

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет автоматики та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Енергетичні характеристики як основа для
нормування споживання електричної енергії
промислових підприємств
Energy characteristics as a basis for normalization of
electricity consumption of industrial enterprises»**

Виконав здобувач вищої освіти
VI курсу, групи ЕНМ-20М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Богдан МУХА
« ____ » _____ 2021 р.

Керівник роботи
к.т.н, доцент
_____Олександр СІРІКОВ
« ____ » _____ 2021 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет автоматики 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

Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЕСКОВ

«_____» _____ 2021 р.

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

_____ Мухи Богдана Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Енергетичні характеристики як основа для нормування споживання електричної енергії промислових підприємств

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

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 01.12.2021 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є вивід енергетичних характеристик різних підприємств на основі яких можна розрахувати норми споживання електричної енергії. Завдання роботи: обґрунтувати актуальність теми роботи розглянути загальні положення щодо нормування електроспоживання; виведення енергетичної характеристики заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку; виведення енергетичної характеристики цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку; виведення енергетичної характеристики цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку; вивід енергетичних характеристик групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомоноклатурним виробництвом; 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>		
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Журило І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08.10.21</i>	
2	<i>Нормування електроспоживання</i>	<i>15.10.21</i>	
3	<i>Виведення енергетичної характеристики заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку</i>	<i>22.10.21</i>	
4	<i>Виведення енергетичної характеристики цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку</i>	<i>29.10.21</i>	
5	<i>Виведення енергетичної характеристики цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку</i>	<i>05.10.21</i>	
6	<i>Енергетичні характеристики групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатонаменклатурним виробництвом</i>	<i>12.11.21</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>19.11.21</i>	
8	<i>Висновки, перелік посилань</i>	<i>26.11.21</i>	
9	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації</i>	<i>01.12.21</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2021 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2021 р.

Підпис здобувача

_____ Муха Б.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Муха Б.О. Енергетичні характеристики як основа для нормування споживання електричної енергії промислових підприємств.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2021.

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

Задачею нормування є вивід технічно та науково обґрунтованих норм загальної та питомої витрати електроенергії на всіх рівнях промислового процесу від окремого агрегату до підприємства в цілому. При цьому побудова енергетичних характеристик виконується на основі теорії кореляції та регресійного аналізу. Отримані енергетичні характеристики дозволяють за відомим значенням випуску продукції розрахувати обґрунтоване загальне та питоме споживання електроенергії тобто норму. Отримана величина є еталоном відносно якого оцінюється енергетична ефективність роботи підприємства в цілому та його обладнання зокрема.

В роботі, виведені: енергетичні характеристики заводу важкої промисловості та цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку; цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку; отримані енергетичні характеристики групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатономенклатурним виробництвом.

Ключові слова: енергетичні характеристики, нормування споживання електроенергії, кореляційні зв'язки, лінійні та нелінійні кореляційні зв'язки, підприємства з масовим випуском продукції, підприємства з багатономенклатурним виробництвом.

Mukha B.O. Energy characteristics as a basis for normalization of electricity consumption of industrial enterprises.

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 «Energy management», Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2021.

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

The task of the standardization is the derivation of technically and scientifically grounded norms of total and specific consumption of electricity at all levels of the industrial process from an individual unit to the enterprise as a whole. In this case, the construction of energy characteristics is based on the theory of correlation and regression analysis. The obtained energy characteristics make it possible to calculate the reasonable total and specific electricity consumption, that is, the rate, based on the known value of the product output. The resulting value is a benchmark against which the energy efficiency of the enterprise as a whole and its equipment in particular is assessed.

The paper deduced: energy characteristics of a heavy industry plant and a sugar plant, as a nonlinear correlation; shops of rolled steel, as a linear correlation; obtained the energy characteristics of a group of enterprises with mass production and diversified production.

Key words: energy characteristics, regulation of electricity consumption, correlations, linear and nonlinear correlations of an enterprise with a mass production of products of an enterprise with diversified production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 НОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	11
1.1 Види норм та методи їх отримання	11
1.2 Енергетичні баланси і енергетичні характеристики	14
1.3 Енергетичні характеристики як статистичні зв'язки	17
1.4 Поняття про кореляцію	20
1.5 Енергетичні характеристики як лінійний статистичний зв'язок.....	23
1.6 Енергетичні характеристики як нелінійний статистичний зв'язок.....	25
1.7 Аналіз статистичних характеристик та оцінка похибки кореляційної моделі	28
1.7.1 Аналіз коефіцієнта кореляції.....	28
1.7.2 Аналіз кореляційного відношення	29
РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	31
2.1 Виведення енергетичної характеристики заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку	31
2.1.1 Початкові дані для розрахунку.....	32
2.1.2 Реальність і форма основної енергетичної характеристики заводу важкої промисловості	32
2.1.3 Виведення рівняння основної енергетичної характеристики	37
2.1.4 Обчислення похибки рівняння зв'язку	41
2.2 Виведення енергетичної характеристики цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку.....	47
2.2.1 Початкові дані для розрахунку.....	47

2.2.2 Реальність і форма основної енергетичної характеристики цукрового заводу	47
2.2.3 Виведення рівняння основної енергетичної характеристики	52
2.2.4 Обчислення похибки рівняння зв'язку	56
2.3 Виведення енергетичної характеристики цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку	62
2.3.1 Складання подвійної кореляційної таблиці	63
2.3.2. Визначення реальності існування і форми шуканого зв'язку	64
2.3.3 Вивід рівнянь лінійного кореляційного зв'язку	68
2.3.4 Оцінка похибки рівняння зв'язку	69
2.4 Енергетичні характеристики групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомономенклатурним виробництвом	71
2.5 Висновок	83
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ	84
3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на підприємстві	84
3.2 Заходи щодо усуненню небезпечних і шкідливих факторів	95
3.2.1 Розрахунок контуру заземлення	95
3.2.2 Розрахунок блискавкозахисту	99
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
ДОДАТОК А Звіт подібності	106

ВСТУП

Слово «енергозбереження», безумовно, нам усім добре знайоме і суть його здається заздалегідь очевидною. Але торкаючись енергозбереження - із самого початку необхідно однозначно його визначити. У 1994 році в Україні прийнято Закон «Про енергозбереження», в якому цей термін визначається як «діяльність, яка спрямована на раціональне використання й економне споживання первинної і перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів». У свою чергу, «раціональне використання» енергоресурсів у цьому законі визначене як «досягнення максимальної ефективності використання енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки і технології».

Забезпеченню раціонального та економного витрачання енергоресурсів давно приділяється велика увага, як у всьому світі так і в нашій країні. В умовах непереривного росту вартості енергетичних ресурсів питання збереження та подальшого покращення використання електричної та теплової енергії набувають найважливішого значення. Як показує досвід, накопичений як в нашій країні, так і за кордоном для ефективного рішення вказаних задач покращення використання енергії необхідні обґрунтовані норми витрати електричної енергії.

В переважній більшості наукові праці в цих напрямках базуються на використанні для виводу енергетичних характеристик та аналізу навантажень апарату математичної статистики і теорії ймовірності (головним чином кореляційного аналізу і теорії стаціонарних випадкових процесів).

Актуальність теми. Обов'язковими елементами раціонального використання енергії взагалі та електричної енергії зокрема є контроль та вимірювання обсягів її споживання, а також наявність певного еталонного значення її максимально дозволеного споживання або норми.

Якщо перший елемент, особливо в сучасних умовах, не виникає складнощів завдяки стрімкому розвитку засобів автоматизованого обліку і контролю енергоресурсів (АСКЕ), то другий елемент є більш складним і потребує всебічного дослідження і обговорення.

Наявність максимально дозволеного обсягу споживання електричної енергії або норми дозволить шляхом порівняння з фактичним споживанням робити оцінку ефективності або раціональності її використання. Так, наприклад, норма споживання отримана для нового обладнання може слугувати оцінкою ступеня зношеності старого обладнання.

Найбільш точним і обґрунтованим способом отримання норми витрати енергії є розрахунковий спосіб. Він полягає у визначенні необхідної кількості енергії на кожен конкретну технологічну операцію. Такий спосіб є простим та ефективним лише для простих операцій, наприклад, нагрівання води. В той же час для складних операцій, які до того ж піддані впливу багатьох випадкових факторів, наприклад, різання металу, залежить від твердості матеріалу та ступеня гостроти різального елемента значно ускладнюють застосування розрахункового методу отримання норм. Якщо брати складні технологічні процеси, які включають багато технологічних операцій розрахунковий метод є занадто складним, а його застосування невиправданим. В таких випадках краще застосовувати дослідний метод. Суть цього методу полягає у визначенні з досліду споживання енергії, а застосування кореляційного та регресійного аналізу мінімізує вплив випадкових факторів. Такий метод є виправданим для отримання норм витрати енергії складних агрегатів, цехів та підприємства в цілому.

Враховуючи, що споживання енергії залежить від випуску продукції (як правило зі збільшенням продуктивності збільшується і витрата енергії) питома норма є функцією від випуску продукції, а отримана залежність носить назву енергетичної характеристики. Найбільш коректним є вивід саме енергетичних характеристик, а отримання норм здійснюється на їх основі за відомим випуском продукції.

Саме такий спосіб отримання норми витрати електричної енергії шляхом виводу енергетичної характеристики з застосуванням кореляційного і регресійного аналізу і застосовується в даній магістерській роботі. А отримання подібних характеристик є актуальною науко-практичною задачею.

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

Для досягнення мети поставлено та розв'язано наступні задачі:

1. Розглянуті загальні положення щодо нормування електроспоживання та обґрунтована актуальність теми роботи;

2. Виведені енергетичні характеристики наступних підприємств:

– заводу важкої промисловості, як нелінійного кореляційного зв'язку;

– цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку;

– цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку;

– групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомономенклатурним виробництвом.

Об'єктом дослідження є процес отримання науково обґрунтованих норм витрати енергії.

Предметом дослідження є отримання енергетичних характеристик, як кореляційних зв'язків.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному: отримані енергетичні характеристики заводу важкої промисловості та цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку, цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку, групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомономенклатурним виробництвом дозволяють за відомим значенням випуску продукції розрахувати обґрунтовану загальну та питому норму споживання електроенергії. Обчислені величини є еталоном відносно якого оцінюється енергетична ефективність роботи підприємства в цілому та його обладнання зокрема, що в свою чергу забезпечує раціональне використання електричної енергії.

РОЗДІЛ 1

НОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Основою для нормування витрат електричної енергії та її раціонального використання є енергетичні баланси та енергетичні характеристики.

Задачею нормування є отримання технічного та наукового обґрунтування норм питомої та загальної витрати електроенергії на всіх рівнях виробничого процесу від окремого агрегату до підприємства в цілому.

1.1 Види норм та методи їх отримання

Збільшення конкуренції між виробниками пред'являє, в свою чергу, все більш жорсткі вимоги до обґрунтованості необхідних витрат енергії на випуск продукції. Таким чином, отримання науково обґрунтованих питомих норм витрат електроенергії на одиницю продукції є важливою господарчою задачею.

Під нормуванням витрат електроенергії розуміють встановлення запланованої величини витрат електроенергії на виробництво одиниці продукції.

Відповідно до положення по нормуванню витрат палива, електричної і теплової енергії в промисловості, норма витрат – це максимально допустима кількість палива, електричної і теплової енергії для виробництва одиниці продукції встановленої якості з урахуванням планових організаційно-технічних умов виробництва.

Визначаючи на наукових засадах норми питомих витрат енергії на одиницю продукції або роботи, ми складаємо базу для розрахунку потреби в енергетичних ресурсах діляниць виробництва, цехів, підприємств, територіальних комплексів і країни в цілому.

Таким чином, нормування електроспоживання є первинною технічною базою планування її електропостачання.

В широкому смислі слова роботи по нормуванню електроспоживання на промислових підприємствах повинно вміщувати:

а) дослідження технології і енергетики нормованих операцій і процесів; аналіз факторів, що впливають на працездатність устаткування і витрати енергії, встановлення функціональних (статистичних) зв'язків між витратами енергії та продуктивність;

б) аналіз технологічних операцій і процесів в цілях виявлення резервів підвищення продуктивності устаткування та зниження витрат енергії, нормалізацію технологічних та енергетичних параметрів і встановлення раціональних режимів роботи устаткування;

в) аналіз фактичних витрат енергії, оцінку можливого зниження витрат і проектування конкретних заходів по економії енергії;

г) складання нормативних електробалансів, а де це можливо енергетичних характеристик і розрахунок на цій основі технічно обґрунтованих норм питомих витрат енергії;

д) впровадження встановлених норм, контроль за їх виконанням, складання та аналіз фактичних електробалансів і енергетичних характеристик, виявлення нових резервів економії енергії;

е) перегляд на вказаній основі діючих норм і встановлення нових більш прогресивних норм.

З приведеного переліку слідує, що технічне нормування органічно зв'язане з технологією виробництва і раціоналізацією енергогосподарства. Разом з тим нормування енергоспоживання фактично пов'язане з енергетичним обліком, контролем і аналізом електровикористання, створюючи разом з ними комплексну систему планомірно проводячи і періодично повторюючи роботи, які забезпечують ефективне використання енергоресурсів.

В інструктивних вказівках по нормуванню енергоспоживання в промисловості норми питомих витрат енергії поділяються на:

- 1) технологічні;
- 2) цехові;
- 3) загальнозаводські.

Технологічні норми визначають витрати енергії на здійснення головних (технологічних) операцій і процесів по виробленню продукції агрегатом, цехом, підприємством.

Ці норми, як правило, встановлюються завжди в вигляді питомих витрат енергії на одиницю продукції. В свою чергу їх ділять на по операційні та по прецесійні.

На відміну від технологічних норм, загальнозаводські та цехові норми містять в собі загальні витрати по цехам та заводу в цілому.

По періоду дії норми можуть бути річними, квартальними, місячними і добовими. Крім того норми підрозділяються на індивідуальні та галузеві. Індивідуальні норми витрат електроенергії розроблюються по кожному підприємству (цеху, агрегату) застосовують до конкретних умов виробництва продукції (роботи), в тому чи іншому ступені впливовим на величину норм витрат. Галузеві норми витрат встановлюються по міністерствам та відомствам України, економічним районам та плануються по окремим галузям.

Як відомо норми витрат електроенергії можуть бути визначенні трьома способами:

- 1) розрахунковим;
- 2) дослідним або експериментальним;
- 3) розрахунково-дослідним.

Розрахунковий метод оснований на постійному розрахунку норм витрат і на прогресивних показниках використання електроенергії.

Дослідний метод полягає у визначенні кількості енергії на корисну роботу і втрат енергії на основі даних вимірів, отриманих при проведенні іспитів механізмів безпосередньо у виробничих умовах. При цьому необхідно, щоб умови споживання енергії за час досліджень відповідали умовам виробництва для періоду, що планується.

Розрахунково-дослідний метод оснований на визначенні кількості енергії на корисну роботу розрахунком, а втрат енергії - дослідним шляхом.

Науково обґрунтовані норми питомих витрат електроенергії визначають на основі нормативних енергобалансів та енергетичних характеристик.

1.2 Енергетичні баланси і енергетичні характеристики

Основне узагальнене рівняння енергобалансу потужності може бути визначено за формулою:

$$P = P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{хх}} + (\Delta P_{\text{ел.заг.}} + \Delta P_{\text{ел.м.}} + \Delta P_{\text{ел.тр.}}) + \Delta P_{\text{мех}}, \text{ кВт} \quad (1.1)$$

де: P – дохідна частина електричного балансу;

$P_{\text{т}}$ – корисна (що споживається на технологічний процес) потужність;

$\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати холостого ходу устаткування (електричні та механічні);

$\Delta P_{\text{ел.заг.}}$ – навантажувальні втрати в електроустаткуванні;

$\Delta P_{\text{ел.м.}}$ – навантажувальні втрати в електричних мережах;

$\Delta P_{\text{ел.тр.}}$ – навантажувальні втрати в трансформаторах;

$\Delta P_{\text{мех}}$ – механічні навантажувальні втрати.

Аналізуючи рівняння електричного балансу, а також методи його побудови, можна прийти до висновку, що найбільш придатним для застосування є розрахунково-дослідний метод.

Енергетичний баланс не відображає в повній мірі динаміку режиму роботи підприємства і в тих випадках, коли спостерігається взаємозв'язок між електроспоживанням та продуктивністю механізму (цеха, підприємства) для нормування електроспоживання цілеспрямовано використовувати енергетичні характеристики, що встановлюють залежності:

$$P = f(A), \quad (1.2)$$

а також

$$\omega = f(A), \quad (1.3)$$

де: P – середня потужність, споживана електродвигуном (цехом, підприємством) з мережі за певний відрізок часу;

A – середня продуктивність механізму за той же час;

ω – питоме споживання енергії на одиницю продукції, що виробляє механізм.

В загальному вигляді енергетичні характеристики мають наступний вигляд:

$$P = b \cdot A^g + P_{\text{пост}}, \quad (1.4)$$

$$\omega = P/A = b \cdot A^{g-1} + P_{\text{пост}}/A, \quad (1.5)$$

де: b , $P_{\text{пост}}$, g – постійні величини, параметри енергетичної характеристики.

В зв'язку з значним підвищенням електроозброєності промисловості і широкому застосуванню електричної енергії безпосередньо в технологічних процесах питання її нормування набувають галузевого характеру.

Питомі витрати електроенергії, що є функцією багатьох складових, мають свою галузеву специфіку, тому що залежить від факторів, що характеризують режими роботи електроспоживачів даної галузі виробництва. Тому його вивчення, аналіз та нормування повинні виконуватись в аспекті даної галузі або ряду суміжних однорідних галузей промисловості, які мають спільні закономірності в технологічних процесах та однакове устаткування.

Досвід експериментальних досліджень, а також статистичних спостережень показує, що завдяки дії випадкових побічних факторів (які вловити досить важко та врахувати їх неможливо) одному й тому ж технологічному параметру можуть відповідати різні питомі витрати електроенергії, розподілені з різною частотою.

