

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ІНТЕГРОВАНЕ РЕСУРСНЕ ПЛАНУВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА ОСВІТНЬОЮ ПРОГРАМОЮ
«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ»
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
141 – «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) ОСВІТНЬОГО РІВНЯ

КРЕМЕНЧУК 2019

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» для студентів денної та заочної форм навчання за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент» зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» другого (магістерського) освітнього рівня

Укладач к. т. н., доц. С. М. Якимець

Рецензент д. т. н., проф. О. М. Сінчук

Кафедра систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №___ від _____

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Перелік лабораторних робіт.....	8
Лабораторна робота № 1 Дослідження зв'язку між випадковими величинами електроспоживання або електронавантаження з використанням емпіричної та теоретичної ліній регресії.....	8
Лабораторна робота № 2 Дослідження прогнозуючої функції споживання енергоресурсів.....	16
Лабораторна робота № 3 Дослідження економіко-статистичних моделей прогнозування електроживлення регіону.....	24
Лабораторна робота №4 Дослідження функцій прогнозування добових графіків потужності навантаження.....	31
Лабораторна робота №5 Дослідження детермінованих функцій прогнозування методами інтерполяції та екстраполяції.....	41
2 Самостійна робота студентів.....	47
2.1 Загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи.....	47
2.2 Завдання для самостійного опрацювання.....	51
3 Критерії оцінювання рівня знань студентів.....	54
Список літератури.....	60
Додаток А.....	62
Додаток Б.....	76
Додаток В.....	78
Додаток Г.....	81

ВСТУП

Інтегроване ресурсне планування – це циклічна модель планування, яка поєднує переваги довгострокового планування з перевагами управління у реальному часі, за участю як постачальників, так і споживачів електроенергії з залученням громадськості, у рамках якої проводиться аналіз вигід-витрат для розробки оптимального набору можливих варіантів забезпечення майбутньої потреби в електроенергії з найменшими витратами на її виробництво і передачу, з дотриманням вимог надійності та якості електропостачання, а також мінімального шкідливого впливу на довкілля [3].

У багатьох країнах ІРП ініціювалося інтегрованими приватними енергопостачальними компаніями під урядовим наглядом чи державними енергопостачальними компаніями. Тому спершу всі підходи і методи ІРП застосовувалися до вертикально інтегрованих енергетичних компаній, тобто таких, коли один енергопостачальник відповідальний та вповноважений будувати, експлуатувати і утримувати засоби для генерації, передачі та розподілення електроенергії кінцевим споживачам. Унаслідок цього можна було ураховувати ІРП як для вибору електростанцій, так і для управління інвестиціями в інші ділянки електропостачання, а також заходи із енергозбереження з боку споживачів.

Під час лібералізації енергетичних ринків ІРП у своєму початковому вигляді перестало бути пріоритетним напрямом діяльності для більшості енергопостачальних компаній в США, у яких до цього воно було найкраще реалізовано [4; 5]. Але, вожночас, основна ідея інтегрованого ресурсного планування – оптимізація енергетичної системи з огляду досягнення найкращих результатів її діяльності для суспільства і забезпечення надання енергетичних послуг з найменшими суспільними утратами – залишається. Тому виникла необхідність пристосувати ІРП до іншої структури ринку. З переходом до лібералізації постала потреба в розробці нових моделей та стимулів для упровадження ІРП на рівні енергосистем, енергопостачальних компаній та локальних енергетичних об'єктів.

Розглядаючи можливість упровадження ІРП в енергетичному секторі у двох полярних ситуаціях, а саме – з лише централізованим управлінням в енергетиці та з повністю лібералізованим ринком енергії, – можна зробити висновок, що для забезпечення виконання енергопостачальними компаніями процедур ІРП за відсутності примусових заходів з боку контролюючих державних органів, необхідно, щоб енергопостачальна компанія була у цьому економічно зацікавлена [6].

Найбільш стійкі пропорції між енергетикою та економічним зростанням формуються на народногосподарському рівні. Також досить стійкі взаємозв'язки між розвитком енергетики і промисловості країни, тобто у великих підсистемах народного господарства. Стійкість з'являється тут як деяка монотонність зміни енергоекономічних тенденцій.

Взаємодія енергетики та економіки, що розглядається з огляду ефективності, особливо важлива для раціонального управління і планування. Аналіз показує, що однозначної результативності взаємодії немає. Залежно від етапу технічного прогресу, галузевої та технологічної структури народного господарства, головних соціально-економічних цілей і т. д. показники, що відображають економічну ефективність виробництва, змінюються по-різному. Найбільш складний механізм формування динаміки продуктивності праці, фондівддачі та матеріаломісткості. Відповідно до динаміки цих показників, взаємодія енергетики та економіки призводить до працезберігальних, фондоекономних і матеріалозберігальних тенденцій.

Проте розглянуті залежності в чистому вигляді не проявляються. На них «накладається» цілий ряд умов розвитку реального виробництва та економіки. У результаті тенденції показників ефективності складаються з урахуванням дії усіх чинників економічного зростання.

Взаємодію енергетики та економіки дуже важливо вивчати також і в екологічному аспекті. З огляду на це вимагається виробити таку стратегію розвитку енергетики на перспективу, реалізація якої сприяла б збереженню природного довкілля. Принципи системного підходу вимагають, щоб розвиток власне

енергетики та технології енергоспоживання розглядався у нерозривному взаємозв'язку. У екологічних питаннях це очевидно, оскільки параметри взаємозв'язку виробничих процесів з довкіллям багато в чому визначаються енергетичними особливостями вживаної технології.

Найбільш конструктивний метод дослідження цієї взаємодії – побудова спеціальних економіко-математичних моделей. Нині вже побудовані моделі, у яких відбиті взаємозв'язки енергетики з економікою. Одним із способів удосконалення створеного апарату дослідження є органічна сполука енергогенеруючої та енергоспоживаючої частин модельованих систем. Поки що такого з'єднання немає. Водночас слід наголосити на необхідності їх дослідження саме з огляду взаємодії енергетики і економіки та формування унаслідок цієї взаємодії певних енергоекономічних пропорцій.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» є надбання високого рівня професійної підготовки студентами, які навчаються за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент» зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» другого (магістерського) освітнього рівня і формування професійних компетенцій самостійно й творчо розв'язувати задачі ефективного функціонування підприємств ПЕК та енергетичних систем, передбачених освітньою програмою спеціальності.

Завданням вивчення навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» є набуття навичок первинної обробки статистичної інформації з електропостачання або електроспоживання, визначати невідомі електричні величини за методами інтерполяції або екстраполяції; використовувати бази даних для формування економіко-статистичних прогнозних моделей, реалізовувати результати отриманих прогнозів у планах роботи енергопідприємства.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

– **знати** значення енергетичного комплексу для розвитку народного господарства; оцінювати електрифікацію виробництва як безперервний єдиний про-

цес генерування, розподілу та споживання електричної енергії; усвідомлювати, що ефективність і надійність роботи системи електропостачання нерозривно пов'язані з питаннями розрахунку і прогнозування електричних навантажень, які мають важливе значення у проектуванні систем електропостачання промислових підприємств; усвідомлювати, що точність розрахунку електричних навантажень впливає на капітальні витрати та утрати електроенергії; усвідомити, що процеси електропостачання та електроспоживання – це випадкові події, які необхідно вивчати не тільки електричними законами, а й методами теорії імовірності та математичної статистики;

– **уміти** формувати задачі прогнозного характеру у сфері електропостачання або енергоспоживання, обґрунтовувати структуру економічно-статистичних моделей, апріорно визначати перелік показників до включення у ці моделі, адекватно оцінювати результати розрахунків за цими моделями і формувати обґрунтовані рішення; аналізувати графіки електричного навантаження, за експериментальними графіками визначати розрахункову потужність за методом коефіцієнта максимуму.

1 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Тема. Дослідження зв'язку між випадковими величинами електропоживання або електронавантаження з використанням емпіричної та теоретичної ліній регресії

Мета: отримати практичні навички обробки випадкових величин електронавантаження засобами розрахунку і побудови лінійної регресійної залежності

Короткі теоретичні відомості

На практиці вивчають залежності між різними показниками, причому якісне виявлення цих залежностей прагнуть виразити в кількісній формі. В основу такого підходу покладено ідею однозначної відповідності між величинами: кожному значенню аргументу строго відповідає значення іншої змінної, тобто вивчається функціональна залежність. Однак завжди величина, яку досліджують є функцією кількох аргументів, які випадково змінюються, викликають випадкові коливання функції. Отже, виникають дві основні задачі знаходження зв'язку:

- визначити, як би змінилася функція X зі зміною одного аргументу Y , якщо б інші її аргументи не змінювалися;
- визначити ступінь спотвореного впливу інших чинників на залежність, що нас цікавить.

Якщо експериментальні дані, які відображають зміни однієї величини зі зміною другої, зобразити графічно, то отримаємо поле кореляції, яке дозволить досліджувати кореляційну залежність. Вид поля кореляції дозволяє стверджувати, є чи немає залежності між досліджуваними величинами. Уважають, що Y кореляційно залежить від X , якщо:

- кожному значенню аргументу X відповідає ряд розподілу функції Y ;

– зі зміною аргументу X ці ряди закономірно змінюють своє положення. Якщо зі зміною X ряди не змінюють свого положення, або змінюють його довільно, то Y кореляційно не залежить від X .

Емпірична лінія регресії

Кореляційна залежність припускає закономірне зсування рядів розподілу функції зі зміною значень аргументу. Під час дослідження кореляційної залежності необхідно визначити, у яку сторону та з якою швидкістю зсуваються ряди розподілу функції на різних ділянках зміни аргументу. Для цього необхідна точна оцінка положення рядів розподілу на осі Y , такою оцінкою слугують середні показники.

Якщо кількість експериментальних пар точок значна, розрахунок виконують у табличній формі (таблиця 1.1). Для спрощення розрахунків проводять заміну варіантів Y умовними варіантами Y' із застосуванням перетворення:

$$Y = \frac{Y' - C_Y}{i_Y},$$

де C_Y – новий відлік підрахунку; i_Y – інтервал групування відносно Y .

Таблиця 1.1 – Розрахункова кореляційна таблиця

Варіанта Y	Варіанта Y'	Аргумент X								Результат $\sum \Delta n_i$
		ΔX_1		ΔX_2		ΔX_3		ΔX_k		
		Δn_1	$Y\Delta n_1$	Δn_2	$Y\Delta n_2$	Δn_3	$Y\Delta n_3$	Δn_k	$Y\Delta n_k$	
Y'_k	ΔY_k									
\vdots	\vdots
Y'_3	ΔY_3									
Y'_2	ΔY_2									
Y'_1	ΔY_1									
Результат	$\sum \Delta n_i$									$\sum n$
	$\sum C' \Delta n_i$									
	\bar{Y}'_i									
	\bar{Y}_i									

Увесь діапазон змін аргументу X розбивають на рівні інтервали ΔX_i та записують зліва кількість вимірів Δn_i , які потрапили у цей інтервал.

Справа записують добуток Δn_i на нову варіанту Y' . Варіанти ΔY_k та інтервали ΔX_k відповідають серединам інтервалів розбиття.

У результуючі горизонталі заносять: $\sum \Delta n_i$ – кількість вимірів, що потрапили в цей інтервал; $\sum \Delta n_i \bar{Y}_i$ – суму відповідних добутків, записаних у кожному інтервалі розбиття справа; \bar{Y}_i – спрощене середнє значення, отримане діленням $\sum \Delta n_i \bar{Y}_i$ на $\sum \Delta n_i$ у цьому інтервалі; \bar{Y} – середнє шукане значення. Останній показник розраховують за формулою:

$$\bar{Y} = i_Y \bar{Y}_i + C_Y. \quad (1.1)$$

Результати розрахунку переносять на поле кореляції: з середини інтервалів розбиття аргументу відбудовують ординати, які відповідають значенням \bar{Y}_i . Вершини ординат з'єднують прямими, отриману ламану називають емпіричною лінією регресії Y по X (ЕЛР). Лінія ЕЛР показує, як у середньому змінюється Y зі збільшенням X .

Теоретична лінія регресії

Емпірична лінія регресії розміщується на кореляційному полі випадково, так як її положення визначається результатами випадково отриманих експериментальних даних (випадковим вибором). Граничне положення, до якого на прямлена ЕЛР (зі збільшенням кількості спостережень), називають граничною теоретичною лінією регресії (ТЛР). На практиці кількість спостережень завжди обмежена, тому можливо отримати наближену оцінку теоретичної лінії регресії, а не її граничне значення.

