	1653	28,94	1351	26,07	3004	55,01
29.07	481	-	481	-	962	-
30.07	481	-	481	-	962	-
31.07	2039	38,12	1836	32,64	3875	70,76
01.08	2081	40,96	1831	32,61	3912	73,57
02.08	1996	38,04	1730	29,91	3726	67,95
03.08	1850	33,06	1659	29,97	3509	63,03
04.08	1659	29,97	1430	26,48	3089	56,45
05.08	479	-	479	-	958	-
06.08	479	-	479	-	958	-
07.08	1691	30,08	1430	26,48	3121	56,56
08.08	1720	29,90	1540	27,81	3260	57,71
09.08	1751	29,93	1558	27,83	3309	57,76
10.08	1801	31,18	1638	28,97	3439	60,15
11.08	1678	28,98	1421	26,40	3099	55,38
12.08	461	-	461	-	922	-
13.08	461	-	461	-	922	-
14.08	1820	31,54	1631	28,97	3451	60,51
15.08	1906	34,61	1743	29,85	3649	64,46
16.08	1906	34,61	1726	29,83	3632	64,44
17.08	2015	38,03	1830	32,51	3845	70,54
18.08	1701	29,78	1520	26,41	3221	56,19
19.08	438	-	438	-	876	-
20.08	438	-	438	-	876	-

Продовження табл. 4.1.

1	2	3	4	5	6	7
21.08	2001	37,51	1861	33,62	3862	71,13
22.08	1898	34,59	1643	28,98	3541	63,57
23.08	1956	37,63	1742	29,85	3698	67,48
24.08	1930	37,59	1740	29,85	3670	67,44
25.08	1703	29,78	1555	27,83	3258	57,61
26.08	456	-	456	-	912	-
27.08	456	-	456	-	912	-
28.08	1931	34,71	1775	30,48	3706	65,19
29.08	1800	31,17	1641	28,98	3441	60,15
30.08	1775	30,48	1541	27,81	3316	58,29
31.08	1831	31,45	1634	28,97	3465	60,42
01.09	1896	33,15	1631	28,95	3527	62,10
02.09	479	-	479	-	958	-
03.09	479	-	479	-	958	-
04.09	1440	26,54	1220	22,78	2660	49,32
05.09	1613	28,80	1455	26,39	3068	55,19
06.09	1613	28,80	1224	22,78	2837	51,58
07.09	1840	33,01	1658	29,97	3498	62,98
08.09	1844	33,10	1543	27,38	3387	60,48
09.09	461	-	461	-	922	-
10.09	461	-	461	-	922	-
11.09	1720	29,90	1230	22,84	2950	52,74
12.09	1751	29,93	1237	22,79	2988	52,72
13.09	1678	28,98	1354	26,08	3032	55,06

Продовження табл. 4.1.

1	2	3	4	5	6	7
14.09	1801	31,18	1630	28,95	3431	60,13
15.09	1800	31,18	1624	28,93	3424	60,11
16.09	453	-	453	-	906	-
17.09	453	-	453	-	906	-
18.09	1844	33,10	1541	27,37	3385	60,47
19.09	1993	34,03	1729	29,90	3722	63,93
20.09	1996	34,04	1729	29,90	3725	63,94
21.09	2081	40,95	1834	32,63	3915	73,58
22.09	2041	38,14	1796	30,61	3837	68,75
23.09	461	-	461	-	922	-
24.09	461	-	461	-	922	-
25.09	1931	34,71	1775	30,48	3706	65,19
26.09	1850	33,06	1658	29,97	3508	63,03
27.09	1720	29,90	1540	27,81	3260	57,71
28.09	1720	29,90	1536	27,80	3256	57,70
29.09	1539	27,81	1402	26,36	2941	54,17
30.09	438	-	438	-	876	-

Таблиця 4.2. Кореляційна таблиця до виводу зв'язку  $W = f(A)$  заводу

$W_i \backslash A_h$	Виробництво заводу, $A_h$ , тис. шт./доба											
	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	$n_w$
2,4	1											1
2,8	4											4
3,0	3	7										10
3,2		1	5									6
3,4			1	9	3	2						15
3,6					2	5	1	2				10
3,8						2	1	3	2	1	3	12
$n_A$	8	8	6	9	5	9	2	5	2	1	3	58
$\bar{W}_h$	2,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	

Таблиця 4.3. Обчислення до визначення показників зв'язку  $W = f(A)$ .

$n_A$	$A_h$	$n_A \cdot A_h$	$A_h^2$	$n_A \cdot A_h^2$	$n_W$	$W_i$	$n_W \cdot W_i$	$W_i^2$	$n_W \cdot W_i^2$
8	50	400	2500	20000	1	2,4	2,4	5,76	5,76
8	56	448	3136	25088	4	2,8	11,2	7,84	31,36
6	58	348	3364	20184	10	3,0	30	9,0	90
9	60	540	3600	32400	6	3,2	19,2	10,24	61,44
5	62	310	3844	19220	15	3,4	51	11,56	173,4
9	64	576	4096	36864	10	3,6	36	12,96	129,6
2	66	132	4356	8712	12	3,8	45,6	14,44	173,28
5	68	340	4624	23120					
2	70	140	4900	9800					
1	72	72	5184	5184					
3	74	222	5476	16428					
		3528		217000			198,4		664,84

Таблиця 4.4. Обчислення до визначення показників зв'язку  $W = f(A)$ .

$n_{h,i}$	$A_h$	$W_i$	$n_{h,i}A_hW_i$
1	50	2,4	120
4	50	2,8	560
3	50	3,0	450
7	56	3,0	1176
1	56	3,2	179,2
5	58	3,2	928
1	58	3,4	197,2
9	60	3,4	1836
3	62	3,4	632,4
2	62	3,6	446,4
2	64	3,4	435,2
5	64	3,6	1152
2	64	3,8	486,4
1	66	3,6	237,6
1	66	3,8	250,8
2	68	3,6	489,6
3	68	3,8	775,2
2	70	3,8	532
1	72	3,8	273,6
3	74	3,8	843,6
			12001,2

Коефіцієнт кореляції оцінюється за відношенням

$$|r| \cdot \sqrt{n-1} = 0,70305 \cdot \sqrt{58-1} = 5,308 > 3,$$

чим визначається його значимість і реальність існування встановленого зв'язку;

5) кореляційні відношення

$$\eta = \frac{\sigma_{\bar{W}}}{\sigma_W} = \frac{0,297067}{0,3359} = 0,88619,$$

де

$$\sigma_{\bar{W}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A \bar{W}_h^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{58} 660,56 - 3,36896^2} = 0,297067;$$

б) знаходимо допоміжний критерій

$$\xi_1^2 = \frac{n \cdot (\eta^2 - r^2) \cdot \sigma_W^2}{S - 2} = \frac{58 \cdot (0,88619^2 - 0,70305^2) \cdot 0,3359^2}{11 - 2} = 0,2116;$$

Таблиця 4.5. Обчислення кореляційного відношення

$\bar{W}_h$	$\bar{W}_h^2$	$n_A$	$n_A \bar{W}_h^2$
2,8	7,84	8	62,72
3,0	9	8	72
3,2	10,24	6	61,44
3,4	11,56	9	104,04
3,5	12,25	5	61,25
3,6	12,96	9	116,64
3,7	13,69	2	27,38
3,7	13,69	5	68,45
3,8	14,44	2	28,88
3,8	14,44	1	14,44
3,8	14,44	3	43,32
		58	660,56

$$\xi_2^2 = \frac{n \cdot (1 - \eta^2) \cdot \sigma_W^2}{n - S} = \frac{58 \cdot (1 - 0,88619^2) \cdot 0,3359^2}{58 - 11} = 0,1029;$$

$$T_\eta = \frac{(s - 2) \cdot (1 - \eta^2)}{(n - s) \cdot (\eta^2 - r^2)} = \frac{\xi_1^2}{\xi_2^2} = \frac{0,2116}{0,1029} = 2,056.$$

Крім того, ступені свободи  $K_1$  та  $K_2$  дорівнюють

$$K_1 = S - 2 = 11 - 2 = 9, K_2 = n - S = 58 - 11 = 47,$$

де  $S$  – число строків кореляційної табл. 4.2.

При 5 % межі по значенням  $K_1$  і  $K_2$  знаходимо  $T_{\text{табл}} = 2,09$ , тобто  $T_\eta < T_{\text{табл}}$ . Отже, це вказує на те, що розходження між співвідношенням і коефіцієнтом кореляції можна вважати випадковим, а регресію – прямолінійною;

7) коефіцієнт регресії

$$\rho = r \frac{\sigma_W}{\sigma_A} = 0,70305 \frac{0,3359}{6,433} = 0,03671.$$

Використовуючи отримані величини складаємо рівняння регресії

$$W - \bar{W} = \rho \cdot (A - \bar{A}),$$

або

$$W = 0,03671 \cdot A - 0,03671 \cdot 60,82759 + 3,36896 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$$

$$W = 36,71 \cdot A + 1135,79 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$$

По (4.2), задаючись значеннями випуску продукції отримаємо значення загальних витрат електроенергії по заводу. Дані розрахунку приведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Допоміжна таблиця для обчислення середньоквадратичної похибки

$\bar{W}_h$	$W_A$	$\bar{W}_h - W_A$	$\frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100$	$\left[ \frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100 \right]^2$	$\left[ \frac{\bar{W}_h - W_A}{W_A} 100 \right]^2 n_A$	$\bar{W}_h$
2,971	2,8	0,171	5,75	33,06	8	264,48
3,192	3,0	0,192	6,015	36,18	8	289,44
3,265	3,2	0,065	1,99	3,96	6	23,76
3,339	3,4	0,061	1,82	3,31	9	29,79
3,412	3,5	0,088	2,58	6,65	5	33,25
3,485	3,6	0,115	3,3	10,89	9	98,01
3,558	3,7	0,142	3,99	15,93	2	31,86
3,632	3,7	0,068	1,87	3,5	5	17,5
3,705	3,8	0,095	2,56	6,57	2	13,14
3,779	3,8	0,021	0,556	0,31	1	0,31
3,852	3,8	0,052	1,35	1,82	3	5,46
					58	807

Енергетична характеристика, побудована по результатам вище вказаних розрахунків, приведено на рис. 4.1.