Питомі витрати електроенергії можна вважати випадковою величиною, оскільки вони залежать не тільки від багатьох головних, а й від цілого ряду побічних та другорядних факторів. Правильно оцінити вплив випадковостей можна лише використовуючи теорію ймовірності та математичну статистику,

на основі яких запропоновані методи визначення енергетичних характеристик, як статистичних зв'язків з використанням теорії кореляції і регресійного аналізу для ряду галузей промисловості. При цьому для розрахунку енергетичних показників (питомого та загального споживання електроенергії, коефіцієнта використання встановленої потужності електроприводів) запропоновані логічно і теоретично обґрунтовані зв'язки виду:

$$\left(\frac{\omega}{P_y} \right) = f(\alpha), \quad (1.6)$$

або

$$\omega = f(\alpha, P_y), \quad (1.7)$$

де: ω – питома споживання електроенергії, в кВт·год на одиницю продукції;

$p_y = P_y/A$ – питома встановлена потужність;

$\alpha = A/A_0$ – продуктивність підприємства в відносних одиницях;

A – повна (задана) продуктивність підприємства на період, для якого визначена норма;

A_0 – проектна продуктивність підприємства на той же період;

P_y – сумарна встановлена потужність всіх силових електроприймачів підприємства, кВт.

Таким чином, для розрахунку по цьому методу треба знати тільки два показника P_y і A_0 .

Залежність виду (1.6) можна назвати основною енергетичною характеристикою підприємства, так як за допомогою простих перетворень з неї можна отримати інші енергетичні характеристики.

Підприємства нерідко виробляють продукцію різноманітної енергоемності. Ці розходження визначаються багатотипністю продукції і наявністю різних видів і типорозмірів її. Нерідко єдину продукцію вироблюють

на агрегатах різної економічності і різних типів, що приводить до різноманітних питомих витрат енергії.

Сказане пояснює, чому в практиці енергетичного нормування приходится встановлювати норми, диференційовані по окремим видам продукції або агрегатам однакової економічності і норми отримані для груп продукції різноманітних видів та типорозмірів. Вказане ділення характерно і для технологічних, і для цехових, і загальнозаводських норм. Питання вибору показників нормування, переходу від диференційних до укрупнених норм, а також визначення коефіцієнтів енергоємності при випуску різнорідної продукції необхідно для побудови енергетичних характеристик.

Всі перелічені методи, в залежності від конкретних умов виробництва, можуть бути успішно використані для нормування електроспоживання, однак в силу впливу різноманітного роду випадкових факторів функціональним залежностям протиставлять основані на дослідних даних статистичні зв'язки.

При цьому для побудови і аналізу енергетичних характеристик все більш широкого використання набула теорія кореляційних зв'язків і регресійного аналізу.

1.3 Енергетичні характеристики як статистичні зв'язки

При експериментальному дослідженні параметрів енергетичних характеристик, вони можуть розглядаються як зв'язки, що відтворюють стан механізмів, а також умови їх експлуатації. Таке розуміння енергетичних характеристик вимагає вивчати їх як залежності, що обумовлюються не тільки визначеними основними показниками, а також і деякими іншими випадковими, другорядними, постійними в практиці причинами, які порушують жорсткий функціональний зв'язок між основними показниками.

В якості прикладу, втрати механічної потужності у вузлах тертя залежать від величини коефіцієнта тертя. Який у свою чергу, особливо для вузлів граничного та сухого тертя, на що вказують численні дослідження, залежить від деяких неврахованих параметрів (жорсткості, тиску, розміру

поверхні та ступеня її забруднення). Отже, створити саме такі умови, за яких визначалося приватне або табличне значення коефіцієнту тертя, вкрай складно.

Зазначене вище відноситься і до виконуючого органу механізму, адже в більшості випадків саме в ньому втрачається значна частина потужності, яка споживається усім механізмом в цілому. Виконання різноманітних технологічних операцій в більшості випадків пов'язано або з явищами тертя (наприклад, для транспортувальних установок) або з коефіцієнтами опору різних матеріалів. Останні не завжди можуть бути віднесені до сталих величин. Природні матеріали (руда, вугілля і т.п.) мають особливо нерівномірну за міцністю будову. До того ж, на значення величини потужності, що споживається виконавчим механізмом або силовою головкою поступово впливає затуплення робочого інструменту. Також, необхідно враховувати похибки вимірювань, що впливають на отримане значення енергії і кількості продукції.

Питома витрата електроенергії залежить від багатьох факторів, та має свої галузеві особливості. Отже, дослідження, аналіз та нормування необхідно здійснювати в розрізі галузі та підприємств, які мають однакове устаткування та спільні закономірності технологічного процесу.

Досвід експериментальних досліджень та статистичних спостережень вказує, що під впливом випадкових факторів, які практично неможливо уловити та дуже важко врахувати, призводять до того, що одному технологічному параметру (наприклад, випуску продукції) відповідають різні за значенням витрати електроенергії, які розподілені з певною частотою.

Таким чином, витрату електроенергії та випуск продукції, можна вважати випадковими величинами, адже на їх значення впливають не тільки основні, але і цілий ряд другорядних та випадкових факторів.

Отже, чітким та функціональним або розрахунковим залежностям протидіють статистичні зв'язки, які засновані на дослідних даних. Далі будемо вважати, що енергетичні характеристики це багатовимірні та статистичні

зв'язки, тому для отримання розрахунково-дослідних залежностей необхідно використовувати методи теорії кореляційного аналізу.

На основі зробленого припущення, що енергетичні характеристики є статистичними зв'язками можна сформулювати принципи, яких необхідно дотримуватися при проведенні експериментів (дослідів), які мають на меті визначення норм споживання енергії.

1. Враховуючи, що на значення вимірних величин в процесі дослідів впливає значна кількість випадкових та другорядних величин є не виправданим застосування приладів вимірювання з великим класом точності. Адже незначна зміна зовнішніх факторів призводить до отримання нових (відмінних) значень вимірних величин при повторенні дослідів навіть для даного та тим більше для іншого вимірювального об'єкту (установки, агрегату, цеху, заводу в цілому).

Тому для отримання більш надійних даних необхідно збільшувати не точність вимірювання, а кількість проведених дослідів набираючи тим самим більшу статистичну базу.

2. При проведенні дослідів за методикою, що пропонується слід використовувати вимірювальні прилади для визначення як електричних так і неелектричних величин.

Для визначення спожитої енергії та потужності слід застосовувати стаціонарні, штатні або конструктивно передбачені прилади обліку. Під'єднання приладів обліку до вимірювальних об'єктів повинно проводитися за стандартними схемами або методиками. Бажано використовувати для отримання даних засоби АСКУЕ.

3. При проведенні дослідних експериментів необхідно відзначати не тільки енергетичні але і інші технологічні параметри (наприклад, температура, тиск), що пов'язані з споживанням енергії. Це дозволить отримати більш повну картину пов'язану з умовами проведення експерименту для дослідного об'єкту.

Визначити подібні неенергетичні показники можливо шляхом теоретичного аналізу відомих залежностей, та фізичних принципів застосованих в дослідному об'єкті.

4. Зрозуміло, що досліди повинні проводитися на справному обладнанні, що знаходяться в задовільному стані.

1.4 Поняття про кореляцію

Для визначення параметрів нормально розподілених та залежних між собою випадкових величин недостатньо знати їхні математичні очікування та дисперсії. Тому вводяться також, ще ряд додаткових величин:

- кореляційний момент (коваріація):

$$\mu_{II} = M[W - M(W)] \cdot [A - M(A)] \quad (1.8)$$

- коефіцієнт кореляції:

$$r = \mu_{II} / \sigma_W \cdot \sigma_A \quad (1.9)$$

де σ_W , σ_A – середньоквадратичне відхилення, відповідно для споживання електроенергії та для випуску продукції.

- умовне математичне очікування:

$$M(W/A). \quad (1.10)$$

Виявляється, якщо величина A буде змінюватися, то відповідно буде змінюватися і її умовне математичне очікування $M(W/A)$. Тому, умовне математичне очікування можливо поставити в залежність від величини A , тобто:

$$M(W/A) = f(A). \quad (1.11)$$

Рівняння виду $W = f(A)$ є рівнянням регресії, а лінія яка обумовлена ним є лінія регресії.

Задача кореляційного аналізу полягає у визначенні, як сили зв'язку і її форми (лінійна чи нелінійна залежність). Сила зв'язку (тіснота) між двома величинами визначається за допомогою коефіцієнта кореляції r .

Форма зв'язку оцінюється за допомогою кореляційного відношення, що визначається за формулою:

$$\eta = \sigma_{\bar{w}} / \sigma_w . \quad (1.12)$$

де $\sigma_{\bar{w}}$ – стандарт або середньоквадратичне відхилення приватних середніх;

σ_w – середньоквадратичне відхилення.

Зазначимо властивості коефіцієнта кореляції та кореляційного відношення:

$$\begin{aligned} -1 &\leq r \leq +1; \\ -1 &\leq \eta \leq +1; \\ \eta &\geq r. \end{aligned} \quad (1.13)$$

У випадку $\eta = r$ – зв'язок між двома величинами є лінійний;

У випадку $\eta > r$ – зв'язок між двома величинами нелінійний, але ще необхідно довести, що різниця між цими величинами є суттєва та відхилення не випадкове.

Коректно врахувати вплив випадкових факторів на величину споживної електричної енергії (питомої та загальної), яка як зазначалося вище є випадковою величиною, при розробці математичної моделі можна лише застосуванням теорії ймовірності та математичної статистики.

В багатьох інженерних та економічних задачах математичного моделювання з стохастичним характером досліджуваних величин застосовується кореляційне моделювання. Його суть полягає в тому, щоб знайти математичну залежність взаємозв'язків в досліджуваному процесі, тобто

знайти математичну формулу, яка відповідає зв'язку явища, що моделюється від факторів під дією яких воно формується.

Характерною рисою даних математичних моделей є те, що залежна змінна є середньою величиною (математичним очкуванням), та не визначається однозначно факторами, які впливають на отриманий результат.

Кореляційне моделювання складається з наступних стадій:

- постановка задачі, теоретичне та логічне формулювання задачі;
- вибір показника отриманого результату, який формулюється в залежності від мети дослідження;
- збір дослідних статистичних даних та їх обробка;
- встановлення форми та сили кореляційного зв'язку;
- оцінка отриманих параметрів кореляційного зв'язку;
- вивід (отримання) кореляційної математичної моделі, аналіз та її інтерпретація;
- оцінка похибки отриманого рівняння кореляційного зв'язку.

Незважаючи на безліч інженерних, технічних, економічних та наукових задач, що вирішуються за допомогою кореляційного аналізу можна сформулювати загальну методологію моделювання процесів, що досліджуються.

– побудові математичної моделі передують змістовний теоретичний аналіз дослідного процесу з вивченням його взаємозв'язків. Необхідно обрати результативну ознаку (залежний показник), який повинен бути чітко сформульований та виражений у кількісному значенні та залежну змінну (фактична ознака, яка є вхідною величиною математичної моделі). Залежна змінна повинна безпосередньо та кількісно визначати результати виробництва. У випадку неможливості обрати прямого показника необхідно обрати опосередкований показник, який також з достатньою точністю буде характеризувати результат виробництва.

В математичну модель, що розробляється варто включати лише фактори, що суттєво впливають на дослідний процес. В процесі створення

регресійної математичної моделі вплив усіх другорядних факторів усередниться, це в свою чергу дасть можливість визначати лише суттєві фактори.

Отримані вхідні данні повинні бути репрезентативними та характеризувати загальні риси генеральної сукупності даних.

Найбільш відповідальним етапом розробки математичної моделі є відшукування форми зв'язку, яка може вплинути на якість отриманої моделі в цілому. До того ж теорія кореляційного аналізу не надає певних порад, щодо знаходженню виду зв'язку.

Розв'язок кореляційної математичної моделі повинен проводитися з наперед заданою точністю, а отримане в результаті розрахунку рівняння повинне мати прийнятну для практичних розрахунків похибку.

Результати математичного моделювання необхідно піддавати аналізу та корекції, з метою досягнення максимальної відповідності дослідним зв'язкам.

Кількісна оцінка якості отриманої моделі проводиться з допомогою наступних показників: коефіцієнту кореляції та кореляційного відношення, деяких показників дисперсійного аналізу і т.п.

Якісний аналіз отриманої математичної моделі проводиться з тлумачення фізичного змісту та фактичної відповідності логічним уявленням і розумінню дослідного процесу відповідних факторів, що застосовані в математичній моделі.

Дослідження електропоживання можливо шляхом використання звичайного двохфакторного кореляційного аналізу, математичний апарат якої дозволяє поєднати дві величини між собою, які в даному випадку є величина споживання електроенергії та випуску продукції.

1.5 Енергетичні характеристики як лінійний статистичний зв'язок

Теоретичні розуміння, а також попередні розрахунки показників статистичного зв'язку, зокрема, коефіцієнту кореляції і кореляційного відношення і їхнє порівняння дозволяють дати коректну відповідь на питання

який кореляційний зв'язок (лінійний або нелінійний) спостерігається між шуканими величинами.

Розглянемо спочатку знаходження лінійного зв'язку в загальному вигляді.

Нехай дано двомірний статистичний розподіл $F(y_i, x_h, n_{h,i})$ і поставимо задачу визначення лінійної регресії Y на X , тобто знаходження рівняння, яке б можливо $Y = ax + b$ точніше відтворювало умовні (приватні) середні для заданих $X = x_h$.

Така задача вирішується за допомогою методу найменших квадратів, що потребує, щоб сума квадратів відхилення дослідних точок (умовних середніх) від точок, що лежать на шуканій прямій була мінімальною. Складемо дану суму:

$$S = \sum n_h (\bar{y}_h - ax - b)^2 = \min \quad (1.14)$$

Для того щоб зазначена сума прагнула до мінімуму цю функцію необхідно досліджувати на її екстремум. Після цього потрібно взяти похідні по шуканих коефіцієнтах і дорівняти їх до нуля:

$$\begin{cases} \frac{ds}{da} = 0 \\ \frac{ds}{db} = 0 \end{cases} \quad (1.15)$$

вирішуючи цю систему, отримаємо:

$$Y - \bar{Y} = \rho(x - \bar{x}). \quad (1.16)$$

За аналогією, переходячи до енергетичної характеристики і прийнявши $Y = W, x = A$ отримаємо:

$$W - \bar{W} = \rho(A - \bar{A}). \quad (1.17)$$

де $\bar{W}$ – середня витрата електроенергії в даній вибірці;

$\bar{A}$ – середня продуктивність в даній вибірці;

$\rho = r \cdot \frac{\sigma_W}{\sigma_A}$ – коефіцієнт регресії.

Останнє рівняння є рівняння прямої (рівняння регресії), біля котрої щільніше усього лежать дослідні точки (приватні середні), тобто рівняння енергетичної характеристики, як лінійного кореляційного зв'язку.

1.6 Енергетичні характеристики як нелінійний статистичний зв'язок

Розглянемо методику отримання енергетичної характеристики, як нелінійного статистичного (кореляційного) зв'язку.

В практичних прикладних розрахунках, яка правило, приходиться зустрічатися з нелінійними статистичними (кореляційними) зв'язками. Це означає, що приватні середні значення (дослідні дані) лягають ближче до деякої кривої, ніж до прямої лінії.

При проведенні нелінійної регресії головним питанням, насамперед є визначення так званої тісноти зв'язку між двома величинами Y і X . К. Пірсон запропонував в якості показника нелінійності зв'язку використовувати кореляційне відношення. Перелічимо загальні властивості кореляційного відношення:

- у випадку відсутності статистичного (кореляційного) зв'язку між двома величинами Y і X кореляційне відношення η дорівнює нулю. Тобто, якщо $\eta = 0$ Y та X між собою ніяк непов'язані;

- у випадку функціонального зв'язку між Y і X кореляційне відношення дорівнює одиниці $\eta = 1$.

Перелічені властивості пояснюють зміст граничних значень кореляційного відношення. Проміжні значення між граничними можна пояснити з тотожності:

$$\bar{\sigma}_x^2(Y) = (1 - \eta^2) \cdot \sigma_y^2. \quad (1.18)$$

Рівняння (1.18) показує, що у випадку наближення η до 1 середня дисперсія Y у стовпчиках зменшується, та прямує до нуля. А це в свою чергу показує, що зв'язок між Y та X стає більш тіснішим. Тобто, кореляційне відношення η є кількісною мірою сили кореляційного (статистичного) зв'язку з будь-якою формою. В цьому і пояснюється більша перевага кореляційного відношення перед найбільш поширеним коефіцієнтом кореляції, який відповідає кількісній оцінці лише лінійного статистичного зв'язку.

В деяких випадках теоретичний аналіз та отримані дослідні дані дозволяють припустити форму кривої кореляційної залежності. Потім можна зробити розрахунки методом найменших квадратів відносно приватних середніх та кривої, що була припущена.

Розглянемо випадок параболічної залежності між змінними Y та X .

Звичайна парабола в загальному вигляді має наступний вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_p \cdot x^p, \quad (1.19)$$

Значення коефіцієнтів рівняння (1.19) можна знайти методом найменших квадратів. В цьому випадку необхідно розв'язати рівняння таким чином, щоб сума:

$$S = \sum n_h \left(\bar{Y}_h - a_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot x^2 - \dots - a_p \cdot x^p \right)^2, \quad (1.20)$$

була мінімальна для знайдених значень коефіцієнтів.

Для розв'язку рівняння (1.20) необхідно прирівняти до нуля часткові похідні:

$$\frac{ds}{da_0} = 0; \frac{ds}{da_1} = 0; \dots \frac{ds}{da_p} = 0. \quad (1.21)$$

Отже, отримані рівняння можна звести до наступного вигляду:

$$\begin{aligned} a_0 \sum n_x + a_1 \sum n_x \cdot x + \dots + a_p \sum n_x \cdot x^p &= \sum n_x \cdot \bar{Y}_h \\ a_0 \sum n_x \cdot x + a_1 \sum n_x \cdot x^2 + \dots + a_p \sum n_x \cdot x^{p+1} &= \sum n_x \cdot x \cdot \bar{Y}_h \\ a_0 \sum n_x \cdot x^p + a_1 \sum n_x \cdot x^{p+1} + \dots + a_p \sum n_x \cdot x^{2p} &= \sum n_x \cdot x^p \cdot \bar{Y}_h \end{aligned} \quad (1.22)$$

де $n_x = n_h$ – кількість відліків (дослідних даних, проведених експериментів) при даному $X = x_h$;

$\bar{Y}_h$ – приватні середні (обчислені дослідні точки осередненням на певних інтервалах).