Процес знаходження теоретичної лінії регресії полягає в обґрунтуванні вибору апроксимальної кривої та розрахунку параметрів її рівняння. Найчасті-

ше використовують криві, рівняння яких виражають поліномами цілих позитивних ступенів.

Слід урахувати, що як би точно поліном не відтворював залежність у заданому інтервалі зміни аргументу, поза цим інтервалом функція може змінити свій хід. Отже, поза заданим проміжком неможливо точно оцінити напрямок процесу, а, збільшуючи порядок полінома можна віддалитися від граничної теоретичної лінії регресії. Тому виникає задача знаходження у кожному окремому випадку кривої, яка з малим числом параметрів краще передає закономірний хід лінії регресії у порівнянні з параболою того чи іншого порядку.

Розрахунок параметрів рівняння регресії

Обробку експериментальних даних починають з визначення: який показник є функцією, а який – аргументом, та введенням відповідних показників Y і X . Якщо обсяг вихідних даних незначний, у складанні кореляційної таблиці немає необхідності. За великої кількості даних розраховують емпіричну лінію регресії за допомогою кореляційної таблиці. Нижче наведено приклад поля кореляції (рис. 1.1).

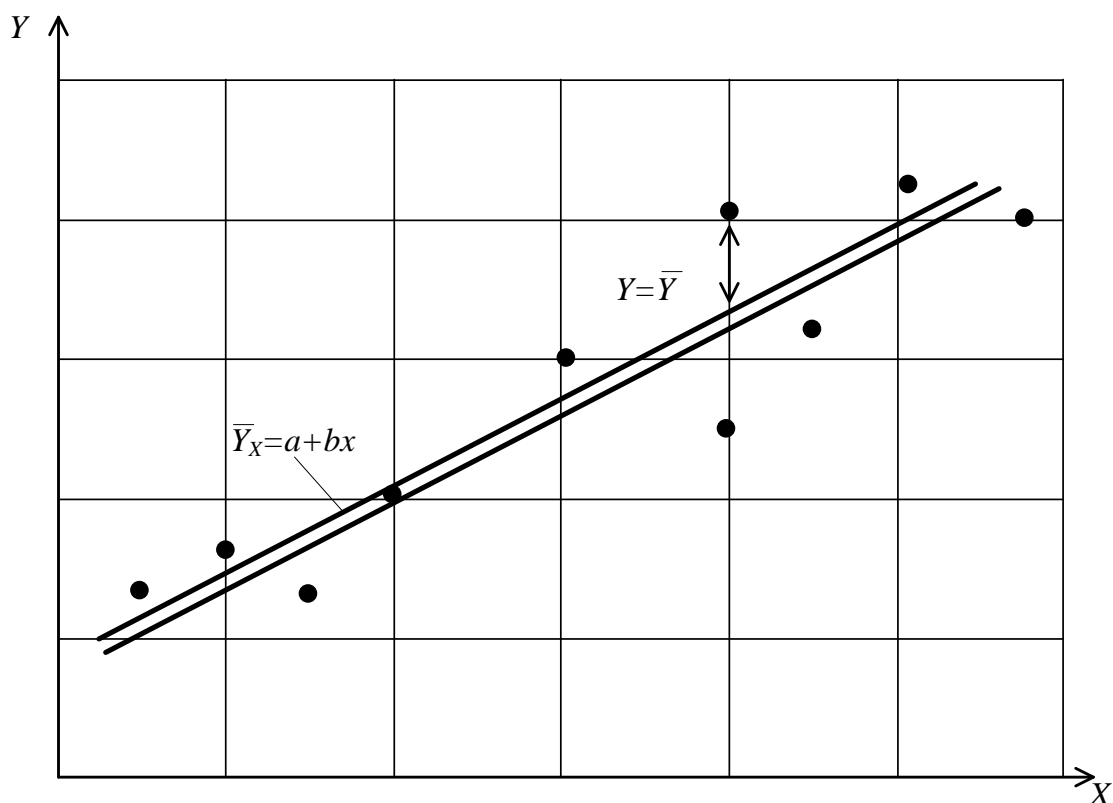


Рисунок 1.1 – Поле кореляції для невеликої вибірки

Якщо залежність між Y і X існує та близька до лінійної, її описують рівнянням:

$$Y_X = a + bx, \quad (1.2)$$

де a і b – невідомі параметри.

Із багатьох прямих на площині, які можна отримати за різних значеннях a і b , необхідно вибрати ту, яка найкраще відповідає експериментальним даним. Така пряма має бути найближчою до усіх заданих точок, ніж будь-яка інша.

Відстань від точки до прямої вимірюють відрізком ординати, який з'єднує точку з лінією регресії, тобто $\left(Y - \bar{Y}_X \right)$, де Y – точка поля кореляції; \bar{Y}_X – ордината відповідної точки лінії.

Відхилення можуть бути додатними або від'ємними, тому розглядають квадрати цих відхилень $\left(Y - \bar{Y}_X \right)^2$. Найкращою теоретичною лінією буде лінія, коли сума квадратів відхилень фактичних ординат від ординат, які розраховуються за рівнянням прямої (1.2), буде мінімальною:

$$\sum \left(Y - \bar{Y}_X \right)^2 = \min. \quad (1.3)$$

Вираз (1.3) називають критерієм найменших квадратів. Метод визначення параметрів апроксимувальної кривої, який використовує цей критерій, називають методом найменших квадратів.

Вираз для мінімізованої функції має вигляд:

$$f = \sum \left(Y - a - bx \right)^2 = \min. \quad (1.4)$$

Продиференціювавши (1.4) за параметрами a і b і прирівнявши похідні до нуля, отримують два рівняння для розрахунку невідомих параметрів:

$$\left. \begin{aligned} \sum Y &= na + b \sum X \\ \sum XY &= a \sum X + b \sum X^2 \end{aligned} \right\}. \quad (1.5)$$

Розв'язання системи рівнянь (1.5), зазвичай, виконують у табличній формі (таблиця 1.2). Для цього підставляють отримані значення $\sum X$, $\sum Y$, $\sum X^2$, $\sum XY$ у (1.5) розв'язують систему відносно a і b .

Таблиця 1.2 – Таблиця розрахункових даних розв’язання системи рівнянь

X	Y	X^2	XY	\bar{Y}_X
...
...
...
$\sum X$	$\sum Y$	$\sum X^2$	$\sum XY$	–

Рівняння теоретичної лінії регресії Y відносно X набуває вигляду:

$$Y_X = a + bx.$$

У разі нелінійної регресії апроксимацію теоретичної лінії регресії можна також виконати за допомогою методу найменших квадратів. Для цього слід вибирати квадратичну параболу, і вираз для мінімізованої функції записати у вигляді:

$$f = \sum (y_t - Y_X)^2 = \sum (y_t - a - bx - cx^2)^2 = \min. \quad (1.6)$$

Продиференціювавши (1.6) за параметрами a , b , c , отримують систему з трьох рівнянь, з яких визначають невідомі параметри гіперболи.

Відхилення від знайденої апроксимальної кривої перевіряють на підставі гіпотези, що ці відхилення є стаціонарним випадковим процесом із застосуванням методу прогнозування стаціонарних випадкових процесів.

У разі побудови прогнозуючої функції визначають залежність:

$$\hat{y}_t = f(\bar{x}_t),$$

де t – незалежна змінна, \hat{y}_{t+1} – прогнозоване значення деякої залежної змінної.

Вибір цієї функції вважається найкращим, якщо зведеним до мінімуму виявляється так зване стандартне відхилення, що визначають за формулою:

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (1.7)$$

де y_t – фактичне значення часового ряду, який описує споживання енергоресурсів у t -й період (відрізок часу); n – кількість періодів (спостережень).

Побудова прогнозуючої функції, незалежно від часу, відбувається у такій послідовності:

– визначають функцію у вигляді:

$$\hat{Y}_t = a;$$

– визначають функціонал за умови:

$$J = \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2 \equiv \sum_{t=1}^n (y_t - a)^2 \rightarrow \min.$$

Для мінімізації в цьому випадку необхідно розв'язати відносно a рівняння, отримане в результаті прирівнювання до нуля частинної похідної $\frac{\partial J}{\partial a}$.

Отже:

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \sum_{t=1}^n (y_t - a) \equiv 0,$$

тому:

$$\sum_{t=1}^n y_t = an,$$
$$a = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} = \bar{y},$$

де \bar{y} – середнє значення.

Порядок виконання роботи

1. За таблицею А.1 додатка А надати характеристику електроспоживання E технологічного процесу, який відбувається на n ділянках з електротехнічним обладнанням з потужністю $P_{обл}$, з урахуванням змінного часу та кількістю увімкненого обладнання. Кількість ділянок n визначити із міркувань $n = N + 10$, де N – порядковий номер прізвища студента у журналі академічної групи.

2. Розрахувати параметри рівняння лінійної регресії. Результати розрахунків занести до розрахункової таблиці 1.3.

3. Знайти оцінки параметрів рівняння регресії за формулою 1.5 та записати отримане рівняння регресії.

4. Побудувати на одному графіку вихідні дані та теоретичну пряму у спільній системі координат.

Таблиця 1.3 – Розрахункова таблиця

№	X	Y	YX	X^2	Y^2	\bar{Y}_X	$Y - \bar{Y}$	$Y - \bar{Y}_X$	A_i
1									
...
n									
\sum									
Середнє значення									
σ									
σ^2									

5. Зробити висновок щодо установленної залежності між характеристиками електроспоживання.

6. Оформити звіт з лабораторної роботи. Звіт має містити назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості, таблицю з експериментальними даними, розрахункову таблицю, суміщений графік вихідних даних і теоретичної прямої, висновки щодо виконаної роботи.

Контрольні запитання

1. Надати загальну характеристику методів дослідження зв'язку між випадковими величинами.

2. Пояснити принципи побудови поля кореляції випадкових величин.

3. Пояснити суть методу найменших квадратів та його практичного застосування.

4. Проаналізувати методику побудови емпіричної лінії регресії на підставі заданої статистичної інформації.

5. У чому полягає основне завдання дослідження зв'язку між випадковими величинами?

Лабораторна робота № 2

Тема. Дослідження прогнозуючої функції споживання енергоресурсів

Мета: отримати практичні навички побудови прогнозуючої функції електроспоживання з варіаціями особливостей споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Короткі теоретичні відомості

Якщо рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів є постійним, але може зазнавати випадкових відхилень відносно деякого фіксованого значення, доцільно задавати прогнозуючу функції у вигляді $\hat{y}_t = a$. Графік постійного рівня споживання ПЕР з випадковим відхиленням має вигляд, наведений на рисунку 1.2.

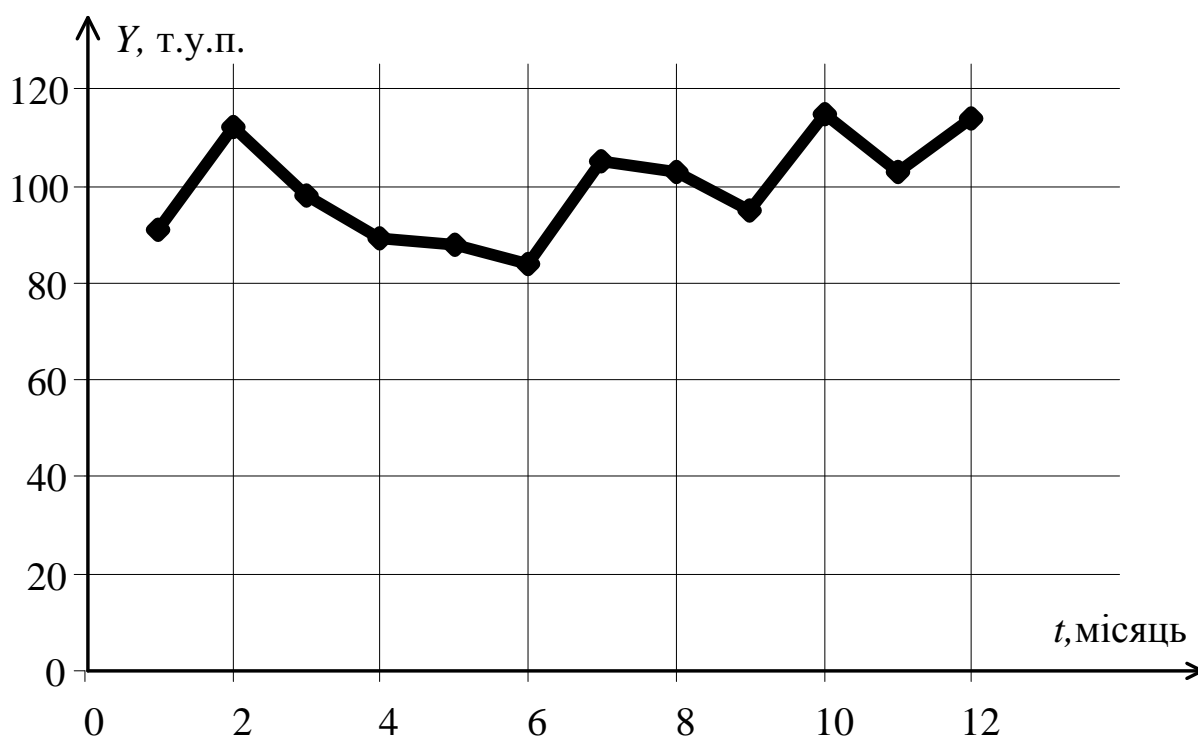


Рисунок 1.2 – Графік постійного рівня споживання ПЕР з випадковим відхиленням

Середнє арифметичне \bar{y} , у тонах умовного палива (т.у.п.), визначають з даних про електроспоживання за формулою:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n}. \quad (1.8)$$

У разі визначення цього значення як прогностичного, споживання паливно-енергетичних балансів для кожного відрізка часу (у цьому разі для кожного місяця) беруть рівним передбаченому (наприклад, 99 т.у.п./міс.).