Оцінку похибки між розрахунковими значеннями електроспоживання, розраховані за (4.2) енергетичної характеристики і дослідних значень в кореляційній табл. 4.2 зручно виконати по середньоквадратичному відхиленню на одиницю ваги шуканого зв'язку по формулі:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-c} \sum \left[ \frac{W_A - \bar{W}_h}{W_A} 100 \right]^2 n_A} = \sqrt{\frac{1}{58-2} 807} = 3,796\%$$

де  $W$  – розрахункові значення електроспоживання;

$\bar{W}_h$  – дослідні значення електроспоживання;

$c$  – числа невідомих параметрів, що визначаються для даного виду зв'язку.

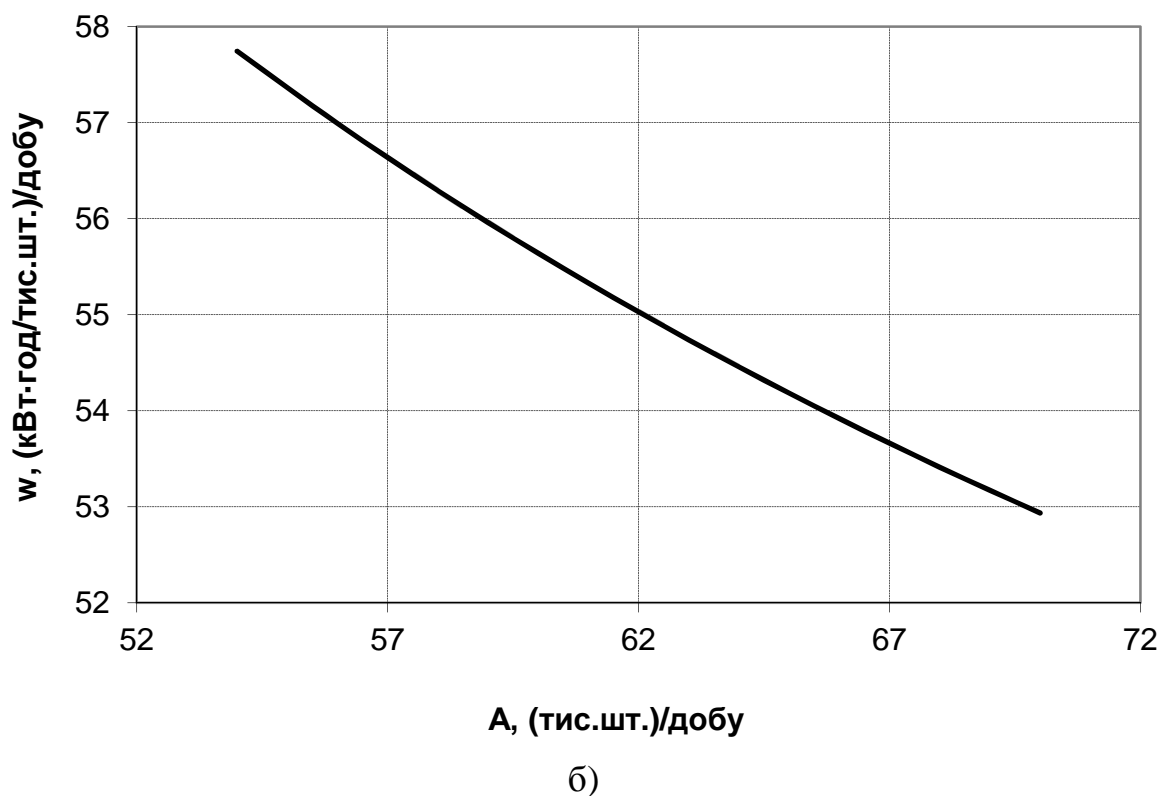
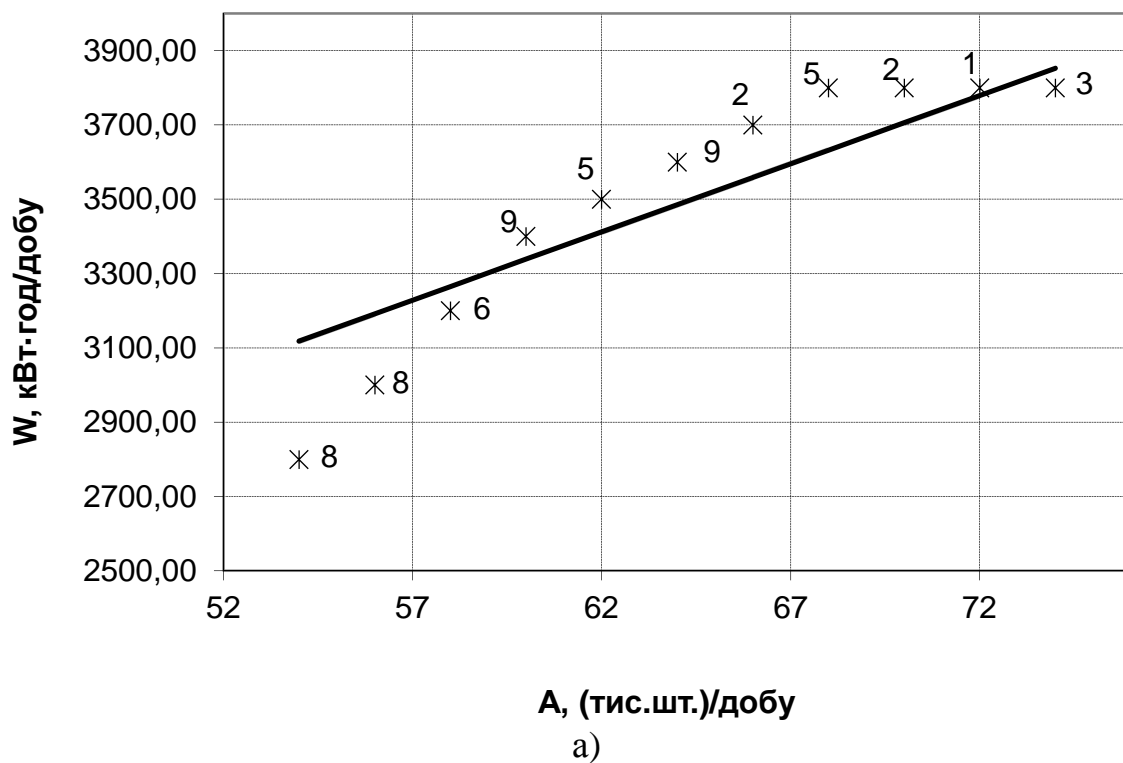


Рис. 4.1. Енергетичні характеристики ПАТ “НВП “Радій”.  
 а) залежність споживання електроенергії від випуску продукції  
 б) залежність питомих витрат електроенергії від випуску продукції  
 Значками ×(3) вказані дослідні точки та їх кількість.

## РОЗДІЛ 5

### ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХАРКІВСЬКОГО ПЛИТКОВОГО ЗАВОДУ

#### 5.1. Вихідні дослідні дані Харківського плиткового заводу

В основу виводу розрахунково-дослідних зв'язків покладено залежність між питомим споживанням електроенергії, віднесеним до питомої установленної потужності  $p_y$  і продуктивністю підприємства вираженою у відносних одиницях  $\alpha$ . Дослідні дані представляють випадкову вибірку з нормальної генеральної сукупності. Об'єм вибірки 45 діб (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Вихідні статистичні дані по електроспоживанню та продукції, що випускається

№ п/п	Витрати електроенергії, кВт·год./доба	Випуск натуральної продукції, м <sup>2</sup> /доба			Випуск продукції в умовних одиницях приведені до 1 м <sup>2</sup> фасадної кераміки, м <sup>2</sup> <sub>ум</sub> /доба			М <sup>2</sup> <sub>ум</sub> /доба
		3	4	5	6	7	8	
1	58310	10799	7503	490	2485	4768	490	77439
2	58320	10733	7585	529	2469	4820	529	7818
3	57600	11545	7189	593	2657	4569	593	7819
4	58032	10719	7292	628	2467	4634	628	7729
5	52900	9542	7213	530	2196	4584	530	7310
6	54700	10121	7314	370	2329	4665	370	7364
7	58020	10947	7292	628	2520	4634	628	7782
8	52900	9542	7213	530	2196	4584	530	7310
9	54700	10121	7341	370	2329	4645	370	7364
10	57600	10394	7134	520	2392	4534	520	7556
11	58100	10198	7845	269	2347	4986	269	7602
12	52800	8503	7336	602	1957	4662	602	7221
13	54600	9382	7241	610	2159	4602	610	7371
14	56100	9898	7311	560	2278	4646	560	7484
15	58320	12021	7999	602	2767	5083	602	8452
16	59040	10635	7575	628	2448	4814	628	7890
17	58320	9755	7473	612	2245	4749	612	7606
18	59040	10079	8133	643	2320	5169	643	8132