Вирішуючи систему рівнянь (1.22) знаходимо значення коефіцієнтів $a_0, a_1, a_2 \dots a_p$ рівняння (1.19), що обертають суму S (1.20) в мінімум.

Зробивши заміну в рівнянні (1.19) на $Y = \omega$, а $X = 1/A$ або $X = \frac{1}{\sqrt{A}}$

отримаємо загальний випадок деякої гіперболічної залежності $\omega = f(A)$, що пов'язує питому витрату електроенергії з випуском продукції, як нелінійного кореляційного зв'язку.

1.7 Аналіз статистичних характеристик та оцінка похибки кореляційної моделі

1.7.1 Аналіз коефіцієнта кореляції

У випадку кількості дослідних даних (обсязі вибірки) $n \geq 50$ середньоквадратичне відхилення коефіцієнту кореляції, наближено можна обчислити за формулою:

$$\sigma_r = \frac{1-r}{\sqrt{n-1}}. \quad (1.23)$$

Будемо вважати, що отримані дослідні дані є випадковою вибіркою генеральної сукупності. Тоді значення коефіцієнта кореляції генеральної сукупності r_0 та обчисленого за отриманими дослідними даними r буде менше за $3\sigma_r$.

На практиці, у випадку невеликої кількості дослідних спостережень або при невеликому значенні коефіцієнта кореляції (близькому до нуля) виникає сумнів у реальність існування зв'язку між досліджуваними величинами. Тому постає питання чи не випадково коефіцієнт кореляції відрізняється від нуля і чи не дорівнює він нулю насправді, а відхилення від нуля може пояснюватися випадковим збігом в отриманих дослідних даних. В цьому випадку довести значущість коефіцієнта кореляції можливо шляхом прирівнювання його до стандарту. Причому коли $r = 0$, його середньоквадратичне відхилення дорівнює:

$$\sigma_r = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad (1.24)$$

Тоді, якщо виконується дана нерівність:

$$\frac{|r|}{\sigma_r} = |r| \cdot \sqrt{n-1} \geq 3. \quad (1.25)$$

можна вважати коефіцієнт кореляції значущим, а зв'язок між двома величинами реальним.

1.7.2 Аналіз кореляційного відношення

В більшості випадків кореляційне відношення можна оцінити за значенням його середньоквадратичного відхилення (стандарту):

$$\sigma_\eta = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n}}. \quad (1.26)$$

Але оцінка кореляційного відношення за його стандартом є не достатньо надійна навіть при великій кількості дослідів. Більш точним для доведення існування не лінійного кореляційного зв'язку є порівняння коефіцієнта кореляції і кореляційного відношення між собою. Дане порівняння можливе при будь-якій кількості спостережень. Для цього обчислюється критерій T_η за формулою:

$$T_\eta = \frac{(n-s) \cdot (\eta^2 - r^2)}{(s-2) \cdot (1 - \eta^2)}. \quad (1.27)$$

Отримане значення T_η порівнюється з табличним значенням $T_{\text{табл}}$, яке обирається для заданої межі довірчої ймовірності та ступенів свободи:

$$K_1 = S-2, \text{ та } K_2 = n-S,$$

де: S – кількість стовпчиків в подвійній кореляційній таблиці, для якої розраховані значення η і r .

У випадку, якщо $T_{\eta} > T_{\text{табл}}$, то розбіжність між ω та A є суттєвою.

Оцінити якість отриманої математичної моделі зручно за середньоквадратичним відхиленням на одиницю ваги виразивши її у відсотках за формулою:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-c} \sum \left[\frac{\omega_p - \bar{\omega}_h}{\omega_p} \cdot 100 \right]^2} \cdot n_h . \quad (1.28)$$

де n – обсяг вибірки (кількість дослідів);

c – число невідомих параметрів (кількість коефіцієнтів);

ω_p – розрахункове значення електроспоживання;

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

n_h – число відліків ω_i при даному $A = A_h$.

РОЗДІЛ 2

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Для виробничих цехів і підприємства 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 являються 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 та підприємства.

2.1 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:

$$\left(\frac{\omega}{p_y} \right) = f(\alpha), \quad (2.1)$$

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

α – добовий випуск продукції.

Щоб знайти статистичний зв'язок виду (2.1), треба вирішити дві задачі: визначити форму зв'язку і встановити її міць.

2.1.1 Початкові дані для розрахунку

Загальна встановлена потужність по заводу:

$$P_{\text{вст.}} = 49600 \text{ кВт.}$$

Середня потужність заводу:

$$P_{\text{ср.}} = P_{\text{вст.}} \cdot K_{\text{ц}} = 49600 \cdot 0,4 = 19840 \text{ кВт.}$$

Споживання електроенергії за добу:

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

Фактичне питоме споживання електроенергії:

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

Проектна добова потужність:

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

Питома встановлена потужність заводу:

$$p_y = P_{\text{вст.}} / A_0 = 49600 / 238,08 = 208,3 \text{ в.о.}$$

Відношення питомої витрати електроенергії до питомої встановленої потужності:

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

2.1.2 Реальність і форма основної енергетичної характеристики заводу важкої промисловості

Для розподілу отриманих після опрацювання вихідних показників (ω/p_y) і α по інтервалах складаємо подвійну кореляційну таблицю (табл. 2.1), 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.

На підставі даних табл. 2.1 обчислюємо такі показники:

Таблиця 2.1 - Подвійна кореляційна таблиця зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

$\alpha \backslash (\omega/p_y)_i$	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
$(\omega/p_y)_a$	13,20	10,70	8,89	7,03	5,05	3,02	1,20	

1. Повні середні (табл. 2.2):

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \cdot \alpha = \frac{1}{76} \cdot 75,6 = 0,995,$$

$$\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y} \right) = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y} \right) = \frac{1}{76} \cdot 533,2 = 7,016.$$

2. Стандарти:

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

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

Таблиця 2.2 – Обчислення до виводу зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

α	n_a	$n_a \cdot \alpha$	α^2	$n_a \cdot \alpha^2$	$(\omega/p_y)_i$	n_i	$n_i \cdot (\omega/p_y)$	$(\omega/p_y)^2$	$n_i \cdot (\omega/p_y)^2$
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
Σ	76	75,6	8,12	81,36		76	533,2	474,88	4414,24

3. Коваріація (табл. 2.3):

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

4. Коефіцієнт кореляції:

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

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:

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

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

Таблиця 2.3 – Обчислення до виводу зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

α	(ω/p_y)	$\alpha \cdot (\omega/p_y)$	$n_{\alpha,i}$	$n_{\alpha,i} \cdot \alpha \cdot (\omega/p_y)$
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
Σ			76	470,72

Таблиця - 2.4 – Обчислення кореляційного відношення

α	$(\omega/p_y)_\alpha$	$(\omega/p_y)_\alpha^2$	$n_{\alpha i}$	$n_{\omega i} \cdot (\omega/p_y)_\alpha^2$
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
Σ		453,182	76	4319,838

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

5. Кореляційне відношення:

$$\eta = \frac{\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)}{\sigma\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}, \quad (2.2)$$

Знаходимо (табл. 2.4):

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

отже,

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

Далі знаходимо допоміжні показники:

$$\zeta_1^2 = \frac{n \cdot (\eta^2 - r^2) \cdot \sigma^2 \left(\frac{\omega}{p_y} \right)}{S - 2} = \frac{76 \cdot (0,9273^2 - 0,9277^2) \cdot 2,977^2}{7 - 2} = 0,149,$$

$$\zeta_2^2 = \frac{n \cdot (1 - \eta^2) \cdot \sigma^2 \left(\frac{\omega}{p_y} \right)}{n - S} = \frac{76 \cdot (1 - 0,9273^2) \cdot 2,977^2}{76 - 7} = 1,368.$$

де S – число стовпчиків кореляційної таблиці,

n – кількість вимірів.

6. Знаходимо значення T_η :

$$T_\eta = \frac{\zeta_1^2}{\zeta_2^2} = \frac{1,368^2}{0,149^2} = 9,181.$$

7. Ступені свободи

$$K_1 = S - 2 = 7 - 2 = 5,$$

$$K_2 = n - S = 76 - 7 = 69.$$

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

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

2.1.3 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 перемінної x .

$$Y_p = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2, \quad (2.3)$$

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

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

Складаємо систему нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^5 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x^2 \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^5 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^6 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

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

Таблиця 2.5 – Обчислення коефіцієнту до розв'язку рівнянь

α	$x = \frac{1}{\sqrt{a}}$	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
Σ		76	78,934		84,190		92,412

Продовження табл. 2.5

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
	104,567		122,109		147,216

Продовження табл. 2.5

$\bar{Y}_h$	$n_x \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x^2 \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x^3 \cdot \bar{Y}_h$
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
	533,200	588,191	665,981	774,916

Отримана система рівнянь:

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

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

$$M3 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 & 84,190 & 92,412 \\ 78,934 & 84,190 & 92,412 & 104,567 \\ 84,190 & 92,412 & 104,567 & 122,109 \\ 92,412 & 104,567 & 122,109 & 147,216 \end{pmatrix}$$

$$N3 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \\ 665,981 \\ 774,916 \end{pmatrix}$$

$$A3 = M3^{-1} N3 = \begin{pmatrix} -73,614 \\ 170,175 \\ -118,213 \\ 28,651 \end{pmatrix}$$

$$M2 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 & 84,190 \\ 78,934 & 84,190 & 92,412 \\ 84,190 & 92,412 & 104,567 \end{pmatrix}$$

$$N2 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \\ 665,981 \end{pmatrix}$$

$$A2 = M2^{-1} N2 = \begin{pmatrix} -30,826 \\ 55,243 \\ -17,633 \end{pmatrix}$$

$$M1 = \begin{pmatrix} 76 & 78,934 \\ 78,934 & 84,190 \end{pmatrix}$$

$$N1 = \begin{pmatrix} 533,2 \\ 588,191 \end{pmatrix}$$

$$A1 = M1^{-1} N1 = \begin{pmatrix} -9,157 \\ 15,572 \end{pmatrix}$$

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:

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

2.1.4 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:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-k} \cdot \sum \left[\frac{Y_p - \bar{Y}_x}{Y_p} \cdot 100 \right]^2} \cdot n_\alpha \quad (2.5)$$

де: n – загальне число дослідних даних;

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

Y_p – розрахункове значення відношення (ω/p_y) при даному α ;

$\bar{Y}_x$ – досвідчене значення відношення (ω/p_y) при даному α .

Обчислення для кожного рівняння приводиться у табл. 2.7, 2.9, 2.11.

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

Таблиця 2.6 – Обчислення значень

α	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 2.7 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
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
				$\Sigma =$	76	17698,493

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

Таблиця 2.8 – Обчислення значень

α	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 2.9 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
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
				$\Sigma =$	76	3624,0984

Рівняння третього порядку:

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

Таблиця 2.10 – Обчислення значень

α	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 2.11 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
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
				$\Sigma =$	76	38,7523

За підсумками таблиці визначаємо похибку для кожного виду рівняння:

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

$$\sigma_2\% = \sqrt{\frac{1}{76-2} \cdot 3624,10} = 7,05\%,$$

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

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

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

або

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

Помноживши це рівняння на a , отримаємо залежність:

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

Питоме споживання електроенергії при відповідному значенні питомої встановленої потужності:

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

$$p_{y1} = 150 \text{ в.о.}, p_{y2} = 270 \text{ в.о.}, p_{y3} = 400 \text{ в.о.}$$

По цих рівняннях будемо графіки:

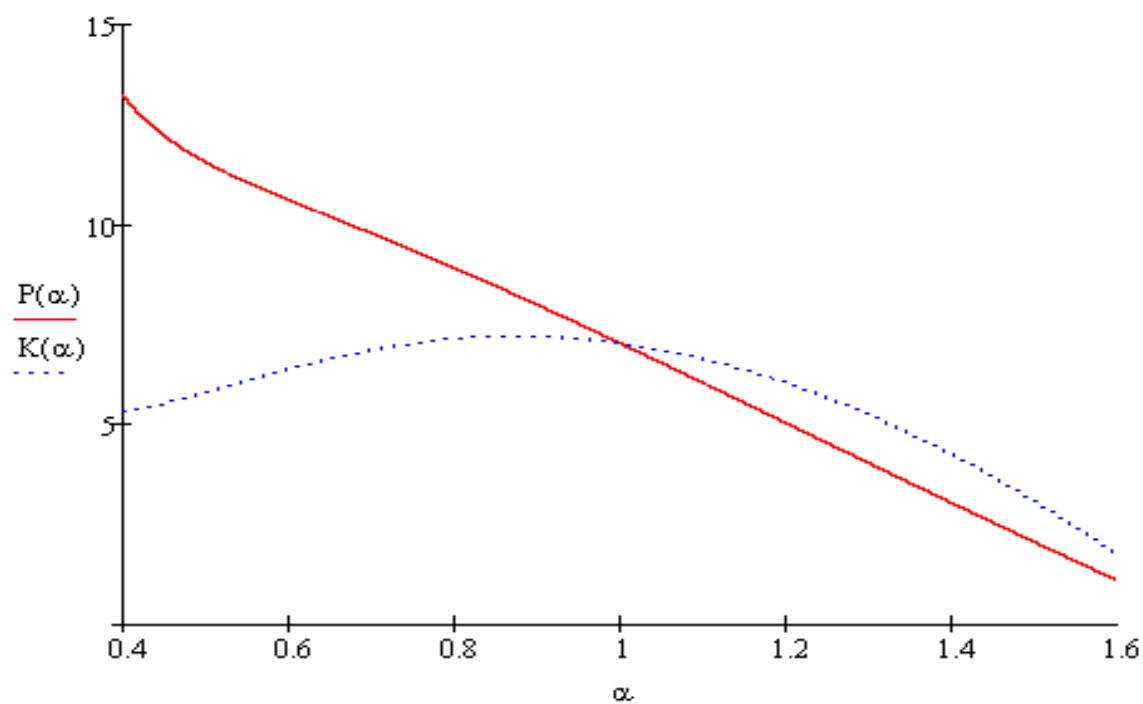


Рис. 2.1 - Графіки залежності $\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = f(\alpha)$, $K_u = f(\alpha)$

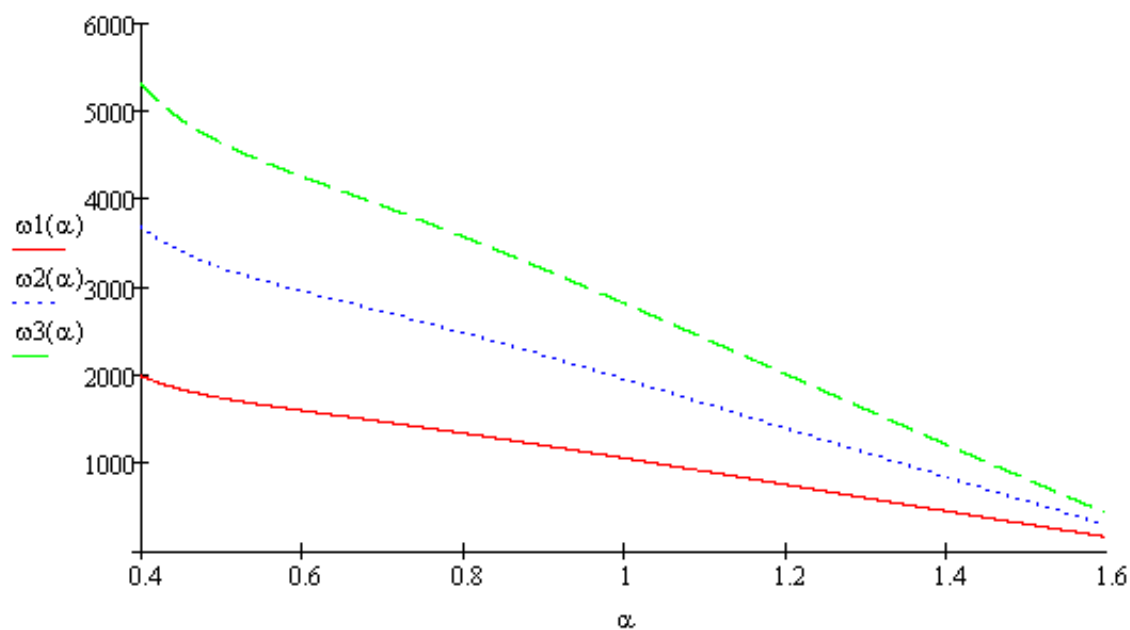


Рис. 2.2 - Графіки залежності $\omega = f(\alpha)$

2.2 Виведення енергетичної характеристики цукрового заводу, як нелінійного кореляційного зв'язку

2.2.1 Початкові дані для розрахунку

Загальна встановлена потужність по заводу:

$$P_{\text{вст.}} = 21750 \text{ кВт.}$$

Середня потужність заводу:

$$P_{\text{ср.}} = P_{\text{вст.}} \cdot K_u = 21750 \cdot 0,4 = 8700 \text{ кВт.}$$

Споживання електроенергії за добу:

$$W_{\text{ср.}} = P_{\text{ср.}} \cdot 24 = 8700 \cdot 24 = 208800 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Фактичне питоме споживання електроенергії:

$$\omega_{\text{ср}} = 600 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Проектна добова потужність:

$$A_0 = W_{\text{ср.}} / \omega_{\text{ср}} = 208800 / 600 = 348 \text{ т/добу.}$$

Питома встановлена потужність заводу:

$$p_y = P_{\text{вст.}} / A_0 = 21750 / 348 = 62,5 \text{ в.о.}$$

Відношення питомої витрати електроенергії до питомої встановленої потужності:

$$\left(\frac{\omega_{\text{ср}}}{p_y} \right) = \frac{600}{62,5} = 9,6 \text{ в.о.}$$