Для оцінювання ступеня точності цього методу визначають середнє квадратичне відхилення σ_{y_t} , т.у.п., за даними енергоспоживання за формулою:

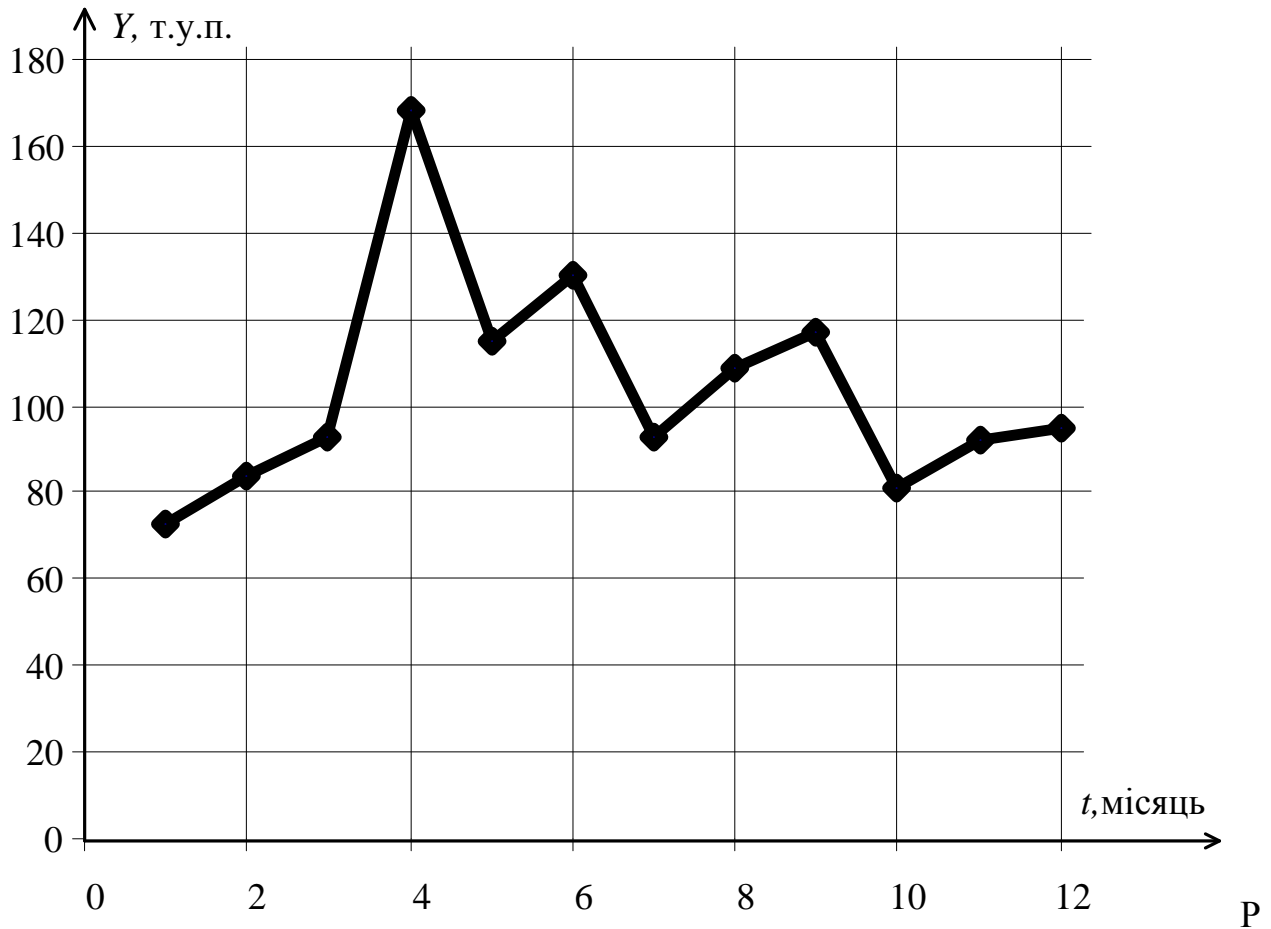
$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (1.9)$$

Інтерпретуючи обчислене значення стандартного відхилення (середньоквадратичного відхилення) для наведеного прикладу, можна стверджувати: якщо розглянути інтервал часу тривалістю 100 місяців, 68 з них характеризуються рівнями споживання ПЕР, які лежать в інтервалі від $\bar{y} - \sigma_{y_t} \approx 89$ т.у.п. до $\bar{y} + \sigma_{y_t} \approx 110$ т.у.п.. З імовірністю 0,68 можна вважати, що рівень споживання ПЕР у будь-який місяць періоду, який розглядається, набуває значення у інтервалі від 89 до 110 т.у.п.. Якщо інтервал оцінюваних значень споживання ресурсів розширити, зросте ймовірність того, що фактичне споживання виявиться у середині цього інтервалу. У будь-який з даних місяців імовірність того, що фактичне споживання ПЕР виявиться в інтервалі від 79 до 119 т.у.п., дорівнює 0,95. Аналогічно: з ще більшим розширенням інтервалу та обмеженням його значеннями 68 (нижня межа) і 131 (верхня межа) підвищується імовірність до значення 0,997.

Під час прогностичного оцінювання рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів з періодичністю, графік постійного рівня споживання ПЕР має вигляд, наведений на рисунку 1.3.

Під час побудови прогностичної функції використовують метод найменших квадратів для періодичної функції у вигляді:

$$\hat{y}_t = a + b \cos \frac{2\pi}{n} t + c \sin \frac{2\pi}{n} t. \quad (1.10)$$



исунок 1.3 – Періодична поведінка споживання ПЕР

Коефіцієнти a , b і c рівняння (1.10) визначають за виразами:

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n};$$

$$b = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos \frac{2\pi}{n} t;$$

$$c = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin \frac{2\pi}{n} t. \quad (1.11)$$

З урахуванням розрахованих значень отримаємо:

$$\hat{y}_t = -21,46 \cos \frac{\pi}{6} t + 5,201 \sin \frac{\pi}{6} t.$$

Результати обчислень, які супроводжують побудову прогнозуючої функції, наводять, зазвичай, таблично.

Оцінювання похибки під час прогнозування споживання ПЕР проводять за допомогою періодичної прогнозуючої функції. Середньоквадратичне відхилення σ_{y_t} , т.у.п., що характеризує похибку прогнозу в цьому випадку з використанням періодичної прогнозуючої функції визначають за формулою:

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (1.12)$$

Поведінка споживання енергоресурсів із загальною тенденцією до зростання є суперпозицією тенденцій, наведених у перших двох випадках. Рівень споживання енергоресурсів із загальною тенденцією до зростання містить періодичну складову (тобто споживання ресурсів періодично коливається відносно прямої, що визначає поступове і стійке зростання y_t).

Графік споживання енергоресурсів у цьому випадку має вигляд, наведений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Лінійна періодичність зростаючого споживання ПЕР

Лінійна прогноуюча функція має вигляд:

$$\hat{y}_t = a + bt, \quad (1.13)$$

тоді як лінійна циклічність споживання ПЕР може бути описана за допомогою прогноуючої функції вигляду:

$$\hat{y}_t = a + bt + c \cos \frac{2\pi}{n} t + d \sin \frac{2\pi}{n} t. \quad (1.14)$$

Відповідні рівняння, індуковані методом найменших квадратів, мають вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^n y_t &= an + b \sum_{t=1}^n t; \\ \sum_{t=1}^n y_t t &= a \sum_{t=1}^n t + b \sum_{t=1}^n t^2 + c \sum_{t=1}^n t \cos \frac{2\pi}{n} t + d \sum_{t=1}^n t \sin \frac{2\pi}{n} t; \\ \sum_{t=1}^n y_t \sin \frac{2\pi}{n} t &= b \sum_{t=1}^n t \cos \frac{2\pi}{n} t + c \frac{n}{2}; \\ \sum_{t=1}^n y_t \cos \frac{2\pi}{n} t &= b \sum_{t=1}^n t \sin \frac{2\pi}{n} t + d \frac{n}{2}. \end{aligned} \quad (1.15)$$

Обчислення, які супроводжують побудову лінійно-циклічної функції прогноуючої функції, зазвичай, здійснюють таблично.

Порядок виконання роботи

1. За таблицею А.2 додатка А створити таблицю 1.4 щомісячних даних про споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) з випадковим відхиленням. Номер варіанту N відповідає порядковому номеру прізвища студента у журналі академічної групи.

2. Задати прогноуючу функції у вигляді $\hat{y}_t = a$.

3. За даними таблиці 1.4 побудувати графік постійного рівня споживання ПЕР з випадковим відхиленням $Y_{т.у.п} = f(\text{місяць})$.

Таблиця 1.4 – Рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів з випадковим відхиленням

Показник	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
y_t , т.у.п.														

4. Визначити середнє арифметичне значення за формулою (1.8)

5. Для оцінювання ступеня точності цього методу за формулою (1.9) та даними таблиці 1.4 визначити середнє квадратичне відхилення.

6. Інтерпретувати обчислене значення стандартного відхилення.

7. За таблицею А.3 додатка А створити таблицю 1.5 щомісячних даних про споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) з періодичністю. Номер варіанта N відповідає порядковому номеру прізвища студента у журналі академічної групи.

Таблиця 1.5 – Рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів з періодичністю

Показник	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
y_t , т.у.п.														

8. Побудувати за даними таблиці 1.5 графік періодичної поведінки споживання ПЕР $Y_{\text{т.у.п.}} = f(\text{місяць})$.

9. Задати прогнозуючу функцію у вигляді (1.10).

10. За формулами (1.11) розрахувати коефіцієнти прогнозуючої функції.

11. Записати прогнозуючу функцію з урахуванням розрахованих коефіцієнтів.

12. Розрахувати характерні точки та побудувати прогнозуючу функцію. Результати розрахунків занести до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати обчислень для періодичної моделі

Місяць, t	Споживання ПЕР, y_t	$\sin \frac{\pi t}{6}$	$\cos \frac{\pi t}{6}$	$y_t \sin \frac{\pi t}{6}$	$y_t \cos \frac{\pi t}{6}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
Сума					

13. Для оцінювання ступеня точності даного методу за формулою (1.9) та даними таблиці 1.5 визначити середнє квадратичне відхилення.

14. Інтерпретувати обчислене значення стандартного відхилення.

15. За таблицею А.4 додатка А створити таблицю 1.7 щомісячних даних про споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) із загальною тенденцією до зростання. Номер варіанта N відповідає порядковому номеру прізвища студента у журналі академічної групи.

16. Побудувати за даними таблиці 1.7 графік споживання ПЕР $Y_{т.у.п} = f(\text{місяць})$ із загальною тенденцією до зростання.

Таблиця 1.7 – Рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів із загальною тенденцією до зростання

Показник	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
y_t , т.у.п.														

17. Задати прогноуючу функцію як суперпозицію тенденцій (формула 1.14).

18. За формулами обчислити коефіцієнти прогноуючої функції. Результати розрахунків занести до таблиці 1.8.

19. Записати розраховану математичну модель споживання ПЕР.

20. Розрахувати середньоквадратичне відхилення σ_{y_t} , т.у.п., за формулою (1.9).