Продовження табл. 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	56700	7755	7686	660	1785	4885	660	7330
20	57100	9912	7722	692	2281	4907	692	7880
21	58300	11520	7740	646	2651	4919	646	8216
22	59040	8950	7856	567	2060	4990	567	7617
23	56880	11209	7232	580	2580	4596	580	7756
24	59760	10303	7676	559	2371	4878	559	7808
25	59760	11211	7446	550	2580	4732	550	7862
26	56160	9648	7297	590	2220	4637	590	7447
27	56300	9750	6594	585	2240	4191	585	7020
28	56850	9788	7582	650	2253	4818	650	7721
29	56880	11822	7187	655	2721	4567	655	7943
30	58220	11094	7373	504	2553	4686	504	7743
31	58100	11334	7112	620	2609	4520	620	7749
32	58320	10395	7151	491	2392	4545	491	7428
33	56430	9454	7342	545	2176	4666	545	7387
34	57100	10318	7290	690	2375	4633	690	7698
35	56840	9429	7673	697	2170	4876	697	7743
36	58800	10686	7851	701	2459	4989	701	8149
37	57600	10935	7226	675	2517	4592	675	7784
38	55440	11094	7604	680	2553	4832	680	8065
39	54300	9818	7324	540	2260	4655	540	7455
40	63200	11149	7480	541	2566	4754	541	7861
41	60900	9435	7046	499	2172	4478	499	7149
42	56300	9047	7026	619	2082	4465	619	7166
43	58600	10629	7215	673	2446	4585	673	7704
44	59040	11728	7996	637	2699	5075	637	8411
45	59040	10117	7702	650	2328	4895	650	7873

На Харківському плитковому заводі виробляються три види продукції: метлахська плитка, облицювальна плитка та фасадна кераміка.

Випуск натуральної продукції знімався по кожному виду продукції окремо.

В якості показника нормування приймається умовна величина випуску продукції, виражена в умовних м<sup>2</sup>, приведена по енергоємності к фасадній кераміці, як к найбільш енергоємній.

Переведення натуральних одиниць в умовні виконується за допомогою коефіцієнтів енергоємності.

Для визначення коефіцієнтів енергоємності необхідно попередньо визначити питомі витрати електроенергії на кожен з 3-х видів продукції, що випускається.

Для цього складається вихідна система з 3-х рівнянь вигляду:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= A_1 \cdot x + A_2 \cdot y + A_3 \cdot z \\ W_2 &= A_4 \cdot x + A_5 \cdot y + A_7 \cdot z \\ W_3 &= A_7 \cdot x + A_8 \cdot y + A_9 \cdot z \end{aligned} \right\}, \quad (5.1)$$

де  $A_1, A_2, A_3$  – відповідно метлахська, облицювальна плитка і фасадна кераміка;

$x, y, z$  – питомі витрати електроенергії по видам продукції;

$W$  – добові витрати електроенергії.

Так як в рівняння входить три невідомих, то застосовувалися до вирішення системи трьох рівнянь з трьома невідомими.

Підставляючи в рівняння (5.1) конкретні значення за даними добового обліку маємо для перших трьох діб:

$$\left. \begin{aligned} 58310 &= 10799 \cdot x + 7503 \cdot y + 490 \cdot z \\ 58320 &= 10733 \cdot x + 7585 \cdot y + 529 \cdot z \\ 57600 &= 11545 \cdot x + 7189 \cdot y + 593 \cdot z \end{aligned} \right\}, \quad (5.2)$$

Вирішуючи цю систему методом Гауса маємо:

$$x = 2,15, y = 5,12, z = -6,86.$$

Як видно з отриманого рішення питома витрата на випуск фасадної кераміки  $z = \omega_c$  має від'ємне значення, яке не має фізичного смислу.

Системи типу (5.2) відносяться до погано обумовлених систем, лінійних алгебраїчних рівнянь і, отже, до некоректних зв'язків, рішення яких може бути здійснене після їх, наприклад, регуляції по Тихонову.

Пропонується замінити рішення системи (5.2) методом Гауса рішенням на екстремум функції :

$$E^2 = e = \sum_{i=1}^n [(A_i x + B_i y + C_i z) - W_i]^2 = \min, \quad (5.3)$$

Тобто ставиться задача знайти значення змінних  $x$ ,  $y$ ,  $z$  при яких різниця  $E$  між правою і лівою частиною системи зведеною в квадрат буде мінімальною. Вирішуючи цю задачу, як знаходження екстремуму функції декілька змінних на ПК для рівняння (5.2) були отримані наступні значення питомих витрат електроенергії:

$$x = 1,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2, y = 5,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2, z = 8,15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2.$$

а значення  $E = 780 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ , що складає приблизно 1.4% від величини  $W = 58310 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ .

В подальшому було зіставлено і вирішено 15 таких систем. Їх вирішення дало наступні середні значення питомої витрати електроенергії:

$$\bar{\omega}_A = \bar{x} = 1,799 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2, \bar{\omega}_B = \bar{y} = 4,79 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2, \bar{\omega}_C = \bar{z} = 7,82 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2.$$

Таблиця 5.2. Норми питомих витрат електроенергії

№ п/п	Найменування продукції	Од. вимірювання	Питомі норми
1	Метлахська плитка	кВт·год/м <sup>2</sup>	1,799
2	Облицювальна плитка	кВт·год/м <sup>2</sup>	4,79
3	Фасадна кераміка	кВт·год/м <sup>2</sup>	7,82

Прийняв за базисну енергоємність фасадної кераміки знайдемо значення коефіцієнтів енергоємності:

$$K_A = \frac{\bar{x}}{\bar{z}} = \frac{1,799}{7,82} = 0,23, K_B = \frac{\bar{y}}{\bar{z}} = \frac{4,79}{7,82} = 0,635, K_C = \frac{\bar{z}}{\bar{z}} = \frac{7,82}{7,82} = 1.$$

Тоді, умовний натуральний випуск продукції може бути визначена як:

$$A_{\text{умов}} = K_A A + K_B B + K_C C, \quad (5.4)$$

Проектний випуск продукції в тих же одиницях знаходиться з виразу:

$$A_{0\text{умов}} = K_A A_0 + K_B B_0 + K_C C_0, \quad (5.5)$$

Таблиця 5.3. Плановий випуск продукції

Вид продукції	Од. вимірювання	Плановий випуск
Метлахська плитка	м <sup>2</sup>	10322
Облицювальна плитка	м <sup>2</sup>	6710
Фасадна кераміка	м <sup>2</sup>	510

$$A_{0\text{умов}} = 0,23 \cdot 10322 + 0,635 \cdot 6710 + 1 \cdot 581 = 7221 \text{ м}^2\text{умов/добу}$$

Знаючи встановлену потужність електроприймачів підприємства  $P_y = 8320$  кВт визначимо питому встановлену потужність підприємства:

$$p_y = \frac{P_y}{A_{0\sum\text{умовне}}} = \frac{8320}{7220,9657} = 1,1522 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{умовні}}$$

Приведена до виду  $\frac{\omega}{P_y}$  і  $\alpha$  вихідна інформація (табл. 5.4) згрупована в формі

подвійної кореляційної таблиці (табл. 5.5), котра є основою для виводу зв'язку стохастичним методом.

Таблиця 5.4. Обчислення складових кореляційної таблиці для побудови

$$\text{зв'язку} \left( \frac{w}{P_y} \right) = f(\alpha)$$

№ п/п	Питомі витрати електроенергії, $w = \frac{W}{A}$	Продуктивність $\alpha = \frac{A}{A_0}$	$\frac{w}{P_y}$
1	2	3	4
1	7,530	1,0723	6,535
2	7,459	1,0826	6,474
3	7,366	1,0828	6,393
4	7,508	1,0703	6,516
5	7,236	1,0123	6,280
6	7,428	1,0198	6,446
7	7,455	1,0776	6,47
8	7,236	1,0123	6,28
9	7,428	1,0198	6,446
10	7,735	1,0311	6,713
11	7,642	1,0527	6,633
12	7,312	1,0000	6,346

Продовження табл. 5.4.

1	2	3	4
13	7,407	1,0207	6,428
14	7,495	1,0364	6,505
15	6,900	1,1704	6,988
16	7,482	1,0926	6,494
17	7,667	1,0533	6,654
18	7,260	1,1261	6,301
19	7,735	1,015	6,713
20	7,246	1,0912	6,289
21	7,095	1,1377	6,158
22	7,751	1,0548	6,727
23	7,333	1,074	6,364
24	7,653	1,0812	6,642
25	7,601	1,0887	6,597
26	7,541	1,0313	6,545
27	8,019	0,9721	6,96
28	7,363	1,0692	6,39
29	7,161	1,0999	6,215
30	7,519	1,0722	6,525
31	7,497	1,0731	6,507
32	7,951	1,0286	6,814
33	7,639	1,0229	6,63
34	7,417	1,066	6,437
35	7,340	1,0722	6,371
36	7,215	1,1285	6,262
37	7,399	1,0779	6,422
38	6,874	1,1168	5,966
39	7,283	1,0323	6,321
40	8,039	1,0886	6,977
41	8,518	0,99	7,393
42	7,856	0,9923	6,818
43	7,606	1,0668	6,601
44	7,019	1,1648	6,092
45	7,499	1,09	6,508

Таблиця 5.5. Подвійна кореляційна таблиця для зв'язку  $\left(\frac{w}{p_y}\right) = f(\alpha)$ .