2.2.2 Реальність і форма основної енергетичної характеристики цукрового заводу

Для розподілу отриманих після опрацювання вихідних показників (ω/p_y) і α по інтервалах складаємо подвійну кореляційну таблицю (табл. 2.12), 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 2.12 - Подвійна кореляційна таблиця зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

$\alpha \backslash (\omega/p_y)_i$	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	n_i
4,2					2	2	2	6
4,8				3	2	3	1	9
5,4			2	4	7	1		14
6		1	3	15	1			20
6,6		2	9	1				12
7,2	1	6	1					8
7,8	4	1						5
n_a	5	10	15	23	12	6	3	74
$(\omega/p_y)_a$	7,68	7,02	6,36	5,77	5,15	4,70	4,40	

На підставі даних табл. 2.12 обчислюємо такі показники:

1. Повні середні (табл. 2.12):

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \cdot \alpha = \frac{1}{74} \cdot 72,3 = 0,977,$$

$$\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y} \right) = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y} \right) = \frac{1}{74} \cdot 439,8 = 5,943.$$

2. Стандарти:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \cdot \alpha^2 - \bar{\alpha}^2} = \sqrt{\frac{1}{74} \cdot 72,23 - 0,977^2} = 0,285,$$

$$\sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y} \right)} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y} \right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{74} \cdot 2683,08 - 5,943^2} = 0,967.$$

Таблиця 2.13 – Обчислення до виводу зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

α	n_a	$n_a \cdot \alpha$	α^2	$n_a \cdot \alpha^2$	$(\omega/p_y)_i$	n_i	$n_i \cdot (\omega/p_y)$	$(\omega/p_y)^2$	$n_i \cdot (\omega/p_y)^2$
0,7	5	3,5	0,5	2,5	4,2	6	25,20	17,64	105,84
0,8	10	8,0	0,6	6,4	4,8	9	43,20	23,04	207,36
0,9	15	13,5	0,8	12,2	5,4	14	75,60	29,16	408,24
1,0	23	23,0	1,0	23,0	6,0	20	120,00	36,00	720,00
1,1	12	13,2	1,2	14,5	6,6	12	79,20	43,56	522,72
1,2	6	7,2	1,4	8,6	7,2	8	57,60	51,84	414,72
1,3	3	3,9	1,7	5,1	7,8	5	39,00	60,84	304,20
Σ	74	72,3	7,28	72,23		74	439,8	262,08	2683,08

3. Коваріація (табл. 2.13):

$$\mu_{\Pi} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha,i} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{\omega}{p_y} \right) - \bar{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y} \right) = \frac{1}{74} \cdot 420,48 - 0,977 \cdot 5,943 = -0,125.$$

4. Коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\mu_{\Pi}}{\sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y} \right)}} = \frac{-0,125}{0,285 \cdot 0,967} = -0,878.$$

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:

$$|r| \sqrt{n-1} = 0,878 \cdot \sqrt{74-1} = 7,503 > 3.$$

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

Таблиця 2.14 – Обчислення до виводу зв'язку $(\omega/p_y) = f(\alpha)$

α	(ω/p_y)	$\alpha \cdot (\omega/p_y)$	$n_{\alpha,i}$	$n_{\alpha,i} \cdot \alpha \cdot (\omega/p_y)$
0,7	7,20	5,04	1	5,04
0,7	7,80	5,46	4	21,84
0,8	6,00	4,80	1	4,80
0,8	6,60	5,28	2	10,56
0,8	7,20	5,76	6	34,56
0,8	7,80	6,24	1	6,24
0,9	5,40	4,86	2	9,72
0,9	6,00	5,40	3	16,20
0,9	6,60	5,94	9	53,46
0,9	7,20	6,48	1	6,48
1,0	4,80	4,80	3	14,40
1,0	5,40	5,40	4	21,60
1,0	6,00	6,00	15	90,00
1,0	6,60	6,60	1	6,60
1,1	4,20	4,62	2	9,24
1,1	4,80	5,28	2	10,56
1,1	5,40	5,94	7	41,58
1,1	6,00	6,60	1	6,60
1,2	4,20	5,04	2	10,08
1,2	4,80	5,76	3	17,28
1,2	5,40	6,48	1	6,48
1,3	4,20	5,46	2	10,92
1,3	4,8	6,24	1	6,24
Σ			74	420,48

Таблиця 2.15 – Обчислення кореляційного відношення

α	$(\omega/p_y)_a$	$(\omega/p_y)_a^2$	$n_{\omega i}$	$n_{\omega i} \cdot (\omega/p_y)_a^2$
0,7	7,68	58,982	5	294,912
0,8	7,02	49,280	10	492,804
0,9	6,36	40,450	15	606,744
1	5,77	33,238	23	764,468
1,1	5,15	26,523	12	318,270
1,2	4,70	22,090	6	132,540
1,3	4,40	19,360	3	58,080
Σ		249,923	74	2667,818

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

5. Кореляційне відношення:

$$\eta = \frac{\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)}{\sigma\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}, \quad (2.6)$$

Знаходимо (табл. 2.15):

$$\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right) = \sqrt{\frac{1}{n} \Sigma n_{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{74} \cdot 2683,07 - 5,943^2} = 0,854$$

отже,

$$\eta = \frac{0,854}{0,967} = 0,883.$$

Далі знаходимо допоміжні показники:

$$\zeta_1^2 = \frac{n \cdot (\eta^2 - r^2) \cdot \sigma^2 \left(\frac{\omega}{p_y} \right)}{S - 2} = \frac{74 \cdot (0,883^2 - 0,878^2) \cdot 0,967^2}{7 - 2} = 0,106,$$

$$\zeta_2^2 = \frac{n \cdot (1 - \eta^2) \cdot \sigma^2 \left(\frac{\omega}{p_y} \right)}{n - S} = \frac{74 \cdot (1 - 0,883^2) \cdot 0,967^2}{74 - 7} = 0,229.$$

де S – число стовпчиків кореляційної таблиці

n – кількість вимірів.

6. Знаходимо значення T_η :

$$T_\eta = \frac{\zeta_2^2}{\zeta_1^2} = \frac{0,229}{0,106} = 2,16.$$

7. Ступені свободи

$$K_1 = S - 2 = 7 - 2 = 5,$$

$$K_2 = n - S = 74 - 7 = 67.$$

По таблиці розподілу знайдемо табличне значення $T_{\text{табл}} = 2,29$.

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

2.2.3 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 перемінної x .

$$Y_p = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2, \quad (2.7)$$

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

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

Складаємо систему нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x^2 + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^5 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x^2 \\ a_0 \cdot \Sigma n_x \cdot x^3 + a_1 \cdot \Sigma n_x \cdot x^4 + a_2 \cdot \Sigma n_x \cdot x^5 + a_3 \cdot \Sigma n_x \cdot x^6 &= \Sigma n_x \cdot \overline{y_h} \cdot x^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

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

Таблиця 2.16 – Обчислення коефіцієнту до розв'язку рівнянь

α	$x = \frac{1}{\sqrt{a}}$	n_x	$n_x \cdot x$	x^2	$n_x \cdot x^2$	x^3	$n_x \cdot x^3$
0,7	1,20	5	5,98	1,429	7,143	1,71	8,5
0,8	1,12	10	11,18	1,25	12,5	1,40	14,0
0,9	1,05	15	15,81	1,1	16,67	1,17	17,6
1,0	1,00	23	23,00	1	23	1,00	23,0
1,1	0,95	12	11,44	0,91	10,91	0,87	10,4
1,2	0,91	6	5,48	0,8	5,00	0,76	4,6
1,3	0,88	3	2,63	0,8	2,308	0,67	2,0
Σ		74	75,518		77,526		80,071

Продовження табл. 2.16

x^4	$n_x \cdot x^4$	x^5	$n_x \cdot x^5$	x^6	$n_x \cdot x^6$
2,0	10,2041	2,44	12,20	2,9155	14,58
1,6	15,625	1,75	17,47	1,953	19,53
1,2	18,5	1,30	19,52	1,372	20,58
1,0	23	1,00	23,00	1	23,00
0,8	9,9174	0,79	9,46	0,751	9,02
0,7	4,17	0,63	3,80	0,579	3,47
0,6	1,78	0,52	1,56	0,455	1,37
	83,207		87,002		91,538

Продовження табл. 2.16

$\bar{Y}_h$	$n_x \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x^2 \cdot \bar{Y}_h$	$n_x \cdot x^3 \cdot \bar{Y}_h$
7,68	38,4	45,90	54,85714	65,57
7,0	70,2	78,49	87,75	98,11
6,4	95,4	100,56	106,00	111,73
5,8	132,6	132,60	132,6	132,60
5,2	61,8	58,92	56,18182	53,57
4,7	28,2	25,74	23,5	21,45
4,4	13,2	11,58	10,15	8,91
	439,800	453,78731	471,043	491,933

Отримана система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_0 \cdot 74 + a_1 \cdot 75,518 + a_2 \cdot 77,526 + a_3 \cdot 80,071 &= 439,8 \\ a_0 \cdot 75,518 + a_1 \cdot 77,526 + a_2 \cdot 80,071 + a_3 \cdot 83,207 &= 453,787 \\ a_0 \cdot 77,526 + a_1 \cdot 80,071 + a_2 \cdot 83,207 + a_3 \cdot 87,002 &= 471,043 \\ a_0 \cdot 80,071 + a_1 \cdot 83,207 + a_2 \cdot 87,002 + a_3 \cdot 91,538 &= 491,933 \end{aligned} \right\}$$

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

$$M3 = \begin{pmatrix} 74 & 75,518 & 77,526 & 80,071 \\ 75,518 & 77,526 & 80,071 & 83,207 \\ 77,526 & 80,071 & 83,207 & 87,002 \\ 80,071 & 83,207 & 87,002 & 91,538 \end{pmatrix}$$

$$N3 = \begin{pmatrix} 439,8 \\ 453,787 \\ 471,043 \\ 491,933 \end{pmatrix}$$

$$A3 = M3^{-1} N3 = \begin{pmatrix} -22,788 \\ 29,168 \\ 13,977 \\ -14,491 \end{pmatrix}$$

$$M2 = \begin{pmatrix} 74 & 75,518 & 77,526 \\ 75,518 & 77,526 & 80,071 \\ 77,526 & 80,071 & 83,207 \end{pmatrix}$$

$$N2 = \begin{pmatrix} 439,8 \\ 453,787 \\ 471,043 \end{pmatrix}$$

$$A2 = M2^{-1} N2 = \begin{pmatrix} -64,365 \\ 125,463 \\ -55,103 \end{pmatrix}$$

$$M1 = \begin{pmatrix} 74 & 75,518 \\ 75,518 & 77,526 \end{pmatrix}$$

$$N1 = \begin{pmatrix} 439,8 \\ 453,787 \end{pmatrix}$$

$$A1 = M1^{-1} N1 = \begin{pmatrix} -5,082 \\ 10,803 \end{pmatrix}$$

Отримаємо значення невідомих:

Отримаємо значення невідомих:

$a_0 = -22,788$	$a_0 = -64,365$	$a_0 = -5,082$
$a_1 = 29,168$	$a_1 = 125,463$	$a_1 = 10,803$
$a_2 = 13,977$	$a_2 = -55,103$	
$a_3 = -14,491$		

Розв'язок має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} y &= -5,082 + 10,803 \cdot x \\ y &= -64,365 + 125,463 \cdot x - 55,103 \cdot x^2 \\ y &= -22,788 + 29,168 \cdot x + 13,977 \cdot x^2 - 14,491 \cdot x^3 \end{aligned} \right\}$$

2.2.4 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:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-k} \cdot \sum \left[\frac{y_p - \bar{y}_x}{y_p} \cdot 100 \right]^2} \cdot n_\alpha \quad (2.9)$$

де: n – загальне число дослідних даних;

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

Y_p – розрахункове значення відношення (ω/p_y) при даному α ;

$\bar{Y}_x$ – досвідчене значення відношення (ω/p_y) при даному α .

Обчислення для кожного рівняння приводиться у табл. 2.18, 2.20, 2.22.

Рівняння першого порядку: $Y_p = -5,082 + 10,803 \cdot a^{-\frac{1}{2}}$.

Таблиця 2.17 – Обчислення значень

α	Y_p
0,70	10,35
0,80	8,42
0,90	6,92
1,00	5,72
1,10	4,74
1,20	3,92
1,30	3,23

Таблиця 2.18 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
10,35	7,68	-2,67	-25,80	665,81	5	3329,04
8,42	7,02	-1,40	-16,64	277,04	10	2770,36
6,92	6,36	-0,56	-8,11	65,78	15	986,63
5,72	5,77	0,04	0,77	0,60	23	13,74
4,74	5,15	0,41	8,67	75,25	12	903,03
3,92	4,70	0,78	19,88	395,32	6	2371,92
3,23	4,40	1,17	36,31	1318,22	3	3954,66
				$\Sigma =$	74	14329,38

Рівняння другого порядку: $Y_p = -64,365 + 125,463 \cdot a^{-\frac{1}{2}} - 55,103 \cdot a^{-1}$.

Таблиця 2.19 – Обчислення значень

α	Y_p
0,70	6,87
0,80	7,03
0,90	6,66
1,00	6,00
1,10	5,17
1,20	4,25
1,30	3,29

Таблиця 2.20 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
6,873	7,680	0,807	11,735	137,714	5	688,571
7,028	7,020	-0,008	-0,116	0,013	10	0,134
6,659	6,360	-0,299	-4,491	20,169	15	302,537
5,995	5,765	-0,230	-3,833	14,691	23	337,897
5,166	5,150	-0,016	-0,303	0,092	12	1,100
4,247	4,700	0,453	10,657	113,572	6	681,431
3,286	4,400	1,114	33,885	1148,180	3	3444,541
				$\Sigma =$	74	5456,210

Рівняння третього порядку:

$$Y_p = -22,788 + 29,168 \cdot a^{-\frac{1}{2}} + 13,977 \cdot a^{-1} - 14,491 \cdot a^{-\frac{3}{2}}$$

Таблиця 2.21 – Обчислення значень

α	Y_p
0,70	7,30
0,80	7,04
0,90	6,52
1,00	5,87
1,10	5,17
1,20	4,46
1,30	3,77

Таблиця 2.22 – Обчислення до визначення середньоквадратичної похибки

Y_p	Y_h	$[Y_h - Y_p]$	$[((Y_h - Y_p)/Y_p) \cdot 100]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$[\Delta Y\%]^2 \cdot n_\alpha$
7,299	7,680	0,381	5,225	27,303	5	136,514
7,042	7,020	-0,022	-0,316	0,100	10	1,001
6,516	6,360	-0,156	-2,390	5,711	15	85,665
5,866	5,765	-0,101	-1,718	2,952	23	67,891
5,168	5,150	-0,018	-0,356	0,127	12	1,519
4,462	4,700	0,238	5,323	28,340	6	170,038
3,769	4,400	0,631	16,740	280,218	3	840,655
				$\Sigma =$	74	1303,28269

За підсумками таблиці визначаємо похибку для кожного виду рівняння:

$$\sigma_1 \% = \sqrt{\frac{1}{74-2} \cdot 14329,38} = 14,1074\%,$$

$$\sigma_2 \% = \sqrt{\frac{1}{74-2} \cdot 5456,21} = 8,77\%,$$

$$\sigma_3 \% = \sqrt{\frac{1}{74-2} \cdot 1303,28} = 4,31\%.$$

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

$$U_p = -22,788 + 29,168 \cdot a^{\frac{1}{2}} + 13,977 \cdot a^{-1} - 14,491 \cdot a^{\frac{3}{2}}$$

або

$$\left(\frac{\omega}{p_y} \right)_p = -22,788 + 29,168 \cdot a^{\frac{1}{2}} + 13,977 \cdot a^{-1} - 14,491 \cdot a^{\frac{3}{2}}$$

Помноживши це рівняння на a , отримаємо залежність:

$$24 \cdot K_B = -22,788 \cdot a + 29,168 \cdot a^{\frac{1}{2}} + 13,977 - 14,491 \cdot a^{\frac{1}{2}}$$

Питоме споживання електроенергії при відповідному значенні питомої встановленої потужності:

$$\omega = \left(-22,788 + 29,168 \cdot a^{\frac{1}{2}} + 13,977 \cdot a^{-1} - 14,491 \cdot a^{\frac{3}{2}} \right) p_y$$

$$p_{y1} = 62,5 \text{ в.о.}, p_{y2} = 125 \text{ в.о.}, p_{y3} = 250 \text{ в.о.}$$

По цих рівняннях будуюмо графіки:

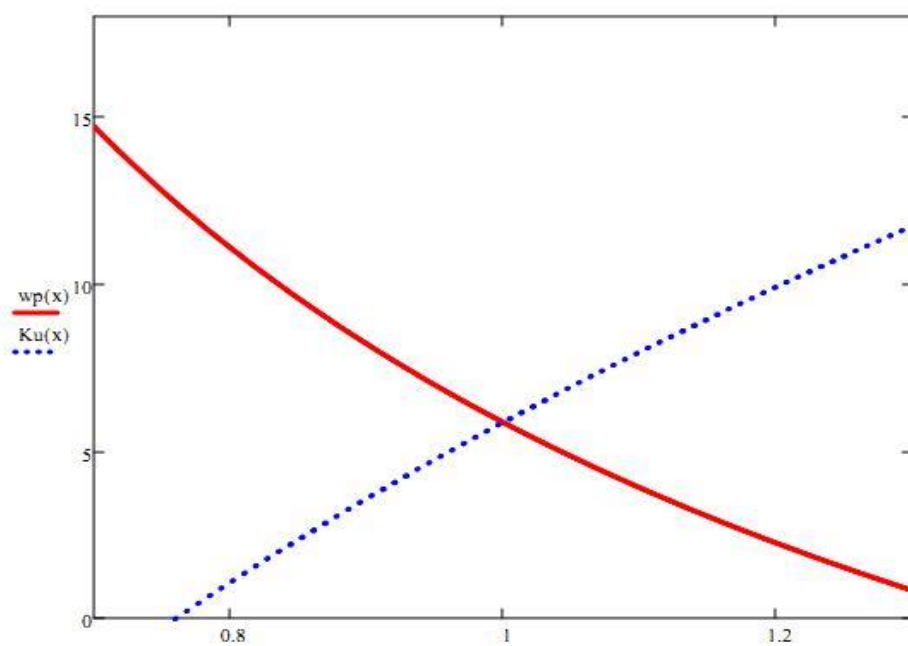


Рис. 2.3 - Графіки залежності $\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = f(\alpha)$, $K_u = f(\alpha)$