21. Інтерпретувати обчислене значення стандартного відхилення.

22. Оформити звіт з лабораторної роботи. Звіт повинен містити назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості, таблицю з експериментальними даними, розрахункові таблиці, побудовані графіки, висновки щодо виконаної роботи.

Таблиця 1.8 – Розрахункова таблиця

Показник												$\sum_{t=1}^n y_t$	
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
y_t													
ty_t													
t^2													
$\sin \frac{\pi t}{6}$													
$\cos \frac{\pi t}{6}$													
$y_t \sin \frac{\pi t}{6}$													
$y_t \cos \frac{\pi t}{6}$													
$t \sin \frac{\pi t}{n}$													
$t \cos \frac{\pi t}{n}$													

Контрольні питання

1. Визначити і пояснити порядок розрахунку прогнозуючої функції з постійним рівнем споживання паливно-енергетичних ресурсів з випадковим відхиленням.
2. Визначити зміст і пояснити порядок розрахунку прогнозуючої функції споживання паливно-енергетичних ресурсів з періодичністю.
3. Як розглядають поведінку споживання енергоресурсів із загальною тенденцією до зростання? Пояснити зміст прогнозуючої функції та порядок розрахунку.
4. Пояснити суть поняття «стандартне» (середньо-квадратичне відхилення).
5. Як оцінюють похибку під час прогнозування споживання паливно-енергетичного ресурсу?

Лабораторна робота № 3

Тема. Дослідження економіко-статистичних моделей прогнозування електроживлення регіону

Мета: отримання навичок вибору і розрахунку параметрів моделі для прогнозування електроспоживання промислового регіону.

Короткі теоретичні відомості

Обґрунтування математичного підходу до розв'язання задачі прогнозу електроспоживання регіону

Прогнозування електроспоживання регіонів має розглядатися як важлива частина інформаційного забезпечення автоматизованої системи планування розвитку енергетики. Для розв'язання цієї задачі необхідно застосовувати системний підхід, насамперед урахувати горизонтальні та вертикальні ієрархічні зв'язки.

Цим вимогам відповідають економіко-статистичні моделі, що дозволяють отримати аналітичні залежності між рівнями електроспоживання і відповідними макроекономічними показниками. Велика кількість параметрів і складність

взаємозв'язків під час прогнозування електроспоживання примушують відмовитися від традиційних статистичних методів і застосовувати нові багатопараметричні моделі прогнозування, що спираються на багатовимірний статистичний аналіз.

При цьому послідовність параметрів для різних регіонів не збігається і визначається специфікою розвитку електрифікації за галузями народного господарства. Отже, для цих районів можна виділити найбільш вагомі в інформаційному відношенні народногосподарські параметри і зосередити основні зусилля на підвищенні достовірності їх прогнозних оцінок.

Для визначення апроксимальної здатності моделей використовують статистичні оцінки: середні відносні похибки $\varepsilon_{сер}$, середні квадратичні відхилення залишків у відсотках від математичного очікування рівнів електроспоживання, коефіцієнти множинної кореляції R і середню ширину довірчого інтервалу $\pm \Delta_{сер}$ з рівнем значущості $\alpha = 0,05$.

Вибір макроекономічних показників для аналізу електроспоживання регіону

На першому етапі необхідно виявити спектр показників, які визначають економічне зростання регіонів, з урахуванням двох умов: істотності взаємозв'язків між народногосподарськими показниками та рівнями електроспоживання і приналежності до рівня ієрархії, попереднього прогнозу електроспоживання.

На практиці для включення у моделі прогнозування електроспоживання найчастіше обирають 48 основних народногосподарських показників (параметрів).

До їх складу входять:

– у промисловому секторі – продуктивність праці ($П$), фондооснащеність (Φ_0), чисельність промислово-виробничого персоналу ($Ч$), об'єм валової продукції ($В$), вартість основних виробничих фондів (Φ);

– у транспорті – протяжність електрифікованих залізниць (L);

– у сільському господарстві – продуктивність праці $P_{СТ}$, фондооснащеність ($\Phi_{Осг}$), фондозабезпеченість ($\Phi_{Зсг}$);

– у сфері обслуговування – обсяг послуг населенню $O_{Поб}$.

Демографічні умови характеризують показники щільності та чисельності міського і сільського населення (γ , H_M , H_C).

Побудова моделей прогнозування ускладнюється такими особливостями: нерівномірністю територіального розподілу потреби в електроенергії; неоднорідністю галузевої структури електроспоживання; нерегулярністю характеру зміни річних приростів (від нуля до 23 %); великим діапазоном варіювання рівнів електроспоживання у районах і за роками (від 2 до 100 млрд. кВт).

Дослідження тісноти зв'язку між показниками

На другому етапі досліджують кореляційні зв'язки між показниками і визначають ступінь їх впливу на зростання електроспоживання. Аналіз кореляційної матриці (таблиця. 1.9), наприклад, виявляє велику питому вагу (більше 80 параметрів) сильних ($r \geq 0,8$) кореляційних зв'язків.

Галузі значно різняться за електроємністю основних фондів і рівнями фондоозброєності праці. Це викликає необхідність урахувати економічні показники промислового сектора диференційовано за галузями. Для цього виокремлюють вісім основних галузей: чорна (ч) і кольорова (к) металургія, машинобудівна (м), хімічна (х), паливна (пл), електроенергетична (е), легка (л) і харчова (хп) промисловості.

Наявні регресійні моделі електроспоживання ураховують дуже невелике число параметрів впливу. Проте обмеження числа параметрів часто призводить до «збіднення» початкової інформації за показниками економічного розвитку регіонів. Указану складність дозволяє здолати застосування факторного аналізу, що складає зміст подальших етапів моделювання.

Заміна вихідних параметрів некорельованими факторами

На третьому етапі здійснюють еквівалентну у статистичному сенсі заміну початкових параметрів значно меншою кількістю некорельованих чинників. У

результаті підвищується математична коректність регресійного аналізу внаслідок ортогональності чинників і точність моделювання завдяки збільшенню кількості спостережень на одну змінну, спрощується аналіз моделей внаслідок скорочення розмірності.

Таблиця 1.9 – Матриця коефіцієнтів взаємної кореляції народногосподарських параметрів

P_M	Φ_{Om}	P_X	Φ_{Ox}	P_L	Φ_{Ol}	P_{xn}	Φ_{Oxn}	H_M	H_C	
0,86	0,86	0,86	0,99	0,29	0,92	0,86	0,95	0,85	-0,04	P_u
0,92	0,92	0,91	0,98	0,39	0,96	0,91	0,98	0,81	0,04	$\Phi_{Oч}$
0,97	0,99	0,98	0,88	0,64	0,99	0,98	0,98'	0,78	0,02	$P_{Ц}$
0,96	0,97	0,96	0,94	0,53	0,99	0,96	0,99	0,82	0,06	$\Phi_{ВЦ}$
0,88	0,88	0,89	0,98	0,36	0,94	0,88	0,96	0,84	0,05	P_{nl}
0,94	0,93	0,94	0,94	0,52	0,97	0,94	0,98	0,74	-0,08	Φ_{Onl}
0,91	0,95	0,92	0,74	0,70	0,91	0,91	0,90	0,78	0,18	P_e
0,96	0,98	0,97	0,91	0,58	0,99	0,97	0,99	0,81	-0,01	Φ_{Oe}
1	0,96	0,96	0,84	0,65	0,98	0,96	0,96	0,65	0,15	P_M
	1	0,98	0,84	0,68	0,98	0,98	0,97	0,76	0,01	Φ_{Om}
$\Phi_{Oч}$	0,98	1	0,84	0,71	0,98	0,99	0,96	0,74	-0,04	P_x
P_k	0,90	0,94	1	0,23	0,90	0,84	0,93	0,81	0,05	Φ_{Ox}
Φ_{Ok}	0,94	0,98	0,98	1	0,61	0,70	0,54	0,28	-0,12	P_{xn}
P_{nl}	0,98	0,99	0,92	0,96	1	0,98	0,99	0,76	0,04	Φ_{Oxn}
Φ_{Onl}	0,96	0,98	0,95	0,97	0,96	1	0,96	0,73	-0,05	$\Phi_{ВЛ}$
P_e	0,76	0,82	0,94	0,91	0,81	0,81	1	0,81	0,03	P_{nl}
Φ_{Oe}	0,93	0,97	0,99	0,99	0,95	0,97	0,91	1	-0,10	Φ_{Onl}
P_M	0,86	0,92	0,97	0,96	0,88	0,94	0,91	0,96	1	H_M
	P_u	$\Phi_{Oч}$	P_k	Φ_{Ok}	P_T	Φ_{BT}	Φ_{BT}	P_e	Φ_{Be}	

Перехід від натуральних значень параметрів X до нормованих Z здійснюють за формулою:

$$Z_j = \frac{X_j - M_{X_j}}{\sigma_{X_j}}, \quad (1.16)$$

де M_{X_j} і σ_{X_j} – математичне очікування і середнє квадратичне відхилення параметра X . Нехтуючи характерними чинниками, що обумовлюють залишкову варіацію, отримаємо:

$$Z = AF. \quad (1.17)$$

Матрицю навантажень A визначають за методом головних чинників, в основу якого покладено ортогоналізація вибіркової кореляційної матриці з обчисленням її власних чисел і власних векторів.

Результати факторного аналізу показують, що початкова сукупність народногосподарських параметрів достатньо повно описується першими двома трьома чинниками, на долю яких і припадає понад 90...95% сумарної дисперсії. Вклади подальших чинників у сумарну дисперсію змінних порівняно невеликі та ними можна знехтувати.

Завершальною процедурою факторного аналізу є отримання виразу:

$$F = WZ, \quad (1.18)$$

де W – матриця зв'язку.

Побудова та визначення параметрів регресійних моделей

Четвертий (завершальний) етап розробок полягає в побудові регресійної моделі електроспоживання:

$$E = F \left(F \right) = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^k b_i F_i. \quad (1.19)$$

У цій формулі разом з календарним часом t як незалежні змінні враховують чинники F , визначені за формулою (1.18).

Зважаючи на зазначені особливості, розглянуту модель прогнозування електроспоживання називають факторно-регресійною (ФРМ). Разом з ФРМ застосовують традиційні регресійні моделі (РМ), які передбачають три параметри (валове виробництво продукції, щільність населення і календарний час). Подальше збільшення числа змінних неефективне (унаслідок відмічених вище сильних кореляційних зв'язків між народногосподарськими параметрами).

Як доводять результати порівняння (таблиця 1.10), ФРМ мають певні переваги перед РМ, які найбільше виявляються для порівняно невеликих регіонів, що характеризуються малою інерційністю в розвитку. Так, для підрайону 3 (найменшого в цьому регіоні) переходом від РМ до ФРМ вдалося понизити похибку апроксимації рівнів електроспоживання з 6,9 до 2,5%, значно скоротивши при цьому ширину довірчого інтервалу невизначеності.