	Продуктивність заводу $\alpha_h$						$n_i$
	0,98	1,02	1,06	1,1	1,14	1,18	
	0,96-1,0	1,0-1,04	1,04-1,08	1,08-1,12	1,12-1,16	1,16-1,2	
6(5,85-6,15)				1		2	3
6,3(6,15-6,45)		7	5	3	3		18
6,6(6,45-6,75)		5	9	5			19
6,9(6,75-7,05)	2	1		1			4
7,2(7,05-7,35)							0
7,5(7,35-7,65)	1						1
$n_h$	3	13	14	10	3	2	45
$\left(\frac{\bar{w}}{p_y}\right)_h$	7,1	6,461	6,492	6,48	6,3	6,0	

## 5.2. Визначення реальності існування форми зв'язку $\frac{w}{p_y} = f(\alpha)$ .

Для визначення реальності існування форми зв'язку знаходимо наступні показники

1) Повні середні

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \cdot \sum n_{\alpha} \cdot \alpha_i = \frac{47,82}{45} = 1,0626 ; \left(\frac{\bar{w}}{p_y}\right) = \frac{1}{n} \cdot \sum n_{\left(\frac{w}{p}\right)} \cdot \left(\frac{w}{p_y}\right) = \frac{291,9}{45} = 6,4866.$$

2) Стандарти

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum n_{\alpha} \cdot \alpha_i^2 - \bar{\alpha}^2} = \sqrt{\frac{1}{45} \cdot 50,9204 - 1,0626^2} = 0,048001 ;$$

$$\sigma_{\left(\frac{w}{p}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum n_{\left(\frac{w}{p}\right)} \cdot \left(\frac{w}{p_y}\right)_i^2 - \left(\frac{\bar{w}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{45} \cdot 1896,75 - 6,4866^2} = 0,2704755 .$$

3) Коваріація

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha,i} \alpha_i \left(\frac{w}{p_y}\right)_i - \bar{\alpha} \left(\frac{\bar{w}}{p_y}\right) = \frac{1}{45} \cdot 309,894 - 1,0626666 \cdot 6,486666 = -0,00663 .$$

Таблиця 5.6. Допоміжна таблиця до визначення показників подвійної кореляційної таблиці для визначення зв'язку  $\frac{w}{p_y} = (\alpha)$ .

$\alpha_h$	$n_h$	$\alpha_h \cdot n_h$	$\alpha_h^2$	$\alpha_h^2 n_h$	$\frac{w}{p_y}$	$n_i$	$\frac{w}{p_y} \cdot n_i$	$\left(\frac{w}{p_y}\right)^2$	$\left(\frac{w}{p_y}\right)^2 n_i$	$\alpha'_h$	$\left(\frac{w}{p_y}\right)'_i$	[ x ]	$n_{h,i}$	$\alpha'_h \left(\frac{w}{p_y}\right)'_i n_{h,i}$
0,98	3	2,94	0,9604	2,8812	6	3	18	36	108	0,98	6,9	6,762	2	13,524
1,02	13	13,26	1,0404	13,5252	6,3	18	113,4	39,69	714,42	0,98	7,5	7,35	1	7,35
1,06	14	14,84	1,1236	15,7304	6,6	19	125,4	43,56	827,64	1,02	6,3	6,426	7	44,982
1,1	10	11	1,21	12,1	6,9	4	27,6	47,61	190,44	1,02	6,6	6,732	5	33,66
1,14	3	3,42	1,2996	3,8988	7,2	0	0	51,84	0	1,02	6,9	7,038	1	7,038
1,18	2	2,36	1,3924	2,7848	7,5	1	7,5	56,25	56,25	1,06	6,3	6,678	5	33,89
										1,06	6,6	6,996	9	62,964
										1,1	6	6,6	1	6,6
										1,1	6,3	6,93	3	20,79
										1,1	6,6	7,26	5	36,3
										1,1	6,9	7,59	1	7,59
										1,14	6,3	7,182	3	21,546
										1,18	6	7,08	2	14,16
$\Sigma$	45	47,82	7,0264	50,9204		45	291,9	274,95	1896,75					309,894

4) Коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_{\alpha} \cdot \sigma\left(\frac{w}{p}\right)} = -\frac{0,00663}{0,048001 \cdot 0,270404755} = -0,510714 .$$

Коефіцієнт кореляції оцінюється по відношенню:

$$|r| \cdot \sqrt{n-1} = 0,51074 \sqrt{45-1} = 3,3877 > 3,$$

чим визначається його значимість і реальність існування встановленого кореляційного зв'язку.

5) Кореляційне відношення

$$\eta\left(\frac{w}{p}\right) = \frac{\sigma\left(\frac{w}{p}\right)}{\sigma\left(\frac{w}{p}\right)} = \frac{0,1952741}{0,2704755} = 0,7219659 .$$

Знаходимо допоміжні показники

$$\xi_1^2 = \frac{n \cdot (\eta^2 - r^2) \cdot \sigma^2\left(\frac{w}{p_y}\right)}{S - 2} = \frac{45 \cdot (0,7219659^2 - 0,510714^2) \cdot 0,2704755^2}{6 - 2} = 0,214318,$$

$$\xi_2^2 = \frac{n \cdot (1 - \eta^2) \cdot \sigma^2\left(\frac{w}{p_y}\right)}{n - S} = \frac{45 \cdot (1 - 0,7219659^2) \cdot 0,2704755^2}{45 - 10} = 0,04,$$

так як  $\xi_1^2 > \xi_2^2$ , то значення  $T_{\eta}$  знаходимо за формулою

$$T_{\eta} = \frac{(n - S) \cdot \left( \eta^2\left(\frac{w}{p}\right) - r^2 \right)}{(S - n) \left( 1 - \eta^2\left(\frac{w}{p}\right) \right)} = \frac{0,214318}{0,04} = 5,303.$$

де  $S$  – число стовпців таблиці. При 5%-ній межі по значенням  $K_1 = 4$ ,  $K_2 = 39$  знаходимо  $T = 2,63$ , тобто  $T_{\eta} > T$ . Відповідно, різниця між  $\eta\left(\frac{w}{p}\right)$  і  $r$  має суттєве

значення, що вказує на нелінійний кореляційний зв'язок між  $\left(\frac{w}{p_y}\right)$  і  $\alpha$ .

Вирішуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} 45 \cdot x_1 + 43,68722 \cdot x_2 - 291,8998 &= 0 \\ 43,68722 \cdot x_1 + 42,38508 \cdot x_2 - 283,52 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (5.6)$$

$$a_0 = x_1 = 7,749956; \quad a_1 = x_2 = -1,300845$$

Таблиця 5.7. Обчислення коефіцієнтів до розв'язку рівняння

$\alpha$	$Z$	$n_Z$	$n_Z Z$	$Z^2$	$n_Z Z^2$	$Z^3$	$n_Z Z^3$
0,98	1,0106	3	3,03185	1,0213	3,0640	1,0322	3,0965
1,02	0,99015	13	12,8719	0,9804	12,619	0,9707	12,6195
1,06	0,97128	14	13,5980	0,9434	13,207	0,9163	12,8283
1,1	0,95346	10	9,5346	0,9091	9,0901	0,8668	8,6678
1,14	0,93658	3	2,8096	0,8772	2,6316	0,8216	2,4647
1,18	0,92057	2	1,8411	0,8474	1,6949	0,7802	1,5603
			43,6872		42,3085		41,2372

Продовження табл. 5.7.

$n_Z$	$Z^4$	$n_Z Z^4$	$\bar{y}_Z$	$n_Z \bar{y}_Z$	$n_Z \bar{y}_Z Z$	$n_Z \bar{y}_Z Z^2$
3	1,0432	3,1294	7,1	21,3	21,52615	21,549
13	0,9612	12,4952	6,461	83,999	83,1724	82,3529
14	0,8899	12,4599	6,493	90,899	88,2898	85,7547
10	0,8264	8,2645	6,48	64,8	61,7844	58,9091
3	0,7695	2,3084	6,3	18,9	17,7009	16,5789
2	0,7182	1,4364	6,0	12,0	11,0468	10,1695
45		40,0938		291,8998	283,52	275,3142

$$\left. \begin{aligned} 45 \cdot x_1 + 43,68722 \cdot x_2 + 42,3085 \cdot x_3 - 291,8988 &= 0 \\ 43,68722 \cdot x_1 + 42,3085 \cdot x_2 + 41,23723 \cdot x_3 - 283,52 &= 0 \\ 42,3085 \cdot x_1 + 41,23723 \cdot x_2 + 40,09382 \cdot x_3 - 275,3142 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (5.7)$$

Вирішуючи цю систему методом Гауса з вибором головного елемента отримаємо значення коефіцієнтів:

$$x_1 = 3,07; \quad x_2 = 3,07; \quad x_3 = 1,9.$$

Тоді енергетична характеристика має вигляд:

$$Y_p = 3,07 + 1,67 \cdot x + 1,9 \cdot x^2, \quad (5.8)$$

або

$$\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = 3,07 + 1,67 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 1,9 \cdot \alpha^{-1}, \quad (5.9)$$

Похибка виведеного зв'язку визначається за формулою:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-c} \sum \left[ \frac{y_p - \bar{y}_h}{y_p} 100 \right]^2} n_h, \quad (5.10)$$

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{45-3} 185,05} = 2,1$$

де  $c$  – число невідомих параметрів.