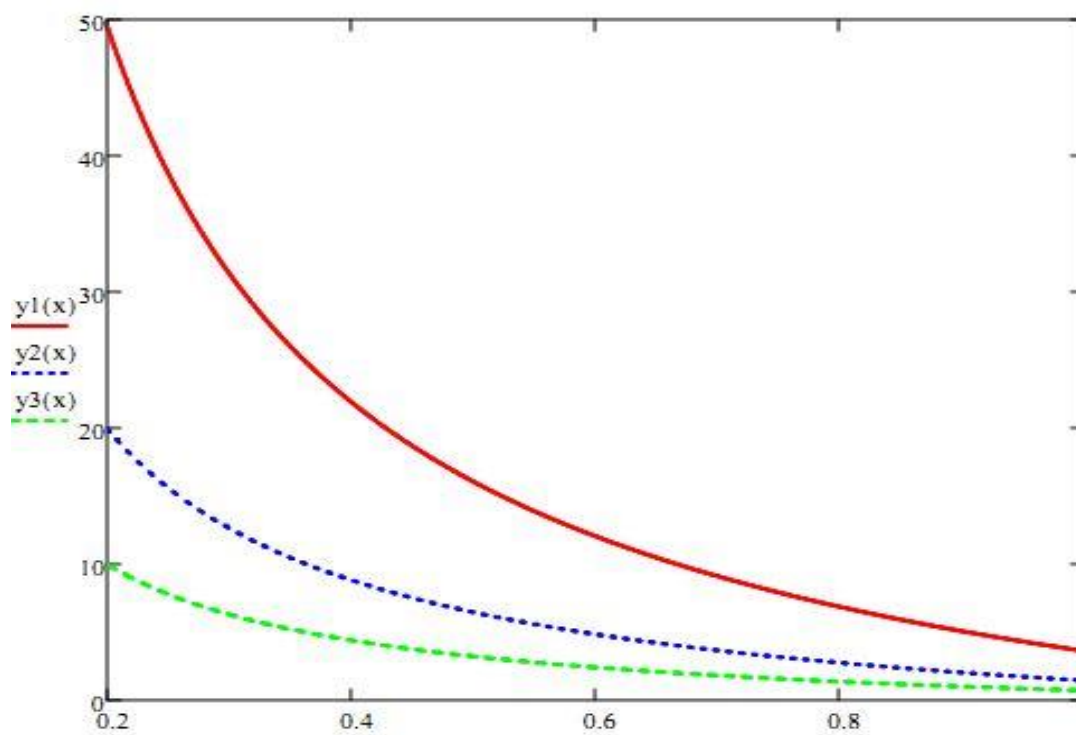


Рис. 2.4 - Графіки залежності $\omega = f(\alpha)$

2.3 Виведення енергетичної характеристики цеху прокату сталі, як лінійного кореляційного зв'язку

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

$$W = f(A). \quad (2.10)$$

Таблиця 2.23 - Вихідні дослідні дані для розрахунку

№ п/п	W, тис.кВт·год/добу	A, т/добу	№ п/п	W, тис.кВт·год/добу	A, т/добу
1	24	230	31	50	385
2	38	286	32	25	217
3	44	385	33	45	376
4	45	352	34	37	273
5	39	334	35	26	216
6	33	258	36	47	376
7	43	382	37	34	326
8	45	375	38	31	219
9	31	278	39	40	348
10	33	321	40	48	375
11	46	388	41	37	327
12	41	356	42	41	328
13	34	256	43	32	312
14	36	271	44	42	313
15	36	302	45	36	278
16	37	335	46	31	222
17	35	258	47	28	268
18	37	312	48	41	365
19	37	357	49	40	339
20	35	313	50	39	313
21	44	361	51	34	327
22	25	232	52	43	387
23	27	229	53	24	223
24	46	363	54	31	239
25	40	289	55	32	265
26	37	320	56	44	346
27	38	340	57	42	324
28	32	281	58	26	233
29	38	299	59	46	366
30	25	213	60	34	279

2.3.1 Складання подвійної кореляційної таблиці

Дослідні дані за 60 діб згруповані у формі подвійної кореляційної таблиці, що є основою для виводу шуканого зв'язку. Число стовпчиків і рядків таблиці можна приймати рівним $\sqrt{n}$.

Таблиця 2.24 - Подвійна кореляційна таблиця для зв'язку $W = f(A)$

W, тис.кВт·год/ добу	Продуктивність, т/добу						n_w
	180 (168-192)	204 (192-216)	228 (216-240)	252 (240-264)	276 (264-288)	300 (288-312)	
2242 (2102-2382)	1	2					3
2522 (2382-2662)	3	5	2				10
2802 (2662-2942)	3	8	6	4			21
3082 (2942-3222)			3	3	2		8
3362 (3222-3502)				4	2	3	9
3642 (3502-3784)					2	7	9
n_A	7	15	11	11	6	10	60
$\overline{W}_h$	2602	2634	2827,5	3082	3362	3558	

За даними таблиці розраховуємо приватні середні (середня витрата електроенергії при заданій продуктивності):

$$\overline{W}_h = \frac{1}{n_A} \sum n_{h,i} W_i. \quad (2.11)$$

для першого стовпчика таблиці 2.24:

$$\overline{W}_h = \frac{2242 \cdot 1 + 2522 \cdot 3 + 2802 \cdot 3}{1 + 3 + 3} = 2602 \text{ кВт·год/добу.}$$

2.3.2. Визначення реальності існування і форми шуканого зв'язку

Для визначення реальності існування зв'язку знаходимо показники статичного зв'язку:

1. Повні середні (табл. 2.25):

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum n_A A_h = \frac{14256}{60} = 237,6 \text{ т/добу},$$

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum n_w W_i = \frac{178480}{60} = 2974,667 \text{ тис.кВт·год/добу}.$$

Таблиця 2.25 - 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	$n_w \cdot W_i^2$
7	180	1260	32400	226800	3	2242	6726	5026564	15079692
15	204	3060	41616	624240	10	2522	25220	6360484	63604840
11	228	2508	51984	571824	21	2802	58842	7851204	164875284
11	252	2772	63504	698544	8	3082	24656	9498724	75989792
6	276	1656	76176	457056	9	3362	30258	11303044	101727396
10	300	3000	90000	900000	9	3642	32778	13264164	119377476
7	180	1260	32400	226800	3	2242	6726	5026564	15079692
Σ		14256	355680	3478464			178480		540654480

2. Середньоквадратичні відхилення:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A A_h^2 - \bar{A}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 3478464 - 237,6^2} = 38,995,$$

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_w W_i^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 540654480 - 2974,667^2} = 402,823.$$

3. Коваріація (табл. 2.26):

$$\mu_{II} = \frac{1}{n} \sum n_{h,i} A_h W_i - \bar{A} \bar{W} = \frac{1}{60} 433214592 - 237,6 \cdot 2974,667 = 13462,32.$$

Таблиця 2.26 - Обчислення до визначення показників зв'язку $W = f(A)$

$n_{h,i}$	A_h	W_i	$n_{h,i} \cdot A_h \cdot W_i$
1	180	2242	403560
3	180	2522	1361880
3	180	2802	1513080
2	204	2242	914736
5	204	2522	2572440
8	204	2802	4572864
2	228	2522	1150032
6	228	2802	3833136
3	228	3082	2108088
4	252	2802	2824416
3	252	3082	2329992
4	252	3362	3388896
2	276	3082	1701264
2	276	3362	1855824
2	276	3642	2010384
3	300	3362	3025800
7	300	3642	7648200
Σ			43214592

4. Коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\mu_{II}}{\sigma_A \sigma_W} = \frac{13462,321}{38,995 \cdot 402,82} = 0,857$$

Оцінка залежності коефіцієнта кореляції проводиться за співвідношенням:

$$|r|\sqrt{n-1} \geq 3, \quad (2.12)$$

$$|0,857|\sqrt{60-1} = 6,583 \geq 3.$$

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

5. Кореляційне відношення (табл. 2.27):

$$\eta = \frac{\sigma_{\bar{w}}}{\sigma_w} = \frac{350,802}{402,82} = 0,871$$

де $\sigma_{\bar{w}}$ – середньоквадратичне середнє відхилення приватних середніх:

$$\sigma_{\bar{w}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_A \bar{W}_h^2 - \bar{W}^2} = \sqrt{\frac{1}{60} 538299527 - 2974,667^2} = 350,738.$$

Таблиця 2.27 - Обчислення кореляційного відношення

$\bar{W}_h$	$\bar{W}_h^2$	n_A	$n_A \cdot \bar{W}_h^2$
2602	6770404	7	47392828
2634	6937956	15	104069340
2827	7994499	11	87939491
3082	9498724	11	104485964
3362	11303044	6	67818264
3558	12659364	10	126593640
Σ		60	538299527

6. Знаходимо допоміжні показники, тоді критерій знаходимо по співвідношенню:

$$\zeta_1^2 = \frac{n(\eta^2 - r^2)\sigma_w^2}{S - 2} = \frac{60(0,871^2 - 0,857^2) \cdot 402,82^2}{6 - 2} = 44433,07,$$

$$\zeta_2^2 = \frac{n(1 - \eta^2)\sigma_w^2}{n - S} = \frac{60(1 - 0,871^2) \cdot 402,82^2}{60 - 6} = 45994,1,$$

де S – число стовпчиків кореляційної таблиці.

Оскільки $\zeta_2^2 > \zeta_1^2$, тоді критерій T_η знаходимо по співвідношенню:

$$T_\eta = \frac{\zeta_2^2}{\zeta_1^2} = \frac{45994,1}{44433,07} = 1,035.$$

7. Ступені свободи:

$$K_1 = S - 2 = 6 - 2 = 4;$$

$$K_2 = n - S = 60 - 6 = 54.$$

8. По таблиці F - розподілу при 5% межі і значеннях ступеня свободи знаходимо $T_{\text{табл}} = 2,55$.

Так як, $T_{\text{табл}} > T_\eta$, то це вказує на випадкове розходження між η і r , і отже, на існування лінійного зв'язку між W і A .

9. Коефіцієнт регресії:

$$\rho_{WA} = r \frac{\sigma_w}{\sigma_A} = 0,857 \frac{402,82}{38,995} = 8,853.$$

Оцінку значимості коефіцієнта регресії проводимо за допоміжним показником:

$$\sum n_A (A_h - \bar{A})^2 = \sum n_A A_h^2 - n \cdot \bar{A}^2 = 3478464 - 60 \cdot 237,6^2 = 91238,4.$$

$$\sum n_W (W_i - \bar{W})^2 = \sum n_W W_i^2 - n \cdot \bar{W}^2, \quad (2.13)$$

$$\sum n_W W_i^2 - n \cdot \bar{W}^2 = 540654480 - 60 \cdot 2974,667^2 = 9735973,3$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[\sum n_W (W_i - \bar{W})^2 - \rho^2 \sum n_A (A_h - \bar{A})^2 \right]}, \quad (2.14)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{60-2} [9725973,3 - 8,853^2 \cdot 91238,4]} = 3100,432,$$

$$t_p = \frac{\rho \sqrt{\sum n_A (A_h - \bar{A})^2}}{S} = \frac{8,853 \sqrt{91238,4}}{3100,432} = 0,863.$$

2.3.3 Вивід рівнянь лінійного кореляційного зв'язку

Використовуючи отримані розміри, складемо рівняння регресії:

$$W - \bar{W} = \rho_{WA} (A - \bar{A}), \quad (2.15)$$

Підставляючи значення, отримані раніше:

$$\bar{W} = 2974,667 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}; \quad \bar{A} = 237,6 \text{ т/добу}; \quad \rho_{WA} = 8,853$$

в рівняння (2.15) отримаємо:

$$W - 2974,667 = 8,853(A - 237,6),$$

$$W = 8,853 \cdot A - 8,853 \cdot 237,6 + 2974,667 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{добу}.$$

Очевидно, що питома витрата електроенергії буде дорівнювати:

$$\omega = 8,853 + \frac{871,1942}{A} \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}/\text{добу}.$$

За виведеною вище енергетичною характеристикою визначаємо загальну витрату електроенергії для всього діапазону продукції, що випускається. Дані розрахунків приводимо в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 - Розрахункові значення загальної витрати електроенергії

A	W	ω
180	2464,727	37065,15
204	2677,202	33746,09
228	2889,677	31125,78
252	3102,152	29004,57
276	3314,626	27252,27
300	3527,101	25780,34

За отриманими розрахунковими значеннями побудований графік питомої витрати електроенергії (рис. 2.5) та енергетична характеристика $W = f(A)$, на який нанесені дослідні точки $\bar{W}_h$ (рис. 2.6).

2.3.4 Оцінка похибки рівняння зв'язку

Оцінку похибки між розрахунковими значеннями електропостачання W і дослідними значеннями $\bar{W}_h$ зручно виконувати по середньоквадратичному відхиленню на одиницю ваги шуканого зв'язку, виразивши останнє у відсотках, тобто за формулою:

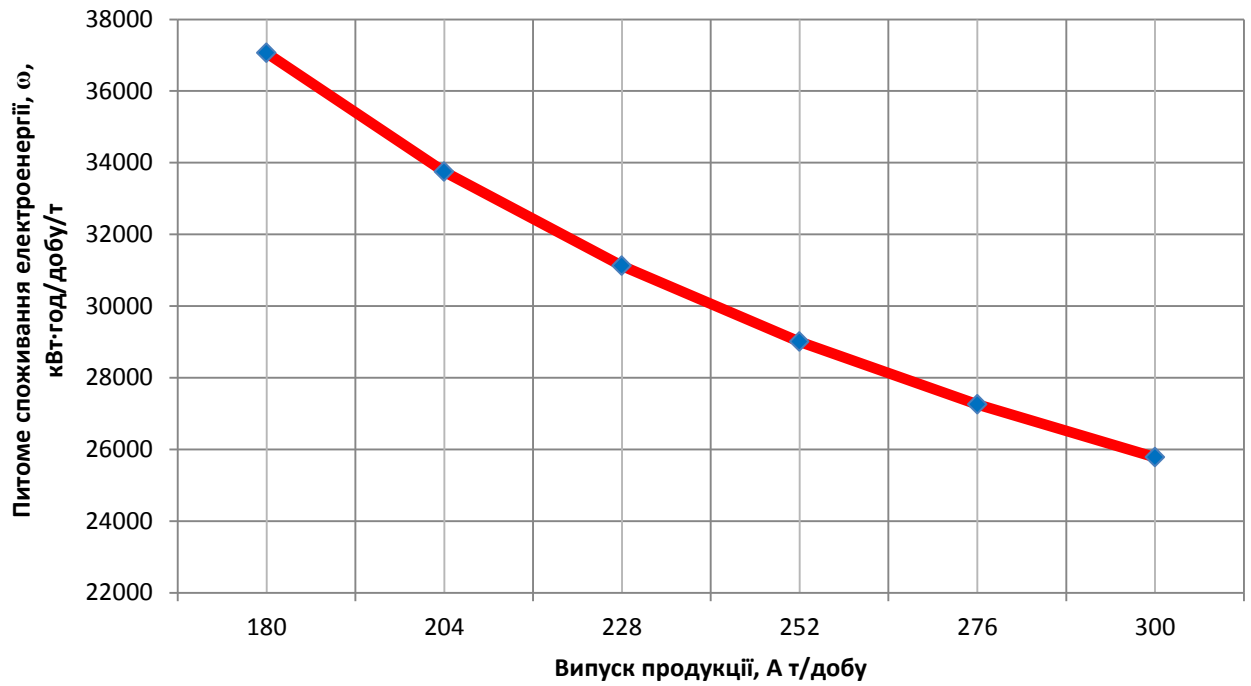


Рис. 2.5 - Залежність питомої витрати електроенергії від добової продуктивності

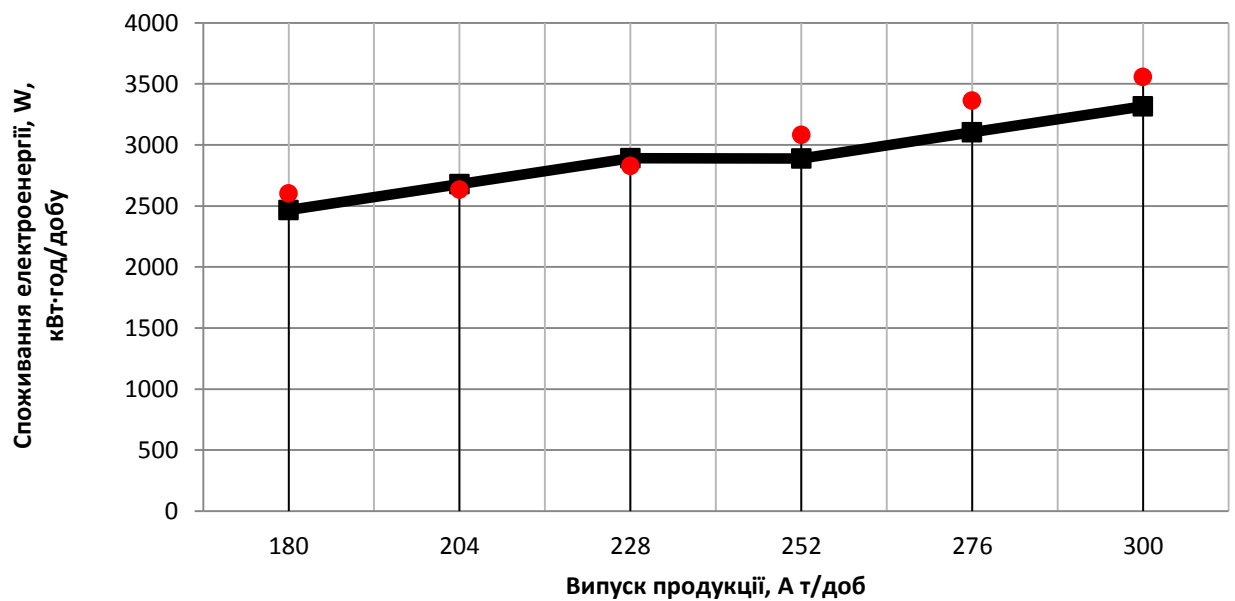


Рис. 2.6 - Графік енергетичної характеристики $W = f(A)$

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-K} \sum \left(\frac{W - \bar{W}_h}{W} 100 \right)^2 n_A}, \quad (2.16)$$

де n – обсяг вибірки;

K – число невідомих постійних, обумовлених для даного виду зв'язку (для рівняння прямої $K = 2$).