Таблиця 1.10 – Результати моделювання сумарного електроспоживання регіонів

Регіон	Модель, формула	Статистична оцінка					
		$\varepsilon_{сер}$, %	σ , %	R , в.о.	$\pm \Delta_{сер}$, %	F – критерій	
						Розрахунковий	Табличний ($\alpha=0,05$)
Економічний район	(1.20)	3,14	3,56	0,969	3,5	142	3,35
	(1.21)	0,68	0,82	0,998	1,0	183	3,64
	(1.22)	1,41	1,98	0,995	2,2	587	3,64
Підрайон 1	(1.23)	3,19	4,41	0,087	6,7	35,64	3,35
	(1.24)	2,91	3,78	0,926	6,0	33,68	3,64
	(1.25)	2,24	3,53	0,997	4,5	19,10	3,64
	(1.26)	2,02	3,25	0,975	4,3	36,7	4,06
Підрайон 2	(1.27)	1,98	2,49	0,989	2,5	414	3,35
	(1.28)	1,27	1,5	0,996	1,75	672	3,64
	(1.29)	1,21	1,60	0,996	1,7	581	3,64
	(1.30)	0,84	1,46	0,997	1,85	495	4,05
Підрайон 3	(1.31)	6,77	7,54	0,961	7,5	112	3,35
	(1.32)	6,86	7,89	0,963	7,5	70	3,64
	(1.33)	3,21	3,92	0,995	4,0	119	3,64
	(1.34)	2,54	3,27	0,996	4,0	252	4,06

Формули, на які є посилання у таблиці 1.10 та які описують моделі, наведені нижче.

$$E = -611 + 509B + 10634\gamma; \quad (1.20)$$

$$E = 79134 + 6107t - 7573B + 2558\gamma; \quad (1.21)$$

$$E = 22268 + 6847t - 10888F_1 + 241F_2; \quad (1.22)$$

$$E = 9360 + 2632B - 913\gamma; \quad (1.23)$$

$$E = 38836 + 2581t - 1135B - 6598\gamma; \quad (1.24)$$

$$E = 20944 + 1219t - 848F_1 + 80F_2; \quad (1.25)$$

$$E = 21062 + 1184t - 778F_1 + 1134F_2 - 23F_3; \quad (1.26)$$

$$E = -6305 + 680B + 2597\gamma; \quad (1.27)$$

$$E = 12983 + 1504t - 463B - 0,5\gamma; \quad (1.28)$$

$$E = 12541 + 853t + 1158F_1 + 283F_2; \quad (1.29)$$

$$E = 11102 + 1109 + 149F_1 + 57F_2 + 1,8F_3; \quad (1.30)$$

$$E = -4076 + 831B - 0,8\gamma; \quad (1.31)$$

$$E = -3592 + 37t + 751B + 13\gamma; \quad (1.32)$$

$$E = 1240 + 445t + 6146F_1 - 18280F_2; \quad (1.33)$$

$$E = 1563 + 371t + 119F_1 - 42F_2 + 31F_3. \quad (1.34)$$

Порядок виконання роботи

1. За таблицею А.1 додатка А визначити характеристику електроспоживання E технологічного процесу, який відбувається на n ділянках з електротехнічним обладнанням з потужністю $P_{обл}$, з урахуванням змінного часу та кількості увімкненого обладнання. Кількість ділянок n визначити із міркувань $n = N + 10$, де N – порядковий номер прізвища студента у журналі академічної групи.

2. Занести дані про характеристику електроспоживання до таблиці 1.11.

3. Визначити лінійний коефіцієнт парної кореляції моделі електроспоживання ділянок електротехнічного обладнання за формулою:

$$r_{XY} = b \frac{\sigma_X}{\sigma_Y}.$$

У останній формулі взяти $b = 0,92$.

Таблиця 1.11 – Рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів

Показник	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
y_t , т.у.п.														

4. За обчисленим значенням r_{XY} зробити висновок про наявність і тісноту зв'язку між ознаками.

5. Визначити коефіцієнт детермінації r_{dem} , використовуючи формулу:

$$r_{dem} = r_{XY}^2.$$

6. За обчисленим значенням r_{dem} зробити висновок про вплив чинника X (спожитої активної потужності електротехнічного обладнання) на варіацію чинника Y (електроспоживання).

7. Визначити середню помилку апроксимації \bar{A} моделі електроспоживання ділянок електротехнічного обладнання за формулою:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i .$$

8. За розрахованим значенням \bar{A} зробити висновок про прийнятність моделі.

9. Оформити звіт з лабораторної роботи. Звіт повинен містити назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості, таблицю з експериментальними даними, розрахункові таблиці, побудовані графіки, висновки щодо виконаної роботи.

Контрольні запитання

1. Яке обґрунтування математичного методу прогнозування електроспоживання регіону?

2. Охарактеризувати макроекономічні показники, які вводять у математичні моделі.

3. Провести аналіз парних кореляційних зв'язків між вибраними показниками (на основі кореляційної матриці).

4. У чому полягає відмінність результатів прогнозу електроспоживання на підставі регресійних і факторно-регресійних моделей?

5. Охарактеризувати чотири етапи дослідження економіко-статистичних моделей прогнозування електроживлення регіону.

Лабораторна робота № 4

Тема. Дослідження функції прогнозування добових графіків потужності навантаження

Мета: отримання навичок побудови короткотермінового прогнозу добового графіка навантаження електричної мережі електропостачання.

Короткі теоретичні відомості

Графіки навантаження електричної мережі електропостачання є послідовностями спостережень або розрахункових значень, що показують зміни по-

тужності протягом визначеного періоду часу. Добові, тижневі та річні графіки відображають періодичність процесу зміни потужності навантаження, пов'язану з режимом роботи персоналу, зміною дня і ночі, тижневими циклами та сезонними змінами протягом року. Добові графіки днів тижня в цілому повторюються з невеликими випадковими відмінностями і режимами вихідних і святкових днів. Середнє зростання або зниження навантаження протягом тижня або декількох тижнів пов'язані з сезонними змінами, особливо в осінній та весняний періоди. Такі зміни, що відбуваються загалом належать, відносять до трендових (неперіодичних) складових графіка навантаження. Ці зміни для річних графіків обумовлені природним зростанням навантаження споживачів. Добові, тижневі та річні графіки навантаження часто прогнозують, розділяючи їх на трендову, періодичну і випадкову складові.

$$X \hat{=} Q \hat{+} S \hat{+} U \hat{.} \quad (1.35)$$

де $Q \hat{}$ – стійкі систематичні зміни (тренд); $S \hat{}$ – періодична складова (коливання щодо тренду); $U \hat{}$ – нерегулярна складова (випадковий шум).

Подібний підхід прийнятний, якщо є гіпотеза щодо відсутності різких змін у часовому ряді.

Найбільш поширеним способом перевірки точності прогнозу є ретроспективний прогноз (рисунк 1.5), тобто прогноз для минулого періоду часу, і порівняння отриманих результатів з фактичною динамікою. Найчастіше таке порівняння проводять за величиною середньоквадратичної похибки або середньої похибки апроксимації. Якщо отримані результати задовольняють задані критерії точності, то модель прогнозу вважають застосовною та рекомендують для розробки прогнозів на перспективу.

Отже, на практиці можна вважати, що точність прогнозів залежить від тривалості періодів передісторії (ретроспективи) і випередження.

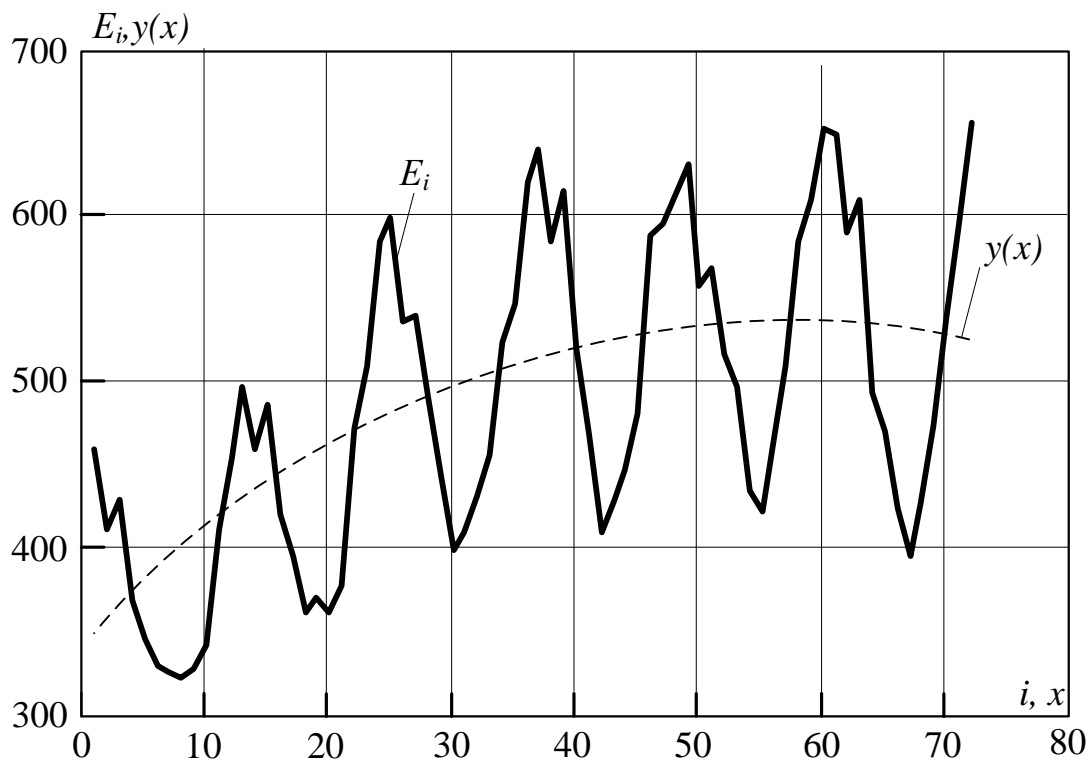


Рисунок 1.5 – Ретроспектива часового ряду

Для виокремлення трендової складової здебільшого використовують поліноміальну модель до третього порядку включно:

$$\begin{aligned}
 Q_0 &\hat{=} a_0; \\
 Q_1 &\hat{=} a_0 + a_1 t; \\
 Q_2 &\hat{=} a_0 + a_1 t + a_2 t^2; \\
 Q_3 &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3.
 \end{aligned}
 \tag{1.36}$$

Іноді, під час виокремлення тренду, попередньо застосовують процедуру згладжування, яка усуває періодичну та випадкову складові.

Після віднімання з трендової складової $X \hat{}$ отримують часовий ряд, що має періодичну складову, яка викликана добовими та сезонними періодами.

Якщо є N результатів за період T ($N = 12$ – у річному циклі, $N = 7$ – у тижневому, $N = 24$ – у добовому), то періодичну модель процесу можна подати рядом Фур'є:

$$S \hat{=} \sum_{k=1}^n \left(a_k \cos 2\pi f_1 k t + b_k \sin 2\pi f_1 k t \right),
 \tag{1.37}$$

де n – кількість частот у моделі. Загалом найвища частота гармонічного розкладення дискретного ряду (частота Найквіста), яку визначає половина інтервалу між спостереженнями (наприклад, при $N = 12$, $n = 24$); $f_1 = N^{-1}$ – основна частота гармонічного ряду.

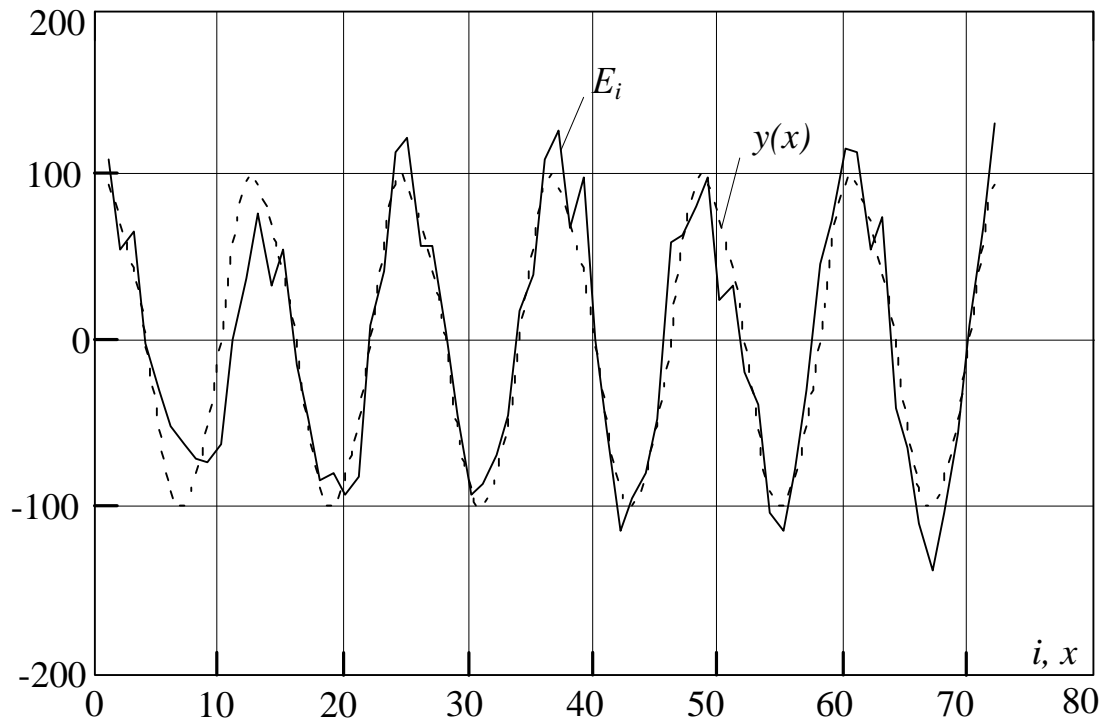


Рисунок 1.6 – Часовий ряд без трендової складової

Дисперсію, яка урахується i -ю гармонікою розраховують із співвідношення:

$$D_i = \frac{a_i^2 + b_i^2}{2}. \quad (1.38)$$

Сумарна дисперсія визначається $D_\Sigma = \sum_i D_i$. Зазвичай перші три гармоніки описують до 90% усієї дисперсії.