Розрахунково-дослідний зв'язок був виражений також поліномами 3-го і 4-го порядку відносно  $x = \alpha^{-\frac{1}{2}}$ . Проте мінімальну похибку дає рівняння (5.9). Воно і рекомендується для практичних розрахунків.

Помножив обидві частини рівняння (5.9) на  $p_y$  знайдемо залежність питомої витрати електроенергії  $\omega$  в функції  $\alpha$  та  $p_y$  тобто:

$$\omega = \left( 3,07 + 1,67 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 1,9 \cdot \alpha^{-1} \right) p_y, \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\text{в.о.} \quad (5.11)$$

Рівняння (5.11) може бути запропоновано для практичного розрахунку питомої витрати електроенергії в цілому по заводу, а метод його виведення для використання по інших цехах і заводах. При цьому як показник нормування використовується умовна натуральна одиниця в м<sup>2</sup>в.о. Зворотний перехід до натуральних одиниць може бути здійснений через відомі значення коефіцієнтів енергоємності і питомих витрат електроенергії на відповідний випуск продукції.

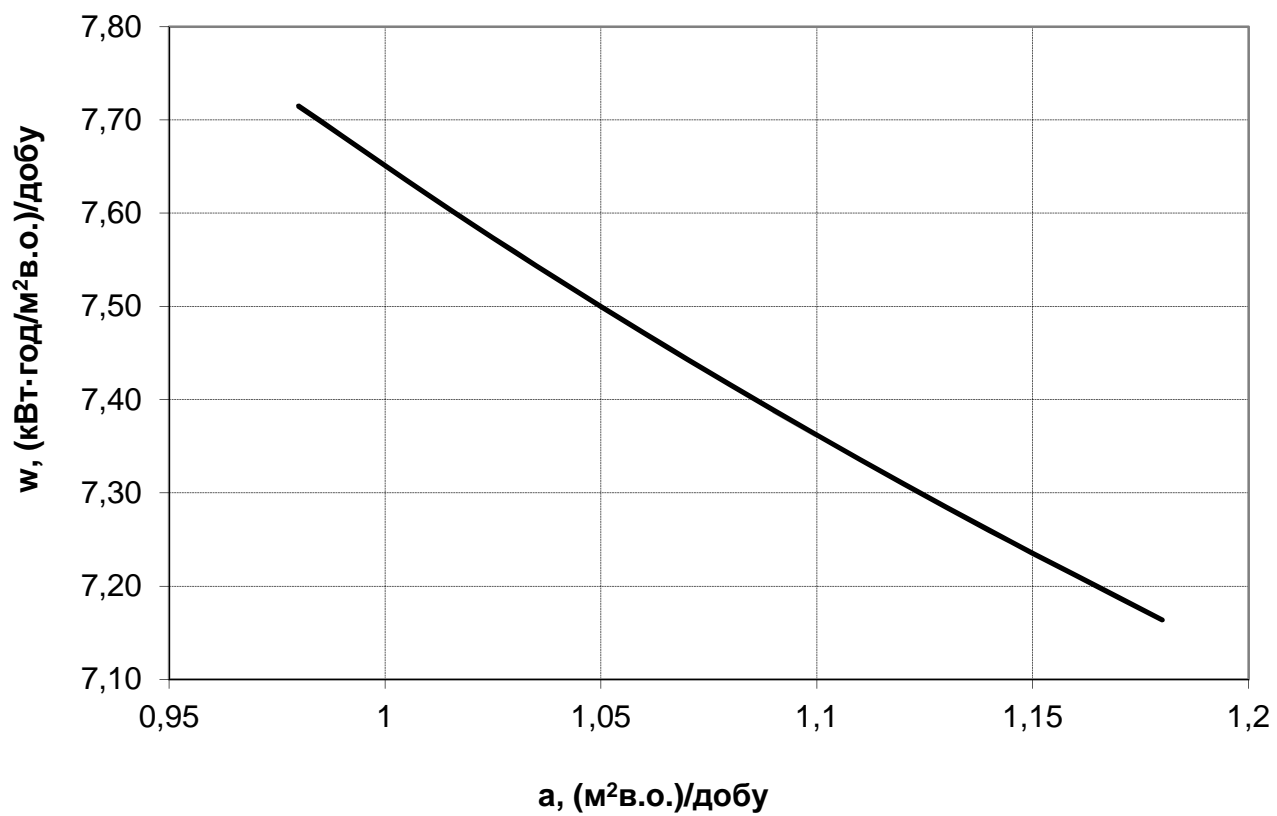


Рис. 5.1. Енергетична характеристика Харківського плиткового заводу

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **6.1. Організаційні та правові засади електробезпеки на підприємстві**

Електробезпека на промисловому підприємстві є складовою системи охорони праці та технічної експлуатації електроустановок. Її забезпечення базується, з одного боку, на державних нормативно-правових актах, а з іншого – на внутрішній організаційній системі управління електрогосподарством, яка реалізує вимоги цих актів на конкретному виробництві.

#### *Нормативно-правова база електробезпеки*

Основу правового регулювання питань електробезпеки становить Закон України «Про охорону праці», який покладає на роботодавця обов'язок створити безпечні та здорові умови праці, у тому числі при експлуатації електроустановок, організувати навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці та електробезпеки. Кодекс законів про працю України та інші акти у сфері соціального страхування доповнюють цю базу щодо гарантій працівників і відповідальності роботодавця.

Спеціальними документами, що безпосередньо регламентують експлуатацію електроустановок, є:

- «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕС), затверджені наказом Мінпаливенерго України від 25.07.2006 № 258. Ці Правила встановлюють основні організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок споживачів і спрямовані на забезпечення їх надійної, безпечної та раціональної роботи.

- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», вимоги яких поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220 кВ включно, і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії незалежно від форми власності.

Ці документи визначають:

- порядок організації експлуатації електроустановок;

- вимоги до персоналу, його кваліфікації та групи з електробезпеки;
- правила організації та безпечного виконання робіт в електроустановках;
- основи системи допуску до робіт і відповідальність посадових осіб.

Додатково застосовуються галузеві правила охорони праці, стандарти та інші нормативно-правові акти, що деталізують вимоги до окремих видів робіт та обладнання (правила охорони праці під час виконання окремих технологічних процесів, стандарти безпеки праці тощо).

Відповідно до ПТЕЕС, для забезпечення безпечної та надійної експлуатації електроустановок у споживача, як правило, створюється електротехнічна служба (відділ, група) з необхідною кількістю електротехнічних працівників. Її структура та чисельність залежать від класу напруги, потужності, складності та режиму роботи електроустановок підприємства.

Ключовою фігурою в системі електробезпеки є особа, відповідальна за електрогосподарство. Вона призначається наказом керівника підприємства та повинна:

- мати відповідну профільну вищу освіту і необхідний стаж роботи за фахом;
- володіти групою з електробезпеки не нижче IV (а для складних і високовольтних електроустановок – IV–V групи).

До її основних обов'язків належать:

- організація технічно правильної та безпечної експлуатації електроустановок;
- розробка та впровадження локальних інструкцій і положень з електробезпеки;
- організація навчання, інструктажу й перевірки знань персоналу;
- контроль виконання вимог НПАОП, ПТЕЕС та інших нормативних документів;
- участь у розслідуванні нещасних випадків, пов'язаних з дією електричного струму.

На рівні структурних підрозділів (цехів, дільниць) наказом керівника підприємства призначаються особи, відповідальні за стан електробезпеки в підрозділі, на яких покладається організація безпечної експлуатації місцевого електрообладнання, контроль за діями персоналу, дотримання режимів роботи та виконання робіт згідно з вимогами інструкцій.

### *Організаційні заходи забезпечення електробезпеки*

Організаційні заходи – це система управлінських, розпорядчих та контрольних дій, спрямованих на створення безпечних умов праці під час експлуатації та ремонту електроустановок. Вони доповнюють технічні заходи (заземлення, блокування, захисне відключення тощо) і фіксуються в наказах, інструкціях, положеннях.

Відповідно до вимог правил безпечної експлуатації електроустановок та роз'яснень наглядових органів, до основних організаційних заходів належать:

- затвердження переліку робіт, що виконуються: за нарядом-допуском; за розпорядженням; в порядку поточної експлуатації;
- призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт, нагляд та допуск;
- оформлення робіт нарядом-допуском або розпорядженням із чітким зазначенням змісту робіт, складу бригади, заходів безпеки;
- підготовка робочих місць (зняття напруги, встановлення заземлень, огорожень, плакатів безпеки, перевірка відсутності напруги тощо);
- допуск до роботи, інструктаж перед початком робіт, перевірка наявності засобів захисту;
- нагляд під час виконання робіт, оперативне керівництво та контроль за дотриманням вимог безпеки;
- оформлення перерв і закінчення робіт із відмітками у наряді, зняттям заземлень, огорожень, приведенням схеми в нормальний режим.

Ці заходи забезпечують чітку регламентацію виконання робіт з підвищеною небезпекою та мінімізують людський фактор.

### *Кваліфікація, допуск і навчання з електробезпеки*

Система електробезпеки на підприємстві неможлива без належної підготовки персоналу. Вимоги НПАОП та інших нормативних актів передбачають:

- присвоєння працівникам груп з електробезпеки (I–V), залежно від:

- характеру їх роботи (електротехнічний, електротехнологічний, неелектротехнічний персонал);
- рівня напруги електроустановок;
- обсягу прав і відповідальності;
- первинний інструктаж з електробезпеки для всіх працівників, що допускаються до робіт поблизу або в електроустановках, у тому числі для отримання I групи з електробезпеки з обов'язковим записом у журналі реєстрації інструктажів;
- періодичну перевірку знань з електробезпеки та ПТЕЕС для електротехнічного персоналу з оформленням протоколів комісії;
- спеціальне навчання та перевірку знань для осіб, відповідальних за електрогосподарство, які повинні мати групу IV або V з електробезпеки;
- цільові та позапланові інструктажі при зміні технології, введенні нового обладнання або при виявленні порушень вимог електробезпеки.