Для обчислення похибки складемо допоміжну табл. 2.29, у яку заносимо розрахункові значення загальної витрати електроенергії з табл. 2.28, а дослідні значення із подвійної кореляційної табл. 2.24.

Таблиця 2.29 - Обчислення середньоквадратичної похибки

W	$\bar{W}_h$	$ W - \bar{W}_h $	$\frac{ W - \bar{W}_h }{W}$	$\times 100$	$[]^2$	n_A	$n_A>[]^2$
2464,727	2602	137,273	0,056	5,569	31,019	7	217,134
2677,202	2634	43,202	0,016	1,614	2,604	15	39,060
2889,677	2827	62,222	0,022	2,153	4,637	11	51,002
3102,152	3082	20,152	0,006	0,650	0,422	11	4,642
3314,626	3362	47,374	0,014	1,429	2,043	6	12,256
3527,101	3558	30,899	0,009	0,876	0,767	10	7,675
					Σ	60	225.36

За підсумками табл. 2.29 знаходимо похибку:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{60-2} 225,36} = 3,89,$$

що означає значне приближення розрахункових значень W до дослідних $\bar{W}_h$.

2.4 Енергетичні характеристики групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомономенклатурним виробництвом

В даному пункті наведений вивід енергетичних характеристик групи підприємств методом математичної статистики.

Основою нормування електроспоживання та його раціонального використання на промислових підприємствах є енергетичні баланси та енергетичні характеристики.

Останні можуть бути представлені наступними залежностями:

$$P = f(A), \quad (2.17)$$

$$W = f(A), \quad (2.18)$$

$$\omega = f(A), \quad (2.19)$$

$$(\omega/p_y) = f(\alpha), \quad (2.20)$$

де: P – споживаюча потужність, кВт;

W – загальна витрата електроенергії, кВт·год;

ω – питома витрата електроенергії, кВт·год/од.продукції;

A – випуск продукції підприємством;

A_0 – проектний випуск продукції підприємством;

P_y – встановлена потужність підприємством, кВт;

$p_y = \frac{P_y}{A_0}$ – питома встановлена потужність підприємства;

$\alpha = \frac{A}{A_0}$ – випуск продукції в відносних одиницях.

Характеристика (2.20) названа основою енергетичною характеристикою. З неї легко отримати похідні енергетичні характеристики:

$$\omega = f(\alpha, p_y), \quad (2.21)$$

$$K_u = f(\alpha), \quad (2.22)$$

Ціллю даного розділу є визначення значущості і реальності існування кореляційного зв'язку між основними електроенергетичними показниками підприємств і продукцією, виведення енергетичних характеристик, що є основою нормування електроспоживання та раціонального його використання.

Проте використання енергетичних характеристик для нормування електроспоживання підприємств з багатомономенклатурним виробництвом неможливо без попереднього приведення цієї номенклатури до однієї умовної (натуральної) одиниці.

Покажемо виведення основної енергетичної характеристик Харківського плиткового заводу, що випускає 3 види продукції: метлахську плитку, облицювальну плитку і фасадну кераміку. Режим роботи підприємства безперервний, тризмінний

Встановлена потужність силових електроприймачів по заводу 8320 кВт.

Дані по проектній продуктивності заводу, наведені в табл. 2.30.

Таблиця 2.30 – Проектний випуск продукції заводу

п/п	Вид продукції	Одиниця виміру	A_0
1	Метлахская плитка	м ² /добу	10322
2	Облицовальна плитка	-//-	6710
3	Фасадна кераміка	-//-	581

В основу розрахунково-дослідних зв'язків для даного заводу покладена залежність:

$$\frac{\omega}{P_y} = f(\alpha). \quad (2.23)$$

Показники, що входять в цю залежність можуть бути отримані по даним повсякденного обліку електроенергії і випуску продукції.

Дослідні дані по добовому електроспоживанню та випуску продукції були зібрані за 45 діб. Випуск натуральної продукції знімався по кожному виду окремо.

В якості показника нормування прийнята умовна натуральна одиниця в м^2 , приведена по енергоємності к фасадній кераміці, як к найбільш енергоємній.

Для визначення коефіцієнта 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:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= A_1x + B_1y + C_1z \\ W_2 &= A_2x + B_2y + C_2z \\ W_3 &= A_3x + B_3y + C_3z \end{aligned} \right\}, \quad (2.24)$$

де A_1, A_2, A_3 – добові випуски метлахской плитки;

B_1, B_2, B_3 – добові випуски облицювальної плитки;

C_1, C_2, C_3 – добові випуски фасадної кераміки;

x, y, z – питомі витрати на випуск метлахской плитки, облицювальної плитки і фасадної кераміки відповідно, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

Підставляючи в рівняння (2.24) конкретні значення за даними повсякденного обліку маємо для перших трьох діб:

$$\left. \begin{aligned} 58310 &= 10799 \cdot x + 7503 \cdot y + 490 \cdot z \\ 58320 &= 10733 \cdot x + 7585 \cdot y + 529 \cdot z \\ 57600 &= 11545 \cdot x + 7189 \cdot y + 593 \cdot z \end{aligned} \right\}, \quad (2.25)$$

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 (2.25) 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 (2.25) методом Гауса рішенням на екстремум функції:

$$E^2 = e = \sum_{i=1}^n [(A_i x + B_i y + C_i z) - W_i]^2 = \min, \quad (2.26)$$

Тобто ставиться задача знайти значення змінних x , y , z при яких різниця між E між правою і лівою частиною системи зведеною в квадрат буде мінімальною. Вирішуючи цю задачу як знаходження екстремуму функції декількох змінних на ПК для рівняння (2.25) 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:

$$\overline{\omega}_A = \bar{x} = 1,799 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2,$$

$$\overline{\omega}_B = \bar{y} = 4,79 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2,$$

$$\overline{\omega}_C = \bar{z} = 7,82 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

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:

$$A_{\text{умов}} = K_A A + K_B B + K_C C, \quad (2.27)$$

Проектний випуск продукції в тих же одиницях знаходиться з виразу:

$$A_{0\text{умов}} = K_A A_0 + K_B B_0 + K_C C_0, \quad (2.28)$$

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

де A_0, B_0, C_0 – плановий випуск продукції (табл. 2.31).

Таблиця 2.31. Плановий випуск продукції

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

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

$$p_y = \frac{P_y}{A_{0_{y,мов}}}, \quad (2.29)$$

$$p_y = \frac{8320}{7220,9657} = 1,15.$$

Приведена до виду $\frac{\omega}{p_y}$ і α вихідна інформація згрупована в формі подвійної кореляційної таблиці (табл. 2.32), котра є основою для виводу зв'язку (2.20) стохастичним методом.

Таблиця 2.32 – Подвійна кореляційна таблиця до зв'язку $\frac{\omega}{p_y} = f(\alpha)$

$\alpha \backslash (\omega/p_y)_i$	0,98	1,02	1,06	1,11	1,14	1,18	n_i
6,0				1		2	3
6,3		7	5	3	3		18
6,6		5	9	5			19
6,9	2	1		1			4
7,2							0
7,5	1						1
n_h	3	13	14	10	3	2	45
$(\omega/p_y)_i$	13,20	10,70	8,89	7,03	5,05	3,02	

Для визначення реальності існування і форми зв'язку (2.20) знаходимо показники статичного зв'язку (допоміжні розрахунки тут не приводяться).

1. Повні середні:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \cdot \sum n_{\alpha} \cdot \alpha_i = \frac{47,82}{45} = 1,0626,$$

$$\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y} \right) = \frac{1}{n} \cdot \sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y} \right) = \frac{291,9}{45} = 6,4866.$$

2. Стандарти:

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

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

3. Коваріація:

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

4. Коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\mu_{\Pi}}{\sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y} \right)}} = -\frac{0,00663}{0,048001 \cdot 0,270404755} = -0,510714$$

Коефіцієнт кореляції оцінюється по співвідношенню:

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

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

5. Кореляційне відношення:

$$\eta = \frac{0,1952741}{0,2704755} = 0,7219659$$

де

$$\sigma\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{45} \cdot 1896,45 - 6,486^2} = 0,195.$$

6. Критерій T_{η} знаходимо за співвідношенням:

$$T_{\eta} = \frac{(n-S) \cdot (\eta^2 - r^2)}{(S-n)(1-\eta^2)} = \frac{\xi_1^2}{\xi_2^2} = \frac{0,214318}{0,04} = 5,303.$$

де S – число стовбців кореляційної таблиці.

Знаходимо допоміжні показники

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

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

7. Ступені свободи

$$K_1 = S - 2 = 6 - 2 = 4;$$

$$K_2 = n - S = 45 - 6 = 39.$$

По таблиці F-розподілу при 5% межі и ступенями свободи, знаходимо значення $T_{\text{табл}} = 2,63$. Так як $T_{\eta} > T_{\text{табл}}$, то це вказує на існування відмінності між

η і r , відповідно на наявність нелінійного зв'язку між $\left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)$ та α .

Теоретичні дослідження і практичні дані дозволяють припустити, що нелінійний зв'язок (2.20) має в першому наближенні форму гіперболи, а для ширшого діапазону зміни - форму кривої гіперболічного типу. У останньому

випадку зв'язок може мати складову, пропорційну a^{-1} або $\alpha^{-\frac{1}{2}}$. Це припущення може бути прийнято, якщо середня квадратична погрішність $\sigma\%$, отриманого зв'язку не перевищуватиме допустимої для практичних розрахунків величини.

На основі даних розрахованих в табл. 2.33 та (2.8) складемо систему рівнянь другого та третього порядку.

Таблиця 2.33. Обчислення коефіцієнтів до розв'язку рівняння

α	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. 2.33.

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

Система лінійних алгебраїчних рівнянь

– другого порядку:

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

– третього порядку

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

Вирішуючи ці системи методом Гауса з вибором головного елемента отримаємо значення коефіцієнтів:

– для системи другого порядку

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

– для системи третього порядку

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

Тоді енергетична характеристика має вигляд:

$$U_p = 3,07 + 1,67 \cdot x + 1,9 \cdot x^2,$$

або

$$\left(\frac{\omega}{p_y} \right) = 3,07 + 1,67 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 1,9 \cdot \alpha^{-1}. \quad (2.30)$$

Похибка виведеного зв'язку визначається за формулою (2.9):

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

Розрахунково-дослідний зв'язок виду (2.20) був виражений також поліномами 3-го і 4-го порядку відносно $x = \alpha^{-\frac{1}{2}}$. Проте мінімальну похибку дає рівняння третього порядку. Воно і рекомендується для практичних розрахунків.

Помножив обидві частини рівняння (2.30) на p_y знайдемо залежність питомої витрати електроенергії ω в функції α та p_y тобто:

$$\omega = \left(3,07 + 1,67 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 1,9 \cdot \alpha^{-1} \right) p_y, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \text{в.о.} \quad (2.31)$$

Рівняння (2.31) 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 $\text{м}^2 \text{в.о.}$. Зворотний перехід до натуральних одиниць може бути здійснений через відомі значення коефіцієнтів енергоємності і питомих витрат електроенергії на відповідний випуск продукції.

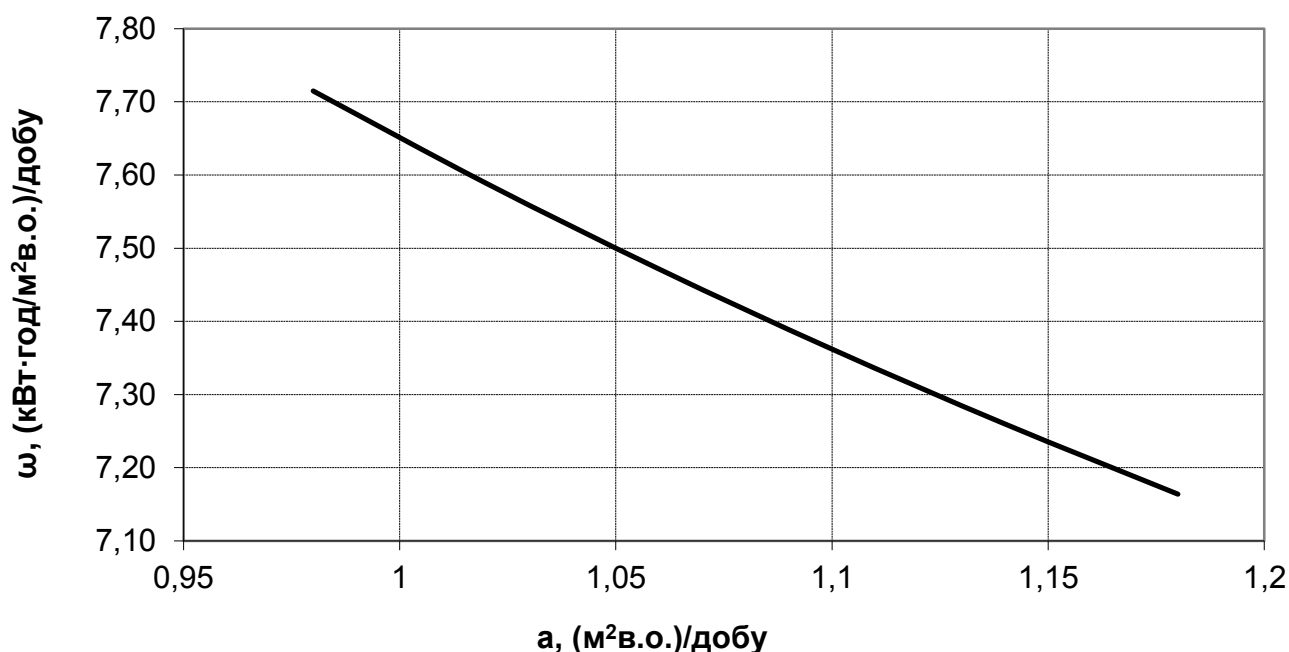


Рис. 2.7 - Енергетична характеристика Харківського плиткового заводу

2.5 Висновок

1. Для групи однорідних цехів і підприємств доведені значущість і реальність існування кореляційного зв'язку між основними електроенергетичними показниками і продукцією, що випускається.

2. Було доведена актуальність проведення розрахунків енергетичних характеристик лінійних та нелінійних кореляційних зв'язків для промислових підприємств різної встановленої потужності, що доводить що даний розрахунок може бути приведений як для певного агрегату, цеху так і для підприємства в цілому.

3. Запропонована методика використання енергетичних характеристик для нормування електроспоживання для підприємств з багатомісним виробництвом.

4. Отримані зв'язки з похибкою, що не перевищує 5%, можуть бути покладені в основу практичних розрахунків по нормуванню електроспоживання, а метод їх виведення - для подальших досліджень.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на підприємстві

В розділі охорони праці проаналізуємо небезпечні, а також шкідливі фактори, які виникають під час експлуатації батареї конденсаторів. Всі небезпечні фактори, що виникають в процесі налагодження, установки та експлуатації батареї конденсаторів зв'язані з електробезпекою.

Електричний струм проходячи через живі тканини, створює термічний, електролітичний та біологічний вплив. Що в свою чергу призводить місцевого ураження тканин та органів в організмі, а також до різних порушень викликаючи і загальне ураження організму.

Небезпека використання електричного струму пояснюється насамперед тим, що людина без спеціальних пристроїв не в змозі виявити напругу на відстані тобто дистанційно, на відміну від інших небезпечних факторів таких, як наприклад, відкриті рухомі частини, відкриті люки, неогорожені майданчики на висоті і т.п.

Досвід нещасних випадків з летальним кінцем на виробництві показує, що 40 % припадає на частку уражень електричним струмом, в енергетиці ця цифра вища до 60 %. Найбільша частина смертельних уражень електричним струмом (до 80 %) відбувається в електроустановках з напругою до 1000 В. Наведені статистичні дані підтверджують актуальність техніки безпеки, адже батареї конденсаторів використовуються в енергетичній галузі виробництва та, як правило, мають робочу напругу до 1000 В.

Аналіз ступеня небезпеки електричної мережі зводиться до визначення величини електричного струму, що буде протікати крізь тіло людини за різних умов експлуатації електричної мережі та електроустановки. Аналіз також має на меті оцінку впливу різних зовнішніх факторів і параметрів електричної мережі на безпеку ураження електричним струмом.

Ураження електричним струмом може відбутися при настанні наступних випадків:

- двофазному або однофазному дотику до струмоведучих частин;
- дотику до неструмоведучих частин, що опинилися під напругою та які заземлені;
- включенні на крокові напруги.

Враховуючи, що умови експлуатації електрообладнання, характер середовища приміщень де воно встановлено, а також параметри електроенергії (в основному напруга) суттєво відрізняються, відповідно у різних електроустановок є і різна небезпека ураження електричним струмом. Відповідно весь спектр захисних заходів повинен відповідати типу електроустановки, а також умовам використання електрообладнання та забезпечувати достатній рівень безпеки.