Випадкова складова:

$$U \hat{=} X \hat{-} S \hat{.} \quad (1.39)$$

Для $U \hat{}$ визначають статистичні характеристики. Прогнозування випадкової складової здійснюється за однією з моделей прогнозу випадкового проце-

су. Необхідно спочатку оцінити інтервал кореляції та, якщо прогнозування здійснюють з часом випередження більшим ніж інтервал кореляції, то фактично за випадковою складовою оцінюють лише похибку прогнозу, оскільки унаслідок віднімання регулярних складових математичне очікування процесу дорівнює нулю.

Оцінювання коефіцієнтів моделей регулярних складових.

1. Тренд.

Оцінювання коефіцієнтів поліноміальної моделі тренду може бути здійснено різними способами:

– за допомогою функції Mathcad:

$$\mathbf{c} := \text{regress}(\mathbf{Y}, \mathbf{P}, m);$$

$$Q_m(\mathbf{t}) := \text{interp}(\mathbf{c}, \mathbf{k}, \mathbf{P}, \mathbf{t}),$$

де \mathbf{c} – вектор коефіцієнтів, який використовує функція `interp`; \mathbf{k} – вектор дискретних моментів часу, для яких задані значення ретроспективи; $m \in \{0, 1, 2, 3\}$ – порядок полінома, t – аргумент функції тренду.

Описана функція також може бути записана у вигляді:

$$Q_m(\mathbf{t}) := \text{interp}(\text{regress}(\mathbf{Y}, \mathbf{P}, m), \mathbf{k}, \mathbf{P}, \mathbf{t}).$$

2. Система лінійних рівнянь

Для розв'язування системи лінійних рівнянь може бути застосований метод найменших квадратів:

$$\mathbf{A} = (\mathbf{V}^T \mathbf{V})^{-1} \mathbf{V}^T \mathbf{P},$$

де \mathbf{V} – матриця, перший стовпчик якої складається з одиниць, другий – вектор дискретних моментів часу \mathbf{k} , третій – вектор з елементів \mathbf{k} у квадраті й т. д. ($V_{ij} = k_i^{j-1}$ при $i = 1 \dots n$, $j = 1 \dots m + 1$, де n – кількість даних ретроспективи).

При цьому функцію тренду описують виразом:

$$Q_m(\mathbf{t}) = \sum_{i=0}^m A_i t^i. \quad (1.40)$$

Експоненціальну модель тренда можна отримати за допомогою функції:

$$\text{expfit}(\mathbf{Y}, \mathbf{P}, \mathbf{vg}),$$

у якій \mathbf{vg} – початкові наближення до шуканих коефіцієнтів моделі.

Описана функція повертає вектор коефіцієнтів моделі:

$$\vec{Q}(t) = ae^{bt} + c. \quad (1.41)$$

Періодична складова.

Коефіцієнти полігармонічної складової процесу є коефіцієнтами гармонічного полінома. Вектор коефіцієнтів моделі у цьому випадку отримують як рішення системи лінійних рівнянь:

$$\mathbf{B} := \mathbf{V}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^T \mathbf{W},$$

де \mathbf{V} – матриця, у якій n рядків і $2m$ стовпчиків; n – кількість даних ретроспективи; m – кількість частот у моделі.

Кожна послідовна пара стовпчиків матриці \mathbf{V} відповідає одній частоті і складається з коефіцієнтів, які обчислюють як функції косинуса і синуса із виразу:

$$\begin{aligned} V_{i,2j-1} &= \cos\left(2\pi i \frac{j}{N}\right); \\ V_{i,2j} &= \sin\left(2\pi i \frac{j}{N}\right). \end{aligned} \quad (1.42)$$

При цьому розрахунки здійснюють з урахуванням, що $i = 1 \dots n$, $j = 1 \dots m$.

На практиці моделювання періодичної складової здійснюють також за допомогою іншого подання ряду Фур'є:

$$S(t) = \sum_{i=1}^n X_i \cos(\omega_i t - \theta_i), \quad (1.43)$$

у якому $X_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$, $\theta_i = \arctg\left(\frac{b_i}{a_i}\right)$.

Під час побудови прогнозованої моделі раціонально застосовувати методи планування експерименту. Для цього розглядають усі чинники, які впливають на формування вихідної характеристики (наприклад, витрати електроенергії на випуск продукції) та складають матрицю експерименту:

$$M = y^k, \quad (1.44)$$

де k – кількість змінних.

Дисперсія у кожному досліді визначається з виразу:

$$S^2 = \sum_{i=1}^M \frac{(y_i - \bar{y})^2}{k-1}, \quad (1.45)$$

у якому k – кількість повторень у досліді; q – порядковий номер досліді; \bar{y} – середнє арифметичне значення контрольованого параметра; \hat{y} – фактичне значення функції.

Після проведення експерименту необхідно, щоб виміри у кожному досліді були проведені з однаковою точністю. Для цього за критерієм Кохрена слід провести перевірку гіпотези однорідності дисперсій. При цьому необхідно дотримання умови:

$$G_{max} < G_{таб}, \quad (1.46)$$

де $G_{таб}$ – табличне значення критерію Кохрена, яке визначають за кількістю дослідів k і за кількістю вільності $\nu = M$ (таблиця Б.1 додатка Б); G_{max} – величина, яку розраховують з виразу:

$$G_{max} = \frac{S_{max}^2}{\sum S^2}. \quad (1.47)$$

Якщо умова 1.46 виконується, кажуть, що експеримент виконано із статично однаковою точністю.

Рівняння регресії у розглянутому випадку прогнозування має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 - a_{23}x_2x_3 - a_{123}x_1x_2x_3. \quad (1.48)$$

Вільний член рівняння регресії визначають з виразу:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}_i}{M}; \quad (1.49)$$

коефіцієнти регресії:

$$a_{ij} = \frac{\sum_{i,j=1}^M x_{ik}x_{jk} \bar{y}_i}{M}. \quad (1.50)$$

Дисперсію відтворюваності результатів експерименту визначають за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum S^2}{M}. \quad (1.51)$$

Після запису рівняння регресії, яке є математичною моделлю енерговитрат від обсягів виробленої продукції, здійснюють перевірку адекватності моделі за критерієм Фішера.

Розраховують значення F за формулою:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\text{ад}}^2}, \quad (1.52)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, яку розраховують з виразу:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2}{M - k_0 - 1}, \quad (1.53)$$

де $k_0 = 3$ – значення параметра оптимізації, отримане з рівняння регресії (1.47) при виключення усіх незначущих членів.

Для перевірки адекватності математичної моделі досліджуваному процесу, необхідне виконання умови:

$$F < F_{\text{таб}}, \quad (1.54)$$

де $F_{\text{таб}}$ – табличне значення критерію Фішера (таблиця Б.2 додатка Б).

Порядок виконання роботи

1. За таблицею А.5 додатка А вибрати дані щодо обсягів виробництва та витрачених енергоносіїв у 2017-2018 рр. та занести їх до таблиці 1.12. Вибір здійснити з міркувань, що варіант N – порядковий номер прізвища студента у журналі академічної групи.

2. Побудувати за даними таблиці 1.12 щомісячні ретроспективні графіки споживання електричної енергії.

3. З таблиці 1.12 вибрати 2 рівні змінних параметрів y^{\min} і y^{\max} для витрат електричної енергії та спланувати матрицю експерименту за формулою (1.44). Результати планування занести у таблицю 1.13.

4. За формулою (1.45) розрахувати дисперсії у кожному досліді. Результати розрахунку занести до таблиці 1.14.

Таблиця 1.12 – Обсяги виробництва та витрачених ресурсів

Місяць	Витрати електроенергії, у, кВт·год		Обсяг продукції, x_1 , кг		Витрати газу, x_2 , м ³		Витрати води, x_3 , м ³	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Січень								
Лютий								
Березень								
Квітень								
Травень								
Червень								
Липень								
Серпень								
Вересень								
Жовтень								
Листопад								
Грудень								
За рік								

5. Провести перевірку гіпотези однорідності дисперсій за критерієм Кохрена за формулами (1.46), (1.47) та даними таблиці Б.1 додатка Б.

Таблиця 1.13 – Матриця експерименту

Кодування чинників і номери дослідів		Вихідні значення			Відхилення від середнього значення, у.о.		Середнє значення, \bar{y}
		x_1	x_2	x_3	2017	2018	
					y_1	y_2	
№ дослідів	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						

6. Записати рівняння регресії за формулою (1.48).

7. За формулами (1.48) і (1.49) розрахувати коефіцієнти регресії. Результати розрахунку занести до таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Результати обчислень

№	a_{ij}	S^2	\hat{y}	$\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
Σ				

8. Визначити дисперсію відтворюваності результатів експерименту за формулою (1.51).

9. Здійснити перевірку адекватності моделі витрат електричної енергії від обсягів виробленої продукції за критерієм Фішера (формули (1.52)–(1.54) та таблиця Б.2 додатка Б).

10. Побудувати графіки прогнозованого споживання електричної енергії у одній системі координат з фактичними ретроспективними графіками та зробити їх порівняння.

11. Побудувати за даними таблиці 1.12 щомісячні ретроспективні графіки витрат газу.

12. Побудувати математичну модель, використовуючи методика, описану у пп. 3–10.

13. Побудувати за даними таблиці 1.12 щомісячні ретроспективні графіки витрат води.

14. Побудувати математичну модель, використовуючи методика, описану у пп. 3–10.

15. Оформити звіт з лабораторної роботи. Звіт має містити назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості, таблицю з експериментальними даними, розрахункові таблиці, побудовані графіки, висновки щодо виконаної роботи.

Контрольні запитання

1. Пояснити суть та порядок розрахунку моделі під час ретроспективного прогнозування електроспоживання.
2. Якими способами здійснюють оцінювання коефіцієнтів поліноміальної моделі тренду?
3. Як оцінюють коефіцієнти полігармонічної складової процесу?
4. За яким критерієм і яким чином здійснюють перевірку гіпотези однорідності дисперсій?
5. За яким критерієм і як здійснюють перевірку адекватності моделі?

Лабораторна робота № 5

Тема. Дослідження детермінованих функцій прогнозування методами інтерполяції та екстраполяції

Мета: отримати практичні навички апроксимації експериментальних даних з електроспоживання поліномом високого порядку.

Короткі теоретичні відомості

Під час вивчення детермінованих процесів виникають два типи задач, пов'язаних із визначенням значень деяких функцій у точках, які нас цікавлять, за відомими значеннями цих функцій в інших точках. Задача інтерполяції полягає у знаходженні значення функції усередині відрізка дослідження. Сама функція може залишатися невідомою, але у більшості випадків для більш точного прогнозування необхідно знати, до якого класу функцій вона належить. Наприклад, лінійна, або виражається параболою другого чи третього порядку, експоненціальна або гармонійна.

Завдання екстраполяції полягає у визначенні значень функції у точці, яка лежить поза відрізком нагляду, за її значеннями усередині цього проміжку. Найбільш розповсюджена лінійна і параболічна екстраполяція, коли функція виражається параболою другого, третього та більш високого ступеня. Однак математичні функції лише приближено апроксимують (подають, тобто опису-

ють) діючі закони, що керують процесом під час формування функції, яку досліджують. Тому звичайно чим менший час, за якого екстраполюється процес, тим точніше визначається наступне значення функції.

Отже, вид апроксимальної функції визначається фізикою процесу. Наприклад, йдеться про електроспоживання одного приймача, завдання спрощується, оскільки можна характеризувати фізичні процеси, що в ньому відбуваються. Під час аналізу групового графіка електроспоживання завдання прогнозу значно ускладнюється, оскільки у цьому випадку не відомий вид функції рішення. У таких ситуаціях доводиться добирати вид апроксимувальної функції так, щоб вона найкраще проходила через задані точки.

Лінійна апроксимація

Процес апроксимації (підбору аналітичного виразу – математичної залежності) починається з самого простого варіанта – рівняння прямої лінії.

Припустимо, що у таблиці 1.15 наведено дані дослідження електроспоживання деякої групи приймачів, яке задано наступними такими величинами росту навантаження (МВт) протягом декількох місяців.

Таблиця 1.15 – Електроспоживання групи приймачів

t , місяць	1	2	3	4	5
E , МВт	1,111	1,248	1,417	1,624	1,875

Передбачається, що вибір досить добре відображає усі основні властивості функції. Підбирається апроксимальний вираз, що має вигляд:

$$E^* = abt. \quad (1.55)$$

де E^* – прогнозує значення потужності навантаження.