Внутрішні локальні акти підприємства (положення про навчання, графіки перевірки знань, інструкції з охорони праці за професіями) уточнюють порядок і періодичність таких заходів, відповідаючи вимогам законодавства.

#### *Документальне забезпечення системи електробезпеки*

Організаційні та правові засади електробезпеки реалізуються через систему локальної нормативної документації підприємства, до якої належать:

- накази керівника підприємства: про призначення відповідального за електрогосподарство та його заступників; про затвердження переліків робіт за нарядами, розпорядженнями, в порядку поточної експлуатації; про створення комісії з перевірки знань з електробезпеки;
- інструкції з охорони праці та електробезпеки;
- загальні інструкції для електротехнічного й неелектротехнічного персоналу;
- інструкції за професіями та видами робіт;
- журнали інструктажів, обліку нарядів-допусків, обліку технічного обслуговування та випробувань засобів захисту;
- плани та програми навчання, протоколи перевірки знань;

- акти оглядів, випробувань, розслідування нещасних випадків, що пов'язані з дією електричного струму.

Повнота, актуальність та правильне ведення цих документів є необхідною умовою не лише для реального забезпечення безпеки, а й для доказової бази при розслідуванні нещасних випадків та перевірках контролюючих органів.

### *Відповідальність за порушення вимог електробезпеки*

Чинне законодавство України передбачає дисциплінарну, адміністративну, матеріальну та, у певних випадках, кримінальну відповідальність посадових осіб і працівників за порушення вимог охорони праці, у тому числі правил електробезпеки. За недотримання встановлених вимог до підготовки, допуску персоналу та організації робіт передбачені штрафні санкції з боку органів державного нагляду за охороною праці й енергетичного нагляду.

Цей фактор підкреслює важливість не тільки формального, а й реального виконання всієї сукупності організаційних та правових вимог у сфері електробезпеки.

Організаційні та правові засади електробезпеки на підприємстві формують єдину систему, що включає:

- державні закони, правила й нормативи (Закон України «Про охорону праці», НПАОП 40.1-1.21-98, ПТЕЕС тощо);
- структурну побудову електрогосподарства (електротехнічна служба, відповідальні особи);
- організаційні заходи (переліки робіт, наряд-допуск, допуск, нагляд, завершення робіт);
- систему навчання, інструктажу та перевірки знань з електробезпеки;
- внутрішні локальні нормативні документи, що конкретизують вимоги до умов конкретного підприємства.

## **6.2. Основні причини електротравматизму**

Незважаючи на наявність розвиненої нормативно-правової бази та технічних засобів захисту, електротравматизм залишається однією з найбільш

небезпечних форм виробничого травматизму. Аналіз випадків у промисловості показує, що переважна частина уражень електричним струмом пов'язана не лише з технічними несправностями, а насамперед з організаційними недоліками та людським фактором.

У спеціальній літературі та нормативних матеріалах при аналізі електротравматизму виділяють чотири основні групи причин: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та психофізіологічні.

#### *Організаційні причини*

Організаційні причини, за узагальненими даними, є домінуючими серед факторів, що призводять до електротравм. До них відносять:

- недостатню підготовку та навчання персоналу з питань електробезпеки, несвоєчасну або формальну перевірку знань, неправомірне присвоєння груп з електробезпеки працівникам, які обслуговують електроустановки;

- невідповідність виконуваної роботи кваліфікації та спеціальності працівника, допуск до робіт осіб, які не мають необхідної підготовки чи досвіду;

- порушення правил улаштування та технічної експлуатації електроустановок, невиконання вимог інструкцій з охорони праці, відсутність або формальний характер контролю з боку відповідальних осіб;

- неналежну організацію робочих місць: неправильне розташування пускової апаратури та розподільчих пристроїв, захаращеність підходів до електрощитів, відсутність доступу до засобів захисту та апаратури відключення;

- порушення трудової та виробничої дисципліни (ігнорування вимог інструкцій, виконання робіт без наряду-допуску чи розпорядження, самовільна зміна затвердженої технології або схеми електропостачання).

Статистичні дослідження показують, що значна частка випадків електротравматизму (до 60–65 %) зумовлена саме неправильною організацією робіт, порушеннями правил експлуатації електрообладнання та недостатнім рівнем навчання персоналу, тобто фактором «людина – організація робіт».

### *Технічні причини*

До технічних причин належать конструктивні недоліки, дефекти та несправності електроустановок, які створюють небезпечні умови для персоналу. Серед найбільш поширених:

- пошкодження або старіння ізоляції проводів, кабелів, обмоток електричних машин та апаратів, що призводить до появи напруги на металевих конструкціях, корпусах обладнання, елементах будівельних конструкцій, які в нормальному режимі не повинні бути під напругою;
- відкриті (неогорожені) струмопровідні частини, можливість випадкового доторкання до неізольованих шин, клем, контактів через відсутність або демонтаж захисних огорожень;
- використання несправних ручних електроінструментів, особливо в умовах підвищеної небезпеки (вологі приміщення, металеві резервуари, будівельні майданчики);
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220/127 В, відсутність понижувальних трансформаторів і захисного відключення в місцях, де це необхідно;
- відсутність або пошкодження захисного заземлення та занулення, обрив захисних провідників, невідповідний переріз провідників захисних заземлювальних пристроїв;
- несправність апаратів захисту та автоматики (автоматичних вимикачів, УЗО, реле захисту), що не забезпечують своєчасне вимикання пошкодженої ділянки мережі.

Технічні причини, як правило, тісно пов'язані з організаційними – несвоєчасним ремонтом, відсутністю систематичних оглядів і випробувань, порушенням регламентів технічного обслуговування.

### *Санітарно-гігієнічні та психофізіологічні причини*

Ця група причин відображає вплив умов праці й стану працівника на ймовірність виникнення електротравм. До них відносять:

- несприятливі метеорологічні умови на робочому місці (підвищена вологість, висока температура, запиленість), які зменшують опір шкіри людини та сприяють утворенню струмопровідних шляхів;

- незадовільне освітлення, що ускладнює візуальний контроль за станом обладнання, помітність попереджувальних знаків, огорожень, положення органів керування;

- шум, вібрація, випромінювання та інші шкідливі фактори, що погіршують загальний стан працівника, знижують увагу та швидкість реакції;

- перевтома, монотонність роботи, стресові ситуації, які призводять до зниження концентрації, збільшення кількості помилкових дій, порушення вимог безпеки;

- індивідуальні особливості працівника (стан здоров'я, хронічні захворювання, функціональний стан нервової системи), що впливають на перенесення дії електричного струму та швидкість прийняття рішень у небезпечних ситуаціях.

За наявності несприятливих санітарно-гігієнічних умов навіть відносно невеликі порушення правил безпеки можуть призвести до тяжких наслідків.

#### *Психологічні та соціально-поведінкові фактори*

Окремо виділяють психофізіологічні й соціально-поведінкові причини, пов'язані з низьким рівнем культури безпеки:

- звикання до небезпеки, формальне ставлення до інструкцій та знаків безпеки, виконання робіт «по звичці» без осмисленого контролю;

- свідоме ігнорування правил (наприклад, відключення блокувань, робота без засобів захисту заради економії часу або зручності);

- виконання робіт у понаднормовий час, у стані втоми або емоційної напруженості, що підвищує ймовірність помилок;

- відсутність ефективної мотивації до дотримання вимог електробезпеки, коли персонал не бачить реальних наслідків порушень або не відчуває особистої відповідальності.

Такі причини посилюють ризик реалізації технічних і організаційних дефектів, фактично виступаючи «спусковим механізмом» для настання електротравми.

Отже, основними причинами електротравматизму на підприємстві є комплекс взаємопов'язаних факторів, серед яких провідну роль відіграють:

- організаційні недоліки (недостатнє навчання, неправильна організація робіт, порушення вимог нормативних документів);
- технічні несправності електроустановок та засобів захисту (пошкодження ізоляції, відсутність огорожень, заземлення, несправність апаратів захисту);
- несприятливі санітарно-гігієнічні умови та психофізіологічні чинники, що знижують працездатність і увагу персоналу;
- психологічні та соціально-поведінкові аспекти, пов'язані з низьким рівнем культури безпеки та недооцінкою ризиків.

### **6.3. Наслідки ураження електричним струмом**

Наслідки ураження електричним струмом для організму людини є комплексними й проявляються як у вигляді місцевих пошкоджень тканин, так і у вигляді загальних функціональних порушень життєво важливих систем (серцево-судинної, дихальної, нервової тощо). Тяжкість цих наслідків визначається насамперед величиною та тривалістю струму, шляхом його проходження через тіло, видом струму (змінний/постійний), електричною напругою, а також індивідуальним станом організму потерпілого.

У спеціальній літературі розрізняють місцеві, загальні та змішані електротравми; при цьому змішані травми, що поєднують місцеві і загальні прояви, становлять більшість випадків.