Ступінь небезпеки ураження електричним струмом та можлива важкість такої події залежать насамперед від номінальної напруги. З точки зору небезпеки ураження електричним струмом розрізняють електроустановки напругою до 1000 В і вище 1000 В. Суттєвий вплив на безпеку експлуатації електричних мереж чинить зовнішнє середовища, що впливає на стан ізоляції та електричний опір тіла людини. В залежності від типу електроустановки, її номінальної напруги, режиму роботи нейтралі, умов внутрішнього середовища приміщення, а також доступності електрообладнання необхідно використовувати певний комплекс захисних заходів, які забезпечують достатній рівень безпеки, що зазвичай не може бути забезпечене якимось єдиним засобом або заходом.

В електричних установках використовують наступні технічні захисні заходи:

- 1) застосовують низькі напруги;
- 2) проводять електричне розділення мереж (застосовують роздільні трансформатори);
- 3) проводять контроль та профілактику пошкоджень електричної ізоляції;
- 4) проводять компенсацію ємнісної складової в струмі замикання на землю;
- 5) обмежують фізичну доступність струмоведучих частин;
- 6) роблять захисне заземлення неструмоведучих частин електроустановок;

- 7) роблять захисне занулення;
- 8) використовують подвійну ізоляцію;
- 9) застосовують захисне відключення (УЗО).

Застосування перелічених захисних заходів регламентується ПУЕ, а також деякими іншими правилами. Розглянемо кожен з перелічених заходів окремо.

Застосування низьких напруг (до 42 В) – найбільш ефективний захисний захід. Широке впровадження даного заходу заважають складнощі здійснення великої електричної мережі малої напруги (великі перетини проводів, чутливість до втрат напруги). З метою зменшення протяжності електричної мережі джерело низької напруги розташовують якомога ближче до споживачів. Це призводить до того, що споживачі, які розосереджені на значних площах, вимагають встановлювати низьковольтні джерела живлення (знижуючи трансформатори) на незначну групу споживачів або на кожен споживач окремо, що значно підвищує вартість електричної мережі та робить її економічно не вигідною. Це призводить до того, що область застосування низьких напруг 12, 36 та 42 В обмежується малопотужним ручним електроінструментом, пересувними лампами та лампами місцевого освітлення для приміщень з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних приміщень.

Захисний поділ електричних мереж – використовується в електроустановках напругою до 1000 В, для яких експлуатація пов'язана з підвищеним рівнем небезпеки, наприклад, ручний електричний інструмент, пересувні електроустановки, і т. п. Основною метою електричного розділення мереж – зменшити струм замикання на землю завдяки підвищенню опору фаз відносно землі, тому не дозволяється заземлення нейтралі або одного з виводів вторинної обмотки понижувального трансформатора або перетворювача.

Велику небезпеку також становить можливість роботи електроустановки з глухим замиканням фази на землю. В цьому випадку людина, що торкнеться до справної фази, потрапить під лінійну напругу. Отже, захисне електричне розділення мережі, для даного випадку, не досягне своєї мети. Для того, щоб

уникнути небезпеки замикання фази на землю, необхідно постійно слідкувати за станом ізоляції та швидко усувати її пошкодження.

Контроль ізоляції – захід підвищення безпеки експлуатації електричної мережі, який полягає у вимірі її активного опору, що має на меті виявлення дефектів, коротких замикань та попередження замикань на землю. Безпека експлуатації електроустановок значною мірою визначається станом її ізоляції. В мережах вище 1000 В пробій ізоляції майже завжди призводить до глухого замикання на землю. У випадку заземленої нейтралі струм замикання на землю, а також струм через людину не залежить від опору ізоляції фаз. У випадку поганого стану ізоляції відбуваються часті її пошкодження, що супроводжуються глухими замиканнями на землю, що можуть перерости в короткі замкненнями. У разі пробою ізоляції на корпус виникає небезпека ураження електричним струмом. Адже неструмоведучі частини, до яких людина торкається, виявляються під напругою.

Для того, щоб запобігти пошкодженню ізоляції і, як наслідок, небезпеці ураження електричним струмом, виходу обладнання з ладу, необхідно проводити випробовування ізоляції підвищеною напругою. Дане випробовування дозволяє виявляти дефекти ізоляції на ранніх стадіях, ще до виникнення пробою номінальною напругою. Дефект виявляється в пробі слабокго місці та пропалювання ізоляції. Виявлений дефект ізоляції усувається та проводиться повторне випробовування підвищеною напругою. Так робиться до тих пір поки ізоляція не витримає підвищену напругу. Подібний контроль та профілактичні випробування дозволяють тримати активний опір ізоляції на високому рівні.

Компенсація ємнісної складової в струмі замикання на землю. Електрична ємність мережі визначається лише її конструктивними особливостями (довжиною ділянок, висотою підвісу проводів над землею, відстанню між жилами в кабелю і т.п.) та не залежить від будь-яких дефектів її ізоляції. Враховуючи, що електрична ємність мережі визначається лише її геометричними параметрами вона ні як не може бути зменшена. Електрична ємність мережі змінюється в процесі

експлуатації лише шляхом включення та відключення її ділянок, як відбуваються за потребами електропостачання.

Так як не можливо зменшити ємність електричної мережі, зменшити струм замикання на землю можливо лише шляхом компенсації ємнісної складової індуктивністю. В трифазній електричній мережі для компенсації ємнісної складової струму замикання на землю індуктивна котушка підключається між нейтраллю та землею. Зазвичай, компенсацію реактивної складової проводять для мереж напругою більше 1000 В. Зменшення струму замикання на землю в таких мережах призводить до гасіння переміжної дуги замикань на землю та, як наслідок, зменшення пренапруг, що виникають при цьому.

В електричних мережах напругою до 1000 В компенсація ємнісної складової замикання на землю, як правило, не проводиться. Виключенням лише є електричні мережі шахт та копалин. Компенсація ємнісної складової є виправданою лише у випадку коли вона є співмірною з активною складовою. В цьому випадку компенсація призводить до відчутного зниження струму замикання на землю.

Компенсація ємнісної складової струму замикання на землю сама по собі не забезпечує достатнього ступеня безпеки. Тому вона використовується в комплексі з іншими заходами, такими як захисне відключення та заземлення.

Застосування ізолюваної нейтралі, навіть при доброму стані ізоляції з малою ємністю відносно землі, та напруги до 1000 В не завжди може забезпечити безпеку при дотику до струмопровідних частин. Тим більше це стосується мереж з глухо заземленою нейтраллю та напругою вище 1000 В.

Застосування ізолюваних проводів в електричних мережах до 1000 В достатньо надійно захищає від ураження струмом при дотику до них. Натомість в електричних мережах вище 1000 В ізолювані проводи не менш небезпечні ніж голі, адже пошкодження ізоляції залишається непоміченим.

Обмеження фізичної доступності струмоведучих частин Для того щоб виключити можливість дотику або наближення до струмопровідних частин необхідно забезпечити її фізичну недоступність за допомогою огорожі,

розташування на висоті або в недоступному місці. Огородження можуть бути, як суцільні так і сітчасті. Як правило, суцільні огороження застосовують для напруги до 1000 В, в той час як сітчасті огороження переважно для напруги вище 1000 В. Встановлена огорожа повинна мати двері та замок.

В електричних установках де часто проводять налагоджувальні роботи застосовують блокування. За принципом дії воно поділяється на електричне та механічне. Також застосовують блокування в електричних установках де пред'являються підвищені вимоги до електробезпеки.

Електричне блокування здійснюється розташуванням спеціальних контактів, які здійснюють розрив електричного ланцюга при відкриванні дверей, кришок, люків і т.п.

У випадку, якщо електроустановкою передбачено дистанційне керування блокувальні контакти встановлюються в ланцюзі пускового апарату. Наприклад, доцільним буде установка блокувальних контактів в колі котушки магнітного пускача або контактера. Так при відкриванні дверей в цьому випадку розімкнеться коло котушки, що унеможливить їх спрацювання. До того ж у випадку обриву кола, при несправному ланцюзі, електроустановка так само відключиться, що унеможливить подальшу експлуатацію з несправним колом блокування. Електроустановка не повинна включатися при зачиненні дверей, для її запуску потрібно передбачити обов'язкове натискання кнопки пуску. В цьому випадку, якщо обслуговуючий персонал зайде всередину огороженої частини електроустановки він не опиниться під напругою при випадковому зачиненні дверей.

Блокувальні контакти, які встановлені в колі котушки відключення автоматичного вимикача, при відкриванні дверей мають закорочувати ланцюг котушки. Відповідно у випадку обриву цього ланцюга випадкове замикання контактів не приведе до відключення електроустановки. Отже, при відкриванні вхідних дверей блокування не спрацює і людина може пройти за огорожу та потрапити під напругу.

Для забезпечення електробезпеки необхідно, щоб контакти блокування розмикалися при незначному відчиненні дверей (10 - 15 см), що унеможливить проникнення людини за огорожу при не розімкнутих блокувальних контактах. У випадку використання двостулкових дверей блокувальні контакти повинні встановлюватися на її обох половинках, для того щоб унеможливити включення електроустановки, залишивши відкритою одну з половинок дверей.

Механічний спосіб блокування застосовуються в різних електричних апаратах - пускачах, рубильниках, автоматичних вимикачах та т. п. В радіоапаратурі застосовуються блокові схеми. В спільному корпусі встановлюються окремі блоки, що з'єднуються з рештою пристрою через штепсельні з'єднання. У випадку висування блоку або зрушення його з місця штепсельний роз'єм розмикається. Відповідно, блок автоматично відключається від його струмоведучих частин.

Блокування також використовується для унеможливлення помилкових дій обслуговуючого персоналу при здійсненні переключень на підстанціях енергомереж. Розташування струмоведучих частин на висоті в цілому забезпечує надійну безпеку експлуатації без улаштування спеціальних огорожень. Єдине, що при цьому потрібно врахувати, це можливість випадкового дотику до струмопровідних частин довгими предметами, що може тримати людина в руках.

Використання подвійної ізоляції. Для захисту від ураження електричним струмом при дотику до частин, що можуть опинитися під напругою випадково або струмопровідних частин також використовується подвійна ізоляція. Дана ізоляція складається з двох діелектричних бар'єрів (шарів ізоляції) робочої та додаткової.

Робоча ізоляція це ізоляція струмопровідних частин електроустановки, яка забезпечує нормальну роботу та захист від ураження електричним струмом при дотику.

Додаткова ізоляція це ізоляція, що передбачена на додачу до робочої для захисту від ураження електричним струмом у випадку пошкодження (пробою) основної робочої ізоляції.

Найбільш простим способом застосування подвійної ізоляції є нанесення ізоляційного шару на металеві корпуси, рукоятки електрообладнання, застосування ізолюючих ручок. Враховуючи, що поверхневий шар ізоляції піддається впливу зовнішніх факторів, а також механічному впливу він найбільш схильний до пошкоджень. У разі його пошкодження відкривається прямий доступ до металевих частин електрообладнання, що можуть опинитися під напругою. Пошкодження або навіть повне руйнування другого шару ізоляції не призводить до виходу електроустановки з ладу. Вона продовжує працювати далі не сигналізуючи ніяким чином про втрату захисту. Отже, такий спосіб застосування подвійної ізоляції може бути рекомендований лише у виключних випадках для електрообладнання, що не піддається ударному навантаженню адже він не забезпечує надійного рівня захисту. Найбільш досконалий спосіб застосування подвійної ізоляції це виготовлення корпусу електрообладнання з ізолюючого матеріалу. В такому корпусі закріплені всі струмопровідні та не струмопровідні частини, механічні механізми. У разі руйнуванні корпусу приладу та звільнення доступу до металевих струмоведучих та не струмоведучих частин, працездатність електрообладнання порушується, адже порушується взаємне розташування його механічних деталей.

Захисною подвійною ізоляцією можна підвищити електробезпеку при експлуатації майже будь-якого електрообладнання. Однак, область застосування подвійної ізоляції обмежується лише електрообладнанням невеликої потужності, наприклад, ручним інструментом, пересувними та побутовими пристроями і т.п. Дане обмеження пояснюється цілим рядом недоліків притаманним пластмасам: недостатньою механічною міцністю, значними залишковими деформаціями, ненадійність місць з'єднань з металом, погіршення механічних властивостей при старінні (підвищення хрупкості).

Захисне заземлення не струмопровідних частин електроустановок. Корпуси електричних машин, світильників, трансформаторів, електричних апаратів, а також інші металеві не струмопровідні частини можуть опинитися під напругою при замиканні на корпус їх струмоведучих частин. У випадку, якщо

металевий корпус електроустановки не має контакту з землею, дотик до нього є таким самим небезпечним, як і дотик до фази.

Захисне заземлення буде ефективним лише в тому випадку, якщо зі зменшенням опору контуру заземлення струм замикання на землю не збільшується. Такий випадок можливий для електричних мережах з ізольованою нейтраллю. В цьому випадку, при замиканні на заземлений корпус або при глухому замиканні на землю струм не залежить від провідності контуру заземлення. В електричних мережах напругою вище 1000 В з глухо заземленою нейтраллю замикання на землю призводить до однофазного короткого замикання, при цьому спрацьовує максимальний струмовий захист, тобто відбувається відключення пошкодженої ділянки. Для електричних мереж напругою до 1000 В з глухо заземленою нейтраллю заземлення є неефективним.

До області застосування захисного заземлення відносяться електричні мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю, мережі напругою вище 1000 В з ізольованою, так з заземленою нейтраллю.

Конструктивно розділяють заземлювачі на виносні та контурні.

При виносному контурі заземлення між електричним обладнанням, що заземлюється та контуром заземлення є певна відстань. В цьому випадку корпус приладу знаходиться поза зоною поля розтікання на землі, і відповідно людина торкаючись корпусу приладу опиняється під повною напругою відносно землі. Отже, виносне заземлення може захистити лише у випадку малого опору контуру заземлення.

При контурному заземленні заземлювачі розташовуються навколо (по периметру) заземленого обладнання на невеликій відстані один від одного (кілька метрів). В цьому випадку, поле розтікання заземлювачів накладається, і відповідно будь-яка точка, що знаходиться на поверхні ґрунту всередині контуру заземлення має значний електричний потенціал. Це призводить до того, що різниця потенціалів між точками всередині контуру є низькою. Отже, струм через тіло людини, яка торкнулася до корпусу, що опинився під напругою буде менше, ніж при виносному контурі заземленні. В деяких випадках при улаштуванні

контурного заземлення прокладають горизонтальні смуги всередині контуру, що дозволяє додатково вирівняти потенціали всередині захисного контуру.

Для виготовлення подібних штучних заземлювачів використовують кутові сталеві стрижні розміром 60×60 мм, сталеві труби діаметром 35-50 мм, сталеві шини з перетином не менше як 100 мм². Вертикальні стрижні довжиною 2,5-3 м закопують або забивають у ґрунт в траншеї навколо спеціально підготовленої території, що захищається. Вертикально розташовані заземлювачі з'єднують між собою сталеві шини, яку приварюють до кожного окремого заземлювача.

Захисне занулення. Захисне занулення полягає в навмисному електричному з'єднанні зі спеціальним захисним нульовим провідником металевих не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Даний захисний нульовий провідник це провідник, що з'єднує між собою електропровідні частини обладнання, що зануляється з глухо заземленою нейтраллю або її еквівалентом.

Занулення використовується в чотирьохпровідних електричних мережах напругою до 1000 В з глухо заземленою нейтраллю. Занулення корпусу електроприладу або установки перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання. Що призводить в свою чергу до спрацювання максимального струмового захисту та селективного відключення пошкодженої ділянки електричної мережі. До того ж занулення призводить до зниження потенціалу на корпусі приладу, що з'являється в момент замикання на землю. Головним призначенням занулення є забезпечення спрацювання максимального струмового захисту під час замикання на корпус. Відповідно для надійного спрацювання струм короткого замикання повинний суттєво перевищувати уставку спрацювання захисту (номінального струму плавких вставок або номінального струму розчеплювача автомату).

Згідно вимог ПУЕ струм однофазного короткого замикання не менше ніж в 3 рази повинен перевищувати струм спрацювання розчеплювача автоматичного вимикача або номінальний струм найближчої плавкої вставки (запобіжника).

Для надійної роботи нульовий провідник повинен мати добрі з'єднання, а також необхідно забезпечити безперервність ланцюга занулення від кожного корпусу до нейтралі джерела живлення. Нульовий провідник підключається до усіх заземлених металевих конструкцій: сталевих труб електропроводок, металевих конструкцій будівель, підкранових шляхів, металевих трубопроводів, що прокладені відкрито.

Занулення для однофазних електроприймачів має виконуватися спеціальним окремим провідником, що не повинен одночасно служити проводом для протікання робочого струму.

Захисне відключення. Захисне відключення це система автоматичного захисту, що забезпечує відключення пошкодженої електроустановки або/та мережі при виникненні небезпеки ураження електричним струмом. В даному випадку небезпека ураження виникає при таких пошкодженнях: замикання на землю, зменшення опору ізоляції, несправності ланцюгу заземлення чи занулення, несправності пристрою захисного відключення.

Автоматичний пристрій, що здійснює захисне відключення може працювати на тому, що пошкодження електроустановки призводить до змін деяких величин, що можуть бути використані, як контрольовані параметри. Так, наприклад, при замиканні на корпус на ньому з'являється напруга відносно землі. Якщо, в цьому випадку, корпус приладу заземлений виникає струм замикання на землю. Це призводить в свою чергу до порушення симетрії опорів фаз відносно землі та виникненню напруги між нейтраллю джерела живлення та землею. З'являється так звана напруга нульової послідовності.

Виникнення замикання на землю, навіть через деякий опір (не глухе замикання), призводить до зменшення загального опору електричної мережі відносно землі. Таке саме явище спостерігається також при зменшенні опору ізоляції без виникнення замикання на землю, навіть у випадку симетричного по фазного зменшення. Чутливим елементом або датчиком автоматичного пристрою відключення можуть бути використані наступні параметри: напруга корпусу відносно землі, наявність напруги нульової послідовності, струм замикання на

землю, напруги фаз відносно землі. При перевищенні граничного рівня контрольованої величини захисне відключення спрацює та відключить електроустановку. В залежності від того, що виступає вхідною величиною, яка призводить до спрацювання захисного відключення, розрізняють наступні схеми:

- на струмі замикання на землю,
- на напрузі корпусу відносно землі,
- на напрузі нульової послідовності,
- на напрузі фази відносно землі,
- на струмі нульової послідовності,
- вентильні, на постійному і змінному оперативному струмі, комбіновані.