Запишемо вираз (1.55) для двох довільно вибраних точок заданої послідовності:

$$1,111 = a + b \cdot 1;$$

$$1,875 = a + b \cdot 5.$$

Розв'язуємо систему із двох рівнянь і знаходимо:

$$a = 0,920;$$

$$a = 0,191.$$

Перевіримо, чи правильно вгаданий вид апроксимуючого виразу, тобто розрахуємо значення функції при тих же значеннях аргументу t :

t , місяць	1	2	3	4	5
E , МВт	1,111	1,302	1,493	1,493	1,875

Точність приближення оцінимо за величиною варіації:

$$\delta = \frac{\sum (Y_i - Y_i^*)^2}{Y_i^2 - \sum Y_i^2} \cdot 100\%, \quad (1.56)$$

де у чисельнику – середнє значення квадратів різниці заданих і розрахованих величин електроспоживання; у знаменнику – різниця квадрата середнього значення електроспоживання Y_i^2 і середнього квадратів заданих величин $\sum Y_i^2$.

Результат розрахунку надає варіацію $\delta = 2,2\%$. Очевидно, що варіація зменшується з наближенням прогнозуючих величин відносно заданих.

Апроксимація параболою другого ступеня

Запишемо вираз апроксимальної кривої:

$$E^* = aBt + ct^2. \quad (1.57)$$

Вибравши довільно три точки, запишемо систему із трьох рівнянь, урахувавши значення параметра $t = 1; 3; 5$.

$$1,111 = a + B + c$$

$$1,417 = a + B \cdot 3 + c \cdot 3^2$$

$$1,875 = a + B \cdot 5 + c \cdot 5^2$$

Розв'язавши рівняння, отримаємо коефіцієнти:

$$a = 1,015$$

$$b = 1,015$$

$$c = 0,019$$

Квадратичний апроксимальний поліном надає таку послідовність значень функції:

t , місяць	1	2	3	4	5
E , МВт	1,111	1,245	1,417	1,627	1,875

Знаходимо величину варіації

$$\delta = \frac{Y_i - Y_i^*}{Y_i^2 - Y_i} \cdot 100 = 0,79\%$$

Варіація зменшилася, отже, поліном другого ступеня значно краще апроксимує цю функцію.

Апроксимація параболою третього порядку

Для підвищення точності апроксимації використовуємо поліном третього ступеня:

$$E^* = abt + ct^2 + dt^3. \quad (1.58)$$

Записавши аналогічно попередньому розрахунку і розв'язавши систему із чотирьох рівнянь, отримаємо значення коефіцієнтів:

$$a = 1,0; b = 0,1; c = 0,01; d = 0,001. \quad (1.59)$$

Розрахунок величини варіації по (5.2) дає варіацію $\delta = 0$.

Отже, поліном третього ступеня точно описує функцію прогнозуючого росту величини електроспоживання. Якщо інколи такого результату досягнути неможливо (методом збільшення ступеня полінома), це означає, що у цьому випадку не детермінований процес: у ньому, окрім регулярної складової, присутня і значна випадкова. Оскільки у цьому прикладі рівень апроксимації задовільний, то прогноз величини електроспоживання з величиною параметра $t = 6$ надає $\hat{Y}^* = 2,187$ МВт. Отже, величина, яка визначається зі значенням параметра, що виходить за межі заданого проміжку, отримана методом екстраполяції.

Визначення величини, яка знаходиться усередині заданого проміжку

У попередніх випадках була проведена апроксимація функції для отримання можливості екстраполяції, тобто визначення значення функції за межами відомого проміжку. У цьому випадку необхідно отримати невідоме значення функції, яка знаходиться усередині заданого проміжку.

Нехай задана функція $Y(\cdot)$, при $i=1,2,3\dots n$ у точках діапазону $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$. Необхідно визначити значення цієї функції у точці t_j , яка

знаходиться між заданими точками $t_s < t_j < t_{i+1}$. Приймаючи, що задана функція лінійна, інтерпольоване значення для $t_0 < t < t_1$ дорівнює:

$$Y(t) = \frac{t-t_0}{t_1-t_0} [Y(t_1)] + \frac{t_1-t}{t_1-t_0} [Y(t_0)]. \quad (1.60)$$

Наприклад, для $t=1,5$ величина $Y^*(1,5)$ дорівнює:

$$Y(t) = \frac{1,5-1,0}{2,0-1,0} \cdot 1,245 + 1,111 = 1,173$$

Розрахунок за (1.57) надає значення найближче до отриманого.

Порядок виконання роботи

1. За даними таблиці А.6 додатка А скласти таблицю 1.16 електроспоживання механічного цеху за 10 місяців роботи з виходом на проектну потужність. Вибір здійснити із урахуванням, що варіант N – порядковий номер прізвища студента у журналі академічної групи.

Таблиця 1.16 – Дані про електроспоживання

E, тис. кВт·год									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Використовуючи методику лінійної апроксимації, зробити висновок про рівень електроспоживання наприкінці року.

3. За даними таблиць А.7 і А.8 додатка А скласти таблиці 1.17 і 1.18 експериментальних даних щодо потужностей синхронного генератора у функції навантаження на валу під час роботи з коефіцієнтами потужності $\cos \varphi = 0,9$ та $\cos \varphi = 0,1$.

Під час складення таблиць урахувати, що варіант N – порядковий номер прізвища студента у журналі академічної групи.

Таблиця 1.17 – Потужність синхронного генератора при $\cos \varphi = 0,9$

Потужність	Навантаження на валу, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
S, кВА											
Q, кВАр											

Таблиця 1.18 – Потужність синхронного генератора при $\cos \varphi = 1,0$

Потужність	Навантаження на валу, %											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
S , кВА												
Q , кВАр												

4. Використовуючи апроксимацію гіперболою, записати аналітичний вираз залежності потужностей синхронного генератора від навантаження на валу.

5. Побудувати графіки отриманих аналітичних залежностей та порівняти особливості потужностей на кожному з графіків.

6. Оформити звіт з лабораторної роботи. Звіт має містити назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості, таблицю з експериментальними даними, розрахункові таблиці, побудовані графіки, висновки щодо виконаної роботи.

Контрольні запитання

1. Чим зумовлюється та обґрунтовується вибір виду апроксимальної функції?

2. Поліномом якого ступеня раціонально апроксимувати детерміновані процеси або процеси із незначною випадковою складовою?

3. У чому полягає завдання екстраполяції?

4. У чому полягає особливість завдання інтерполяції?

5. У яких випадках доцільне застосування апроксимації параболою другого або третього порядку?

2 САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

2.1 Загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи

Обов'язковим елементом успішного засвоєння навчального матеріалу навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» є отримання навичок самостійної роботи студентів з вітчизняними і зарубіжними джерелами щодо первинної обробки статистичної інформації з електропостачання або електроспоживання, визначення невідомих електричних величини за методами інтерполяції або екстраполяції; використання бази даних для формування економіко-статистичних прогнозних моделей, реалізації результатів отриманих прогнозів у планах роботи енергопідприємства.

Самостійна робота є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від нормованих навчальних занять, тобто лекційних, лабораторних занять (аудиторної роботи).

Основні види самостійної роботи, на які повинні звертати увагу студенти:

- вивчення лекційного матеріалу;
- робота з опрацювання і вивчення рекомендованої літератури;
- підготовка до лабораторних занять;
- підготовка до дискусій та інших пропонованих викладачем завдань;
- робота над індивідуальним розрахунковим завданням;
- самоперевірка студентом власних знань за питаннями для самодіагностики (тестами);
- підготовка до поточного та підсумкового контролю.

Опрацювання лекційного матеріалу. У системі різних форм навчально-виховної роботи особливе місце належить лекції, де викладач надає студенту основну інформацію, навчає розмірковувати, аналізувати, допомагає опанувати ключові знання, а також спрямовує самостійну роботу студента.

Зв'язок лекції та самостійної роботи студента розглядається за такими напрямками:

– лекція як головна початкова ланка, що визначає зміст і обсяг самостійної роботи студента;

– методичні прийоми читання лекцій, що активізують самостійну роботу студентів;

– самостійна робота, яка сприяє поглибленому засвоєнню теми на базі прослуханої лекції.

Перший етап самостійної роботи починається з процесу слухання і конспектування лекції. Правильно складений конспект лекції – найефективніший засіб стимулювання подальшої самостійної роботи студентів. Студент повинен чітко усвідомити, що конспект – це короткий тезовий запис головних положень навчального матеріалу. Складання і вивчення конспекту – перший етап самостійної роботи студента над вивченням теми чи розділу. Конспект допомагає в раціональній підготовці до практичних занять, заліку, у визначенні напряму та обсягу подальшої роботи з літературними джерелами.

Під час підготовки до лекції студент повинен опрацювати матеріал попередньої лекції з використанням підручників та інших джерел літератури. На лекціях висвітлюють тільки основні теоретичні положення і найбільш актуальні проблеми, тому більшість питань виноситься на самостійне опрацювання.

Підготовка до лабораторних занять. Підготовка до лабораторних занять розпочинається з опрацювання лекційного та методичного матеріалу до заданого заняття. Студент повинен самостійно ознайомитися з відповідним розділом робочої програми, підготувати відповіді на контрольні питання, які подані у програмі у певній послідовності згідно з логікою засвоєння навчального матеріалу.

Лабораторні заняття збагачують і закріплюють теоретичні знання студентів, розвиваючи їх творчу активність, допомагають у набутті практичних навичок роботи за предметом навчальної дисципліни.

Під час підготовки до лабораторних занять самостійна робота студентів є обов'язковою частиною навчальної роботи, без якої успішне та якісне засвоєння навчального матеріалу неможливе. Це указує на необхідність керування са-

мостійною роботою студентів з боку викладача завдяки проведенню цілеспрямованих організаційних і контрольних заходів. Відповідно до навчального плану з кожної теми навчального курсу проводяться лабораторні заняття.

Тематичний план проведення лабораторних занять доводиться до студентів на першому занятті.

Викладач у вступній лекції рекомендує студентам основну і додаткову літературу, а також методичні рекомендації щодо самостійної роботи та щодо організації лабораторних занять з навчальної дисципліни. У методичних вказівках з кожної теми наведено перелік питань для теоретичної підготовки до заняття.

У таблиці 2.1 подано перелік тем лабораторних робіт.

Якщо студент не може самостійно вивчити певне питання, він може отримати консультацію у викладача (згідно з графіком проведення консультацій). Відвідання консультації дозволяє правильно спрямувати самостійну роботу, зробити раціональною та підвищити її ефективність.

Таблиця 2.1 – Перелік тем лабораторних робіт

Тема	Годин	
	Денна	Заочна
Дослідження зв'язку між випадковими величинами електроспоживання або електронавантаження з використанням емпіричної та теоретичної ліній регресії	4	2
Дослідження прогнозуючої функції споживання енергоресурсів	4	1
Дослідження економіко-статистичних моделей прогнозування електроживлення регіону	4	1
Дослідження функцій прогнозування добових графіків потужності навантаження	4	1
Дослідження детермінованих функцій прогнозування методами інтерполяції та екстраполяції	4	1
Усього годин	20	6

2.2 Завдання для самостійного опрацювання

Тема «Визначення економічної ефективності регулювання режимів електроспоживання промислових підприємств».

Задача 2.1. Розрахувати сумарний річний збиток підприємства та річний збиток через відсутність активного регулювання режимів електроспоживання підприємства, якщо основана тарифна ставка $r = 15$ грн/кВт, квартальний фонд робочого часу $t_k = 704$ год, тривалість використання потужності в період максимуму енергосистеми $t_g = 352$ год, приведені витрати $C_p = 20000$ грн. Реактивна потужність не використовується. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.1 додатка В.

Задача 2.2. Розрахувати сумарний річний збиток підприємства та річний збиток через відсутність активного регулювання режимів електроспоживання підприємства, якщо основана тарифна ставка $r = 15$ грн/кВт, квартальний фонд робочого часу $t_k = 176$ год, тривалість використання потужності в період максимуму енергосистеми $t_g = 120$ год, приведені витрати $C_p = 500000$ грн. Реактивна потужність не використовується. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.2 додатка В.

Задача 2.3. Розрахувати сумарний річний збиток підприємства та річний збиток через відсутність активного регулювання режимів електроспоживання підприємства, якщо основана тарифна ставка $r = 15$ грн/кВт, квартальний фонд робочого часу $t_k = 704$ год, тривалість використання потужності в період максимуму енергосистеми $t_g = 240$ год, приведені витрати $C_p = 300000$ грн. Реактивна потужність не використовується. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.3 додатка В.