#### **1. Місцеві наслідки ураження електричним струмом**

До місцевих електротравм відносять ушкодження тканин у зоні входу й виходу струму, а також у місцях дії електричної дуги:

- електричні опіки (контактні, дугові, змішані): контактні опіки виникають безпосередньо в місцях доторкання до струмопровідних частин; дугові опіки

спричинені дією електричної дуги з температурою у кілька тисяч градусів; змішані поєднують дію струму і дуги;

- електричні знаки (електромітки) – локальні зміни шкіри у місцях входу струму, що мають вигляд блідо-сірих чи бурих плям з ущільненням і підсушенням шкіри;
- металізація шкіри – проникнення в поверхневі шари шкіри дрібних частинок розплавленого металу, що утворюються при дії дуги чи розплавленні провідників;
- електроофтальмія – ураження очей ультрафіолетовим випромінюванням електричної дуги (запалення рогівки, кон'юнктиви, світлобоязнь);
- механічні пошкодження (переломи, вивихи, розриви зв'язок), що виникають внаслідок судомних скорочень м'язів або падіння з висоти під час ураження.

Місцеві ушкодження можуть варіювати від поверхневих опіків шкіри до глибокого некрозу м'язів, сухожиль та кісток, що часто потребує хірургічного втручання й тривалого лікування та може призвести до стійкої втрати працездатності.

## 2. Загальні наслідки ураження електричним струмом

Загальні (системні) наслідки пов'язані з проходженням струму через життєво важливі органи і проявляються переважно у вигляді:

- порушень серцевої діяльності:
- аритмії, екстрасистолія, блокади провідної системи серця;
- фібриляція шлуночків – хаотичні скорочення міокарда, що призводять до раптової зупинки кровообігу;
- асистолія (повна відсутність скорочень серця), характерна переважно для дії постійного струму або блискавки;
- порушень дихання: спазм дихальних м'язів (тетанічні скорочення), що унеможлиблюють нормальний вдих/видих; параліч дихального центру внаслідок ураження центральної нервової системи, що може призвести до зупинки дихання;
- уражень нервової системи:
- втрата свідомості різної тривалості;
- судоми, парези, порушення чутливості;

- можливі віддалені неврологічні розлади (неврити, енцефалопатія, вегетативні дисфункції);
- системних метаболічних порушень: рабдоміоліз (масивне руйнування м'язової тканини) з вивільненням міоглобіну; гостра ниркова недостатність внаслідок міоглобінурії та шоку;
- шоківих станів – електричний шок як комбінація больового, травматичного та гемодинамічного факторів, що супроводжується різким зниженням артеріального тиску, розладами мікроциркуляції та поліорганною недостатністю.

У найтяжчих випадках загальні наслідки ураження струмом призводять до клінічної смерті потерпілого (зупинка кровообігу й дихання), що вимагає негайних реанімаційних заходів.

### 3. Класифікація ступенів тяжкості загальних електротравм

Для опису загальних наслідків електротравми широко застосовується класифікація за ступенями тяжкості, зокрема шкала, запропонована Г. Л. Френкелем, а також подібні варіанти, прийняті у вітчизняній медичній практиці:

- I ступінь – часткові судоми м'язів без втрати свідомості, короточасні порушення функцій, які, як правило, швидко минають після припинення дії струму.

- II ступінь – загальна судома без розвитку стану глибокої протрації після припинення дії струму; свідомість збережена або швидко відновлюється, життєво важливі функції істотно не порушені.

- III ступінь – виражена протрація, неможливість рухатися після відключення струму, часто з втратою свідомості, порушенням дихання та/або серцевої діяльності.

- IV ступінь – миттєва смерть або смерть, що передує глибокому стану протрації (клінічна смерть, фібриляція шлуночків, асистолія, агонія).

Інший варіант класифікації, що часто використовується на практиці, виділяє: легку, електротравму середньої тяжкості, тяжку та украй тяжку (клінічна смерть) електротравму залежно від поєднання судом, втрати свідомості та порушень серцевої й дихальної діяльності.

Такі класифікації дають можливість оцінити прогноз для потерпілого, вибрати тактику невідкладної допомоги та визначити медико-соціальні наслідки (тимчасова непрацездатність, інвалідність).

#### 4. Залежність наслідків від параметрів електричного струму

Відповідно до міжнародної технічної специфікації ІЕС 60479 та інших досліджень, небезпека ураження струмом визначається насамперед величиною струму, тривалістю його протікання через тіло та шляхом цього струму.

Для змінного струму промислової частоти (50–60 Гц), характерного для виробничих і побутових мереж, узагальнені дані свідчать:

- струм порядку 1 мА зазвичай ледь відчутний;
- при 5–10 мА виникає болісне відчуття, можливі судомні скорочення м'язів кисті;
- в діапазоні 10–20 мА досягається так званий «let-go current» – людина може втратити здатність самостійно відпустити провідник;
- струми понад 30 мА, що діють достатньо довго, уже становлять серйозну загрозу життю через ризик фібриляції шлуночків та зупинки дихання;
- струми порядку 50–100 мА і вище при дії протягом сотень мілісекунд різко підвищують ймовірність фібриляції;
- при великих струмах (ампери) можливе не стільки фібриляційне, скільки «паралітичне» ураження серця з короткочасною асистолією, а також тяжкі внутрішні опіки.

Зазначені значення є орієнтовними й використовуються в першу чергу при формуванні загальних уявлень про ризики; для проектування технічних засобів захисту застосовують спеціалізовані нормативні документи (ІЕС 60479 та відповідні національні стандарти).

#### 5. Віддалені медичні та соціально-економічні наслідки

Наслідки ураження електричним струмом не обмежуються гострим періодом. Для постраждалих характерні й віддалені ускладнення, серед яких:

- хронічні порушення ритму серця, кардіоміопатії, ішемічні зміни, що можуть проявитися через тижні й місяці після травми;

- стійкі неврологічні розлади (невралгії, парези, порушення пам'яті, вегетативні дисфункції), психоемоційні порушення (тривога, депресія, посттравматичний стресовий розлад);

- рубцеві деформації шкіри й глибоких тканин, контрактури суглобів після електричних опіків, що обмежують рухливість кінцівок;

- хронічні хвороби нирок після тяжкого рабдоміолізу та гострої ниркової недостатності;

- часткова або повна втрата працездатності, інвалідизація потерпілих.

Для підприємства електротравматизм має також значні виробничі та економічні наслідки:

- тимчасова або постійна втрата кваліфікованих працівників;

- простої обладнання, порушення технологічних процесів;

- витрати на лікування, реабілітацію, страхові виплати, компенсації;

- штрафні санкції з боку наглядових органів та репутаційні ризики.

Таким чином, електротравми мають не лише медичний, а й виражений соціально-економічний вимір, що підкреслює необхідність системного підходу до профілактики електротравматизму на підприємстві.

Наслідки ураження електричним струмом охоплюють широкий спектр проявів – від легких оборотних функціональних порушень до тяжких опіків, глибоких системних уражень та раптової смерті потерпілого. На їх характер і тяжкість впливають параметри струму, шлях його проходження через тіло, умови зовнішнього середовища та індивідуальні особливості організму.

Розуміння механізмів формування місцевих і загальних наслідків, класифікації ступенів тяжкості, а також віддалених ускладнень є необхідною передумовою для обґрунтування організаційно-технічних заходів з електробезпеки, розробки ефективних норм і процедур захисту персоналу на промисловому підприємстві.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження методів побудови питомих норм електроспоживання на основі кореляційного аналізу зв'язку між витратами електроенергії та випуском продукції для підприємств з різним характером виробництва. Поставлена мета – отримання науково обґрунтованих питомих норм споживання електроенергії на базі енергетичних характеристик промислових підприємств – досягнута повністю, усі сформульовані задачі дослідження розв'язані.

1. На основі аналізу сучасного стану енерговикористання на промислових підприємствах обґрунтовано актуальність переходу від простого обліку та укрупнених лімітів споживання до системи технічно й економічно обґрунтованих норм, побудованих з урахуванням реальних енергетичних характеристик виробництва. Показано, що питомі норми, подані у вигляді функціональних залежностей від продуктивності (енергетичних характеристик), є більш адекватним інструментом оцінки енергоефективності, ніж сталі нормативи.

2. Систематизовано та розширено класифікацію норм енергоспоживання за об'єктом нормування, формою вираження, ступенем обґрунтованості, роллю в системі планування й контролю, часовою ознакою та характером енергоспоживання. Виділено норми для підприємства в цілому, структурних підрозділів, окремих видів продукції, технологічних процесів та одиниць обладнання, а також питомі, комплексні, лімітні й норми втрат, поточні та перспективні, на умовно-постійні та умовно-змінні витрати. Такий підхід дозволяє будувати ієрархічну систему норм від агрегату до підприємства та узгоджувати технічні параметри з управлінськими та економічними завданнями.

3. Обґрунтовано вибір системи показників нормування енергоспоживання. Показано доцільність використання натуральних питомих показників (кВт·год на одиницю продукції) як базових для аналізу технологічних процесів та порівняння енергоємності продукції, а також вартісних показників (енергоємність товарної продукції) – для узагальненої оцінки енергоефективності підприємства в цілому. Додатково виділено режимні показники (кВт·год/машино-годину, коефіцієнти

використання потужності, коефіцієнт потужності) та показники втрат, що забезпечують багаторівневу та комплексну оцінку стану енергогосподарства.

4. Проведено аналіз методів отримання норм енергоспоживання. Показано можливості й обмеження розрахунково-аналітичних, дослідно-статистичних, порівняльних та комбінованих методів, а також визначено область раціонального застосування модельних методів (регресійний аналіз, багатофакторний аналіз, імітаційне моделювання) для підприємств зі складною структурою енергоспоживання. Обґрунтовано, що саме статистичні й модельні методи дозволяють одержати енергетичні характеристики, які враховують вплив випадкових факторів та є придатними для практики енергетичного менеджменту.