3.2 Заходи щодо усуненню небезпечних і шкідливих факторів

3.2.1 Розрахунок контуру заземлення

Мета розрахунку контуру заземлення: визначити кількість та довжину вертикальних елементів, довжину горизонтальних елементів (сполучних шин) і розмістити заземлювач, виходячи з регламентованих правилами значення допустимого опору заземлення.

Для розрахунку захисного заземлення прийняті наступні вихідні дані:

- напруга мережі - до 1000 В;
- потужність трансформатора - до 100 кВА;
- тип заземлюючого пристрою - вертикальний;
- розмір заземлювачів - довжина труб: $l_T = 3\text{ м}$, діаметр труб: $d = 0,06\text{ м}$,
- ширина з'єднувальної смуги: $b_n = 0,05\text{ м}$,
- глибина закладення: $h_B = 0,8\text{ м}$;
- розташування заземлювачів - вертикально в один ряд;
- грунт - супісок;
- кліматична зона - друга.

Конструктивна схема пристрою заземлення наведена на рис. 3.1.

Відповідно до ПУЕ приймаємо допустимий опір заземлюючого пристрою:

$$R_3 = 10\text{ Ом}.$$

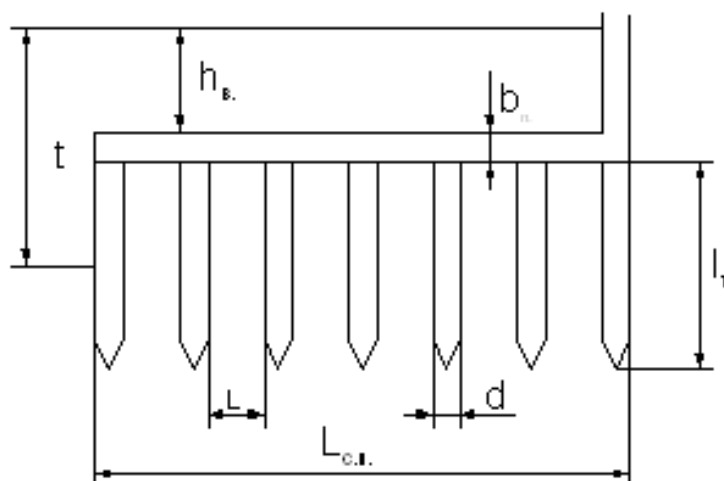


Рис. 3.1 – Конструктивна схема заземлюючого пристрою

Визначаємо питомий опір ґрунту (супісок), рекомендований для розрахунку: $r_{\text{табл}} = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Визначаємо підвищувальний коефіцієнт для труб $K_{\text{п.т.}}$ і для смуги $K_{\text{п.п.}}$, що враховує зміну опору ґрунту в різні часи року в залежності від кількості опадів, що випадають: $K_{\text{п.т.}} = 1,5$; $K_{\text{п.п.}} = 4,5$.

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для труб $r_{\text{табл.т}}$ з урахуванням несприятливих умов, що враховується відповідним коефіцієнтом

$$r_{\text{роз.т}} = r_{\text{табл}} \cdot K_{\text{п.т.}} = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для смугового заземлювача:

$$r_{\text{роз.п}} = r_{\text{табл}} \cdot K_{\text{п.п.}} = 300 \cdot 3 = 900 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини труби (м).

$$t = h_{\text{в.}} + l_{\text{т.}}/2 = 0,8 + 3/2 = 2,3 \text{ м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму для одиночного поглибленого заземлювача, розташованого нижче поверхні землі на 0,6-0,8 м:

$$R_T = 0,366 \frac{r_{\text{роз.т.}}}{l_T} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 0,366 \frac{450}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,06} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,3+3}{4 \cdot 2,3-3} \right) = 117,9 \text{ Ом.}$$

Визначимо необхідну кількість труб (одиночних заземлювачів) без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T = \frac{R_T}{R_3} = \frac{117,9}{10} = 11,9 \approx 12 \text{ шт.}$$

Визначаємо відстань між трубами L . Для поглиблених стаціонарних заземлювачів значення C рекомендується прийняти рівним 1: $C = 1$, (м).

$$L = C \cdot l_T = 1 \cdot 3 = 3.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб $h_{\text{е.т.}}$ при числі труб $n_{\text{ТО}}$ і відношенні:

$$C = L/l_T = 3/3 = 1,$$

відповідно $h_{\text{е.т.}} = 0,55$.

Визначимо необхідну кількість вертикальних труб (одиночних заземлювачів) з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{\text{т.е.}} = \frac{R_T}{R_3 \cdot h_{\text{е.т.}}} = \frac{117,9}{10 \cdot 0,55} = 21,44 \approx 22 \text{ шт.}$$

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму при прийнятому числі труб $n_{т.е.}$.

$$R_{роз} = \frac{R_{т.}}{(n_{т.е.} \cdot h_{е.т.})} = \frac{117,9}{(22 \cdot 0,55)} = 9,74 \text{ Ом.}$$

Визначаємо довжину сталюї горизонтальної смуги, що з'єднує вертикальні стрижні (труби):

$$L_{с.п.} = 1,057L(n_{т.е.} - 1) = 1,057 \cdot 3(22 - 1) = 66,59 \text{ м.}$$

Визначаємо опір розтікання струму горизонтальної смуги

$$R_{с.п.} = 0,366 \left(\frac{r_{роз.п.}}{L_{с.п.}} \right) \lg \left(\frac{2L_{с.п.}}{b_{п.} \cdot h_{в.}} \right) = 0,366 \left(\frac{900}{66,59} \right) \lg \left(\frac{2 \cdot 66,59}{0,05 \cdot 0,08} \right) = 34,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо коефіцієнт екранування $h_{е.с.п.}$ для горизонтальної смуги при $C = 1$: $h_{е.с.п.} = 0,37$.

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму горизонтальної смуги (з урахуванням коефіцієнта екранування):

$$R_{роз.п.} = \frac{R_{с.п.}}{h_{е.с.п.}} = \frac{34,5}{0,37} = 94,9 \text{ Ом.}$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір розтікання струму в трубах і смуги, що їх з'єднує:

$$R_{заг.роз} = \frac{1}{\frac{1}{R_{роз.т.}} + \frac{1}{R_{роз.п.}}} = \frac{1}{\frac{1}{9,74} + \frac{1}{94,9}} = 8,83 \text{ Ом.}$$

В результаті розрахунку заземлення ми отримали значення опору заземлювального пристрою: $R_{\text{заг.роз.}} = 8,83 \text{ Ом}$, що менше максимально допустимого значення $R_z = 10 \text{ Ом}$.

Таким чином, пристрій з розрахованими вище параметрами приймаємо в якості захисного заземлення розробленого в даній роботі.

3.2.2 Розрахунок блискавкозахисту

Найбільш небезпечним при появі блискавки з точки зору ураження будівель є прямий удар.

Кількість уражень блискавкою, що очікується на рік будівель та споруд висотою не більше 60 м, не обладнаних грозозахистом та, які мають незмінну висоту, визначають за формулою:

$$N = (B + 6h_x)(L + 6h_x)n \cdot 10^{-6},$$

де B – ширина об'єкту, що захищається, м;

L – довжина об'єкту, що захищається, м;

h_x – висота об'єкту по його боковим сторонам, м;

n – середнє число уражень блискавкою 1 км² земної поверхні на рік, значення якого наведено в табл. 12.2 [5] в залежності від інтенсивної грозової діяльності.

З таблиці 12.3 [5] приймається, що захисна зона відноситься до типу Б категорії грозозахисту III. Під зоною захисту грозовідводу розуміють частину простору, всередині якого споруда чи будівля захищена від прямих ударів блискавки з деякою ступінню надійності. Розрізняють зони захисту типу А, де ступінь захисту складає 99,5% і вище, та зону захисту типу Б зі ступінню надійності 95% і вище.

При інтенсивності грозової діяльності 60-80 год/рік приймається $n = 9$ (табл.12.2 [5]) та $B = 36 \text{ м}$; $L = 90 \text{ м}$; $h_x = 11 \text{ м}$:

$$N = (36 + 6 \times 11)(90 + 6 \times 11)9 \times 10^{-6} = 0,143$$

Приймається виконання захисту двома окремо розміщеними металевими грозовідводами стрижневого типу висотою $h = 50$ м на відстані $l = 110$ м.

Для зони Б при $l > 1,5h$ ($110 \text{ м} > 75 \text{ м}$) параметри зони захисту визначаються (див. рис. 3.2.):

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \times 50 = 75 \text{ м},$$

$$r_x = 1,5 \times \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \times \left(50 - \frac{11}{0,92} \right) = 57,065 \text{ м},$$

$$h_0 = 0,92h = 0,92 \times 50 = 46 \text{ м},$$

$$h_c = h_0 - 0,14(l - 1,5h) = 46 - 0,14(110 - 1,5 \times 50) = 41,1 \text{ м},$$

$$r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c} = 75 \frac{41,1 - 6}{41,1} = 64,051 \text{ м},$$

$$r_c = r_0 = 75 \text{ м}.$$

Кожний грозовідвід складається з наступних елементів:

- блискавкоприймач, безпосередньо сприймаючий прямий удар;
- несуча конструкція, що призначена для встановлення блискавкоприймача;
- струмовідвід, що забезпечує відведення струму блискавки в землю;
- заземлення, яке відводить струм блискавки в землю блискавкоприймача і струмопроводу.

На основі отриманих значень будуються зони захисту даного об'єкту на різних рівнях (рис. 3.2).

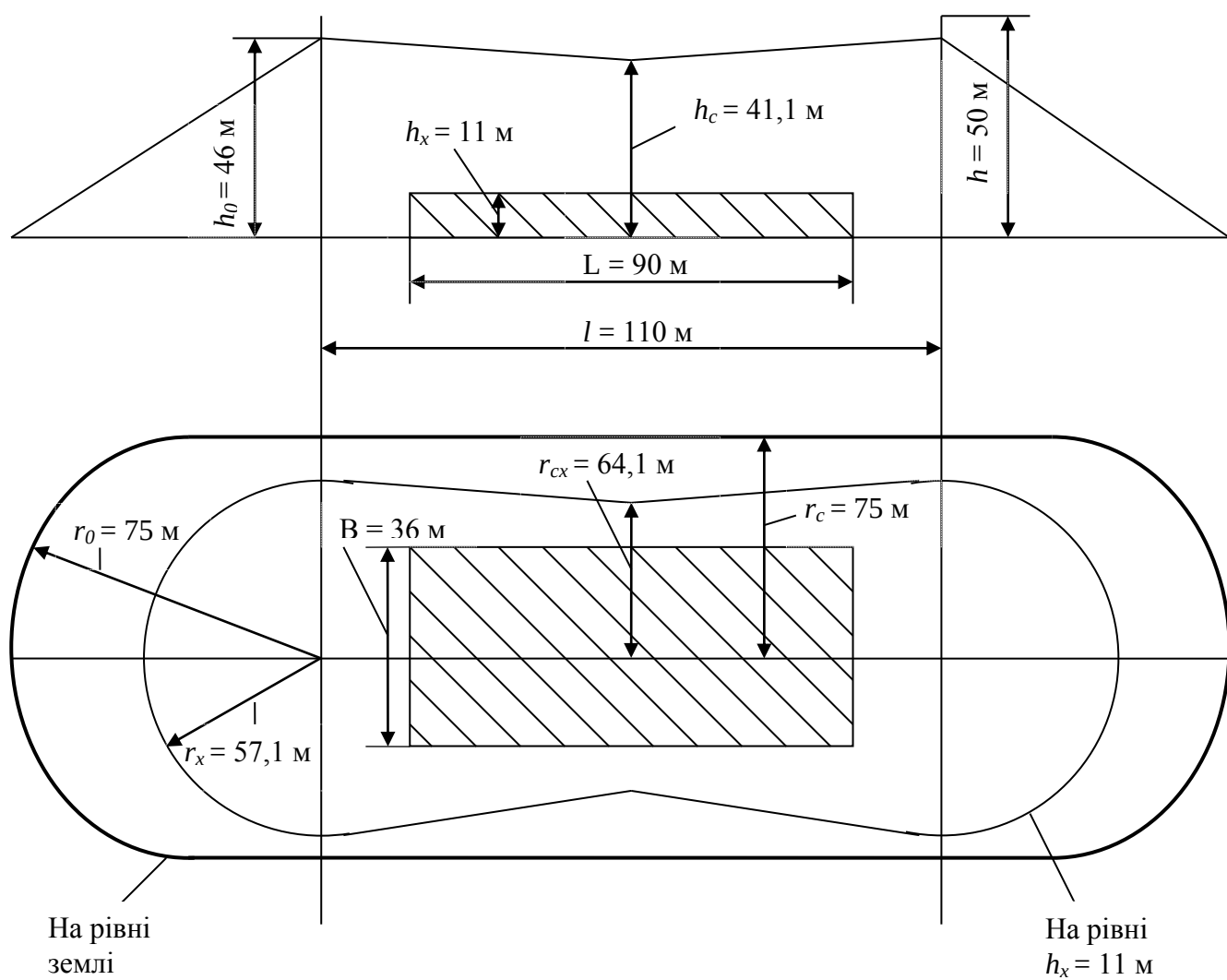


Рис. 3.2 – Зони захисту грозозахисту

ВИСНОВКИ

Забезпеченню раціонального та економного використанню 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.

В магістерській роботі отримані енергетичні характеристики промислових підприємств: заводу важкої промисловості, цукрового заводу, цеху прокату сталі, групи підприємств з масовим випуском продукції та з багатомономенклатурним виробництвом. Для врахування впливу випадкових чинників на основні електроенергетичні показники використаний математичний апарат теорії імовірності та математичної статистики. Розрахунок здійснювався на основі теорії кореляційних зв'язків та регресійного аналізу. Розглянуті питання використання енергетичних характеристик для нормування електроспоживання при багатомономенклатурному виробництві.

Проведені розрахунки показали, що енергетичні характеристики можуть бути використані для отримання норм з метою нормування споживання електроенергії, як для цеху так і для підприємства в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України про енергозбереження// Голос України. -1994.- № 147.
2. Державний стандарт України "Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни і визначення".
3. Гофман И.Э., Госпитальник Г.Л. Организация и планирование энергохозяйства промышленного предприятия.-М.-Л.: Госэнергоиздательство, 1954.
4. Под ред. Г.П. Минина и Ю.В.Копытова. Справочник по электропотреблению в промышленности. -М.: Энергия, 1978.
5. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. –М.: Энергия, 1979.
6. Рациональное использование электроенергии в системах промышленного электроснабжения. Киреева Э.А. Москва 2000г.
7. Авилов-Карнаухов Б. Н., Нормирование электроэнергии для угольных шахт. Углетехиздат, 1958 г.
8. Гофман И. В., Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. Изд. “Энергия”, 1966г.
9. Нормирование расходов электроэнергии. Сборник докладов. МДНТП им. Дзержинского, Москва, 1968 г.
10. Рациональное использование электроэнергии на промышленных предприятиях. Сборник докладов МДНТП им. Дзержинского, Москва, 1971 г.
11. Авилов-Карнаухов Б. Н., Общее и удельное потребление энергии угольных шахт в зависимости от их производительности. “Промышленная энергетика”, 1951 г., №2.
12. Тайц А. А., Методы оптимизации режимов систем электроснабжения и электроустановок промышленных предприятий. Автореферат доклада, обобщающий опубликованные работы, представленные на основании ученой степени доктора технических наук. Москва, МЭИ, 1970 г.

13. Копытов Ю. В., Основные направления мероприятий по экономике электроэнергии на предприятиях. В сборнике . МДНТП им. Дзержинского, Москва, 1971 г.

14. Тихонов В. И., Когда нестационарный случайный процесс можно заменить стационарным Ж.Т.Ф., 1956 г., №9.

15. Романовский В. И., Математическая статистика, т. и II. Изд. АНУ ЗССР, 1961 г.

16. Ястребов П. П. и др., Методика определения эффективности электроиспользования на промышленных предприятиях и анализ некоторых электроэнергетических показателей. Труды Воронежского технологического института, т. 16, 1960 г.

17. Ястребов П. П. Научные основы нормирования расхода электроэнергии в промышленности. В сборнике Нормирование расходов электроэнергии. МДНТП им. Дзержинского, М., 1968 г.

18. Ястребов П. П., Рациональное использование энергии в промышленности. Сборник статей . Изд. Воронежского Университета, 1971г.

19. Энергосбережение на промышленных предприятиях: Учебное пособие / Под ред. проф. М.И. Яворского. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 134 с.

20. Проведения энергетических обследований (энергоаудита) объектов промышленных предприятий саморегулируемой организацией в области энергетического обследования и её членами г. Тула 2010 г.

21. Правова основа енергозбереження . Зеркалов Д.В. КНТ 2008 р.

22. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий. Под. Ред С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина. Москва 2010г.

23. Казанцев Ю.І., Котиш А.І., Сіріков О.І. Енергетичні характеристики підприємств при багатомономенклатурному виробництві як некоректні стохастичні зв'язки. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве

машинобудування, автоматизація. – Вип. 14. – Кіровоград: КНТУ, 2004. С. 369-375.

24. Казанцев Ю.И., Стець П.Г. Энергетические характеристики как основа нормирования электроэнергии и ее рационального использования в электроэнергетических системах. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 25.Ч.ІІ – Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 142-144.

25. Плешков П.Г., Казанцев Ю.І., Сіріков О.І., Гарасьова Н.Ю. Величко Т.В. Методика визначення розрахункових навантажень промислових підприємств за питомою витратою електроенергії з використанням нестационарної моделі графіків електричних навантажень. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 2(33). Кропивницький: ЦНТУ. 2019. С. 130-139.

26. П.Г. Плешков, Ю.І. Казанцев, А.Ю. Орлович. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в системах електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. Кіровоград, 2007.

27. Основи енергозбереження. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування. Укл: Ю. І. Казанцев, І.В. Савеленко. Кіровоград, 2010.

ДОДАТОК А
Звіт подібності