5. Розроблено теоретичні засади розгляду енергетичних характеристик як кореляційних зв'язків між споживанням електроенергії та основними виробничими факторами. Показано, що у більшості випадків енергетичні характеристики мають саме статистичний, а не строго функціональний характер, що обумовлено впливом великої кількості другорядних і випадкових чинників. Сформовано підхід до відбору суттєвих факторів, кількісної оцінки сили й напрямку зв'язку, а також до переходу від вихідних емпіричних даних до аналітичних залежностей типу  $W = f(Q)$ ,  $q = f(Q)$ .

6. Доведено доцільність використання як лінійних, так і нелінійних кореляційних моделей для побудови енергетичних характеристик. На прикладі розрахунків показано, що для ряду режимів виробництва адекватний опис забезпечується поліноміальними залежностями третього порядку, які дають меншу похибку порівняно з лінійними моделями. На основі аналізу похибок обґрунтовано вибір виду зв'язку як компроміс між точністю апроксимації та простотою використання моделі у практиці нормування.

7. На основі добових і змінних статистичних даних ПАТ «НВП “Радій”» за літній період побудовано кореляційні таблиці та отримано енергетичні характеристики підприємства з масовим випуском продукції. Сформовано залежності між загальними витратами електроенергії та випуском продукції, а також між питомими витратами та продуктивністю. Побудовано графіки

енергетичних характеристики, які показують характер зміни енергоємності продукції залежно від завантаження виробництва та дозволяють визначати нормативні питомі витрати для заданого обсягу випуску.

8. Для підприємства з багатомономенклатурним виробництвом (Харківський плитковий завод) оброблено вихідні дані та побудовано енергетичні характеристики, що враховують різні види продукції та їх відносну енергоємність. Запропоновано підхід до переходу від різнорідних натуральних показників до узагальненого (приведеного) обсягу продукції, що дає змогу сформувати єдину кореляційну модель енергоспоживання для підприємства і використовувати її як основу для нормування в умовах змінної номенклатури.

9. Показано, що отримані енергетичні характеристики дозволяють за заданим значенням випуску продукції визначати науково обґрунтовані питомі норми споживання електроенергії, а також здійснювати кількісну оцінку раціональності та ефективності енерговикористання на підприємстві. На основі порівняння фактичних витрат із нормативними стає можливим виявлення резервів енергозбереження, оцінка впливу організаційно-технічних заходів та формування економічно обґрунтованих лімітів і цільових показників енергоефективності.

У підсумку магістерська робота формує цілісну методичну основу для нормування електроспоживання на промислових підприємствах на базі енергетичних характеристик, отриманих методами кореляційного аналізу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – Ст. 668.
2. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці України, 1998. – 184 с.
3. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25 лип. 2006 р. № 258. – К., 2006.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Офіц. вид. – К. : Мінпаливенерго України, 2017. – 617 с.
5. ДСТУ 4472:2005. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 20 с.
6. ДСТУ 4065:2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. – К. : Держстандарт України, 2001.
7. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 95 с.
8. Дзядикевич Ю. В., Буряк М. В., Розум Р. І. Енергетичний менеджмент : підручник. – Тернопіль : Економічна думка, 2010. – 295 с.
9. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода : навч. посіб. – К. : Кондор, 2005. – 408 с.
10. Голик О. П., Мірошніченко М. С., Зубенко В. О. Основи енергоменеджменту в АПК : метод. вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі». – Кіровоград : КНТУ, 2014. – 80 с.
11. Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навч. посіб. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
12. Муха Б. О. Енергетичні характеристики як основа для нормування споживання електричної енергії промислових підприємств : кваліфікац. магістер.

робота : спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / наук. кер. О. І. Сіріков. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 105 с.

13. Севастьянов Р. В., Калітіна Я. Ю. Енергоефективність промислових підприємств України та бар'єри з її впровадження // Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії. – 2016. – Вип. 1(01). – С. 28–35.

14. Стимулювання промисловості до енергоефективності та захисту клімату : Біла книга / Офіс ефективного регулювання (BRDO). – К. : BRDO, 2020. – 80 с.

15. Белякова І. В. Енергоефективність у промисловості як фактор підвищення конкурентоспроможності підприємств // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності : матер. міжнар. наук.-практ. конф. – Маріуполь : ПДТУ, 2020. – С. 90–91.

## Додаток

### Розрахунок захисного заземлення

*Вихідні дані.* Трансформаторна підстанція напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ має глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток трансформатора «стандартна» -  $\Delta/Y$  з нулем. Струм замикання на землю складає 27 А. Ґрунт - чорнозем, другий кліматичний район. Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлювачів і довжин з'єднувальної смуги з розміщенням на плані.

Визначимо норму на опір заземлення  $R_3^H$ . Якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_3 = U_p / I_3 = 125 / 27 = 4,63 \text{ Ом};$$

Згідно ПУЕ, так як сумарна потужність струмоприймачів більше 100 кВА то  $R_3$  повинен бути не більше 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{\text{табл}} \cdot \Psi = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

де  $\rho_{\text{табл}}$  – табличне значення, для чорнозему  $\rho_{\text{табл}} = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  (підвищувальний коефіцієнт  $\Psi = 1,2 \dots 1,4$  для стержньових заземлювачів).

Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$\begin{aligned} R_0 &= 0,366 \cdot (\rho_p / l) \cdot (\lg(2 \cdot l / d) + (1/2) \cdot \lg((4 \cdot t + 1) / (4 \cdot t - 1))) = \\ &= 0,366 \cdot (260 / 5) \cdot (\lg(2 \cdot 5 / 2,5 \cdot 10^{-3}) + (1/2) \cdot \lg((4 \cdot 3 + 1) / (4 \cdot 3 - 1))) = 53,19 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де  $l$  – довжина заземлювача, приймаємо 5 м;  $d$  – діаметр заземлювача (приймаємо стрижні діаметром 2,5 см).

$$t = h + l/2 = 0,5 + 5/2 = 3 \text{ м};$$

де  $h$  – глибина прокладки смуг (згідно ПУЕ - 0,5...0,8 м).

Приймаємо, що електроди прокладені по замкнутому контуру і знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_0 = R_B / (R_3^H \cdot \eta_0) = 53,19 / (4 \cdot 0,59) = 22,54 \approx 23 \text{ шт.}$$

Коефіцієнт використання ряду заземлювачів  $\eta_0$ , для  $a/l = 4/5 = 0,8$ ,  $\eta_0 = 0,59$  (де  $a = 4$  м – відстань між електродами згідно ПУЕ).

Загальна довжина горизонтальної з'єднувальної смуги:

$$l_n = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 4 \cdot 23 = 96,6 \text{ м.}$$

Опір смуги з урахуванням ефекту екранування:

$$\begin{aligned} R_n &= 0,366 \cdot ((\rho_p) / (l_n \cdot \eta_n)) \cdot \lg((2 \cdot l_n^2) / (b \cdot n)) = \\ &= 0,366 \cdot ((260) / (96,6 \cdot 0,51)) \cdot \lg((2 \cdot 96,6^2) / (0,01 \cdot 23)) = 9,48 \text{ Ом;} \end{aligned}$$

де  $\eta_n$  – коефіцієнт використання з'єднувальної смуги шириною  $b = 10$  мм та товщиною 5 мм.

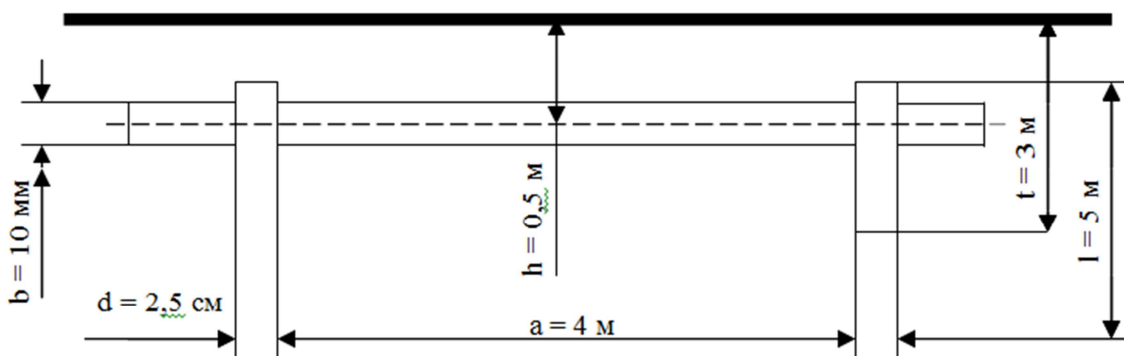


Рис. А.1. Схема прокладки заземлення.

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної смуги:

$$R_{тр} = (R_n \cdot R_3^H) / (R_n - R_3^H) = (9,48 \cdot 4) / (9,48 - 4) = 6,92 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = R_0 / (R_{тр} \cdot \eta_0) = 53,19 / (6,92 \cdot 0,59) = 13,02 \approx 13 \text{ шт.}$$

Виконаємо перевірку опору заземлювача і порівняємо отримане значення з нормою:

$$R_3 = 1 / ((1/R_{тр}) + (1/R_n)) = 1 / ((1/6,92) + (1/9,48)) = 3,74 \text{ Ом.}$$

Таким чином, отримане розрахункове значення заземлювача задовольняє заданій умові.