Задача 2.4. Розрахувати сумарний збиток підприємства та збиток через відсутність активного регулювання режимів електроспоживання підприємства в осінньо-зимовий період, якщо основана тарифна ставка $r = 15$ грн/кВт, квартальний фонд робочого часу $t_k = 704$ год, тривалість використання потужності в період максимуму енергосистеми $t_g = 400$ год, приведені витрати

$C_p = 600000$ грн. Реактивна потужність не використовується. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.4 додатка В.

Тема «Дослідження зв'язку між випадковими величинами електроспоживання або електронавантаження».

Задача 2.5. За результатами проведенного дослідження чотирьох ділянок з електротехнічним обладнанням з потужністю $P_{обл}$. Під час технологічного процесу змінювались час і кількість увімкненого обладнання та одночасно реєструвався рівень електроспоживання E . Визначити коефіцієнт парної кореляції, коефіцієнт детермінації та оцінити модель електроспоживання. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.5 додатка В.

Задача 2.6. Було проведено дослідження шести ділянок з електротехнічним обладнанням з потужністю $P_{обл}$. Під час технологічного процесу змінювались час і кількість увімкненого обладнання та одночасно реєструвався рівень електроспоживання E . Визначити коефіцієнт парної кореляції, коефіцієнт детермінації та оцінити модель електроспоживання. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.6 додатка В.

Задача 2.7 Було проведено дослідження восьми ділянок з електротехнічним обладнанням з потужністю $P_{обл}$. В ході технологічного процесу змінювались час та кількість увімкненого обладнання та одночасно реєструвався рівень електроспоживання E . Визначити коефіцієнт парної кореляції, коефіцієнт детермінації та оцінити модель електроспоживання. Вихідні дані до задачі наведено у таблиці В.6 додатка В.

Задача 2.8. Фактичне значення електроспоживання за період $t = 3$. Воно дорівнює $y_t = 700$ кВт. Експоненційно зважена середня для періоду, що передуює прогнозованому, дорівнює $U_t = 233$ кВт. Розрахувати прогнозований показник споживання електроенергії U_{t+1} .

Задача 2.9. Фактичне значення електроспоживання за період t складає y_t . Експоненційно зважена середня для періоду, що передуює прогнозованому,

дорівнює U_t . Розрахувати прогнозований показник споживання електроенергії U_{t+1} .

Тема «Прогнозування методами інтерполяції та екстраполяції».

Задача 2.10. Використовуючи дані таблиці В.7 додатка В, методом екстраполяції розрахувати прогноз споживання електричної енергії на четвертий та п'ятий роки і визначити довірчий інтервал цього прогнозу.

Задача 2.11. Використовуючи дані таблиці В.8 ряду динаміки продажу товару за сім днів минулого періоду (додаток В), виконати прогноз розвитку продажу електроенергії на восьмий та дев'ятий періоди.

Задача 2.12. Використовуючи дані таблиці В.9 додатка В, визначити прогнозовані показники споживання електроенергії за методом найменшого квадратичного відхилення.

Задача 2.13. Використовуючи дані таблиці В.10 додатка В, розрахувати прогноз можливого продажу електроенергії в червні методом аналітичного вирівнювання ряду.

Задача 2.14. Дані про споживання енергії в різні моменти часу наведено у таблиці В.11 додатка В. Знайти функцію, яка описує залежність споживання електричної енергії від часу.

Тема «Метод упорядкованих діаграм і статистичні методи».

Задача 2.15. Під час дослідження трифазної лінії, яка живить 154 електричних двигуна металооброблювальних верстатів з загальною номінальною потужністю $P_n = 370$ кВт ($P_{n.min} = 1,1$ кВт, $P_{n.max} = 3$ кВт) та коефіцієнтом включення $k_{вк} = 0,6$ за найбільше завантажену зміну було отримано графік навантаження, показаний на рис. 2.1. Навантаження фіксували за допомогою лічильників активної енергії через кожні 10 хв. Тривалість зміни $T_{зм} = 7,5$ год, розрахункове навантаження (півгодинний максимум) складає $P_{роз} = 62$ кВт. Визначити витрати електроенергії за зміну; максимальне, середнє і середньоквадратичне навантаження лінії; коефіцієнти, які характеризують цей графік навантаження. За розрахованими даними уточнити розрахункове навантаження трифазної лінії

живлення електроприймачів. Оцінити похибку розрахунку навантаження з визначенням k_{max} . Під розрахунків використати дані таблиць Г.1 і Г.2 додатка Г.

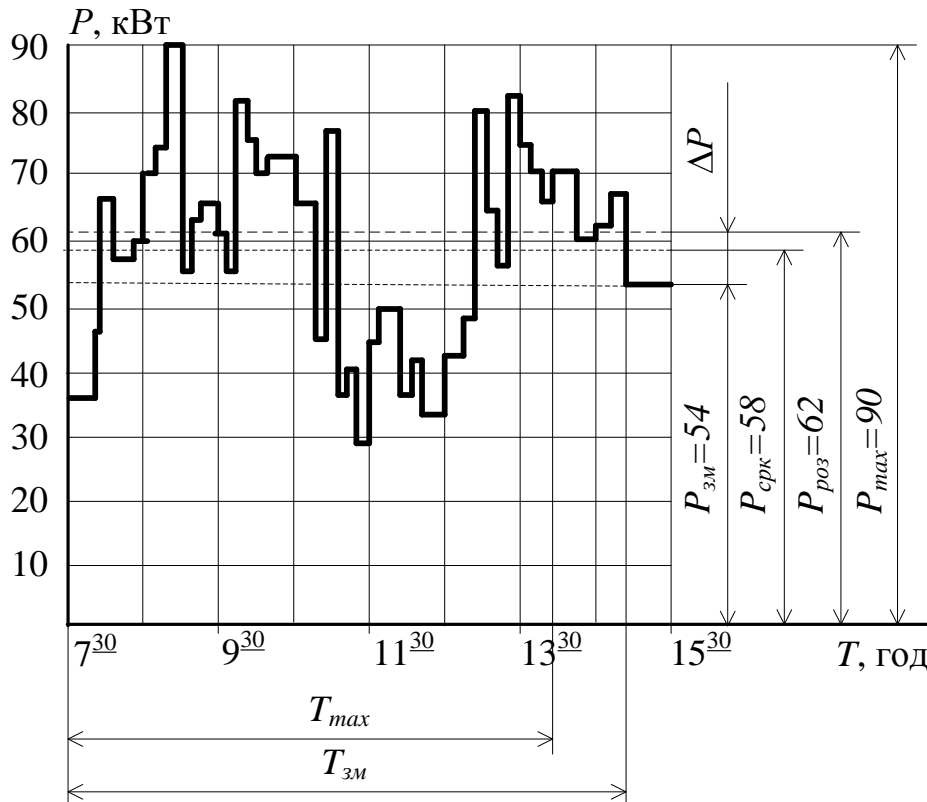


Рисунок 2.1 – Графік навантаження лінії живлення ділянки цеху

Задача 2.16. До трьох силових розподільчих пунктів приєднано 24 електроприймачі тривалого режиму роботи з номінальними потужностями: $P_{н1} \dots P_{н3} = 20$ кВт; $P_{н4} \dots P_{н9} = 10$ кВт; $P_{н10} \dots P_{н19} = 4,5$ кВт. Визначити $n_{ЕП}$.

Задача 2.17. Визначити $n_{ЕП}$ для групи ЕП тривалого режиму роботи з номінальними потужностями: $P_{н1} \dots P_{н10} = 0,6$ кВт; $P_{н11} \dots P_{н15} = 4,5$ кВт; $P_{н16} \dots P_{н21} = 7$ кВт; $P_{н22} \dots P_{н26} = 10$ кВт; $P_{н27} = P_{н28} = 14$ кВт. Груповий коефіцієнт використання $k_g = 0,5$.

Задача 2.18. Визначити $n_{ЕП}$ для групи приймачів тривалого режиму роботи з номінальними потужностями: $P_{н1} \dots P_{н4} = 20$ кВт; $P_{н5} \dots P_{ном10} = 14$ кВт; $P_{ном11} \dots P_{н16} = 10$ кВт; $P_{н17} \dots P_{н21} = 7$ кВт; $P_{н22} \dots P_{н25} = 2,8$ кВт та $P_{н26} \dots P_{н45} = 1$ кВт. Груповий коефіцієнт використання $k_g = 0,4$.

Задача 2.19. Визначити n_{EP} для групи електроприймачів тривалого режиму роботи з номінальними потужностями: $P_{n1} \dots P_{n4} = 11$ кВт; $P_{n5} \dots P_{n10} = 8$ кВт; $P_{n11} \dots P_{n14} = 5,5$ кВт; $P_{n15} \dots P_{n19} = 3,8$ кВт; $P_{n20} \dots P_{n39} = 2$ кВт. Груповий коефіцієнт використання $k_g = 0,3$.

3 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Оцінювання навчальних здобутків студента здійснюють за 100-бальною шкалою. Відповідність акумульованих під час навчання балів до національної шкали та ECTS наведено у таблиці.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		Для іспиту, курсового проекту (роботи), практики	Для заліку
90–100	A	Відмінно	Зараховано
82–89	B	Добре	
74–81	C		
64–73	D	Задовільно	
60–63	E		
35–59	FX	Незадовільно з можливістю повторного складання	Не зараховано з можливістю повторного складання
0–34	F	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням навчальної дисципліни	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням навчальної дисципліни

Аудиторна робота на лекції.

Оцінювання аудиторної роботи студента на лекції здійснюють за формулою:

$$B_L = \left[\alpha_1 \frac{\sum_{i=1}^{0,5G_{NP}^L} a_i K_i^L}{0,5G_{NP}^L} + \alpha_2 K_{konsp}^L \right] B_{\Sigma 1}, \quad (3.1)$$

де $\sum_{i=1}^{0,5G_{NP}^L} a_i K_i^L$ – кількість відвіданих лекцій, на яких студент виявляв доцільну активність; $K_{konsp}^L = 0 \dots 1$ – коефіцієнт, який враховує повноту роботи студента з конспектом, до того ж $K_{konsp}^L = 1$ відповідає повному якісному конспекту; G_{NP}^L – кількість годин, які відводяться на лекцію (передбачена навчальним планом); $B_{\Sigma 1} = 10$ – максимальна кількість балів, яку студент може отримати за накопичувальною системою за цією формою оцінювання роботи; α_1, α_2 – коефіцієнти, які враховують значущість фактів відвідання лекції студентом, доцільної активності на занятті та наявності конспекту. При цьому необхідне дотримання умови $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$. Ступінь доцільної активності студента на поточній лекції враховує коефіцієнт a_i , який набуває максимального значення $a_i = 1$ і може бути знижений у разі невчасного або неповного відвідування лекції або виявлення недоцільної активності, неспрямованої на опанування матеріалу.

Під час оцінювання аудиторної роботи студентів на лекції частка оцінки за якісний повний конспект складає 20% ($\alpha_2 = 0,2$), як результат поточного контролю може акумулювати максимум 8 балів в разі активної роботи на лекції та 2 бали за повний якісний конспект. Перевірка якості конспекту викладачем може здійснюватись або в поточному режимі, або з досягненням студентом певних визначених викладачем контрольних точок.

Ураховуючи, що згідно з чинним навчальним планом навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» $G_{NP}^L = 20$, максимальна

оцінка, яку може акумулювати студент за одну лекцію у разі активної роботи, складає:

$$0,8 \cdot \frac{1}{0,5G_{NP}^L} \cdot 10 = 0,8 \cdot \frac{1}{10} \cdot 10 = 0,8 \text{ балів.}$$

Аудиторну роботу студента на практичних і лабораторних заняттях оцінюють за формулою:

$$B_{PZ+LR} = \left[\beta_1 \frac{\sum_{i=1}^{0,5G_{NP}^L} a_i K_i^{PZ}}{0,5(G_{NP}^{PZ} + G_{NP}^{LR})} + \beta_2 \frac{\sum_{i=1}^{0,5G_{NP}^L} a_i K_i^{LR}}{0,5(G_{NP}^{PZ} + G_{NP}^{LR})} \right] B_{\Sigma 2}, \quad (3.2)$$

де K_i^{PZ} – кількість відвіданих практичних занять; K_i^{LR} – кількість відвіданих лабораторних занять; G_{NP}^{PZ} , G_{NP}^{LR} – кількість годин, передбачена навчальним планом, які відводяться на практичні та лабораторні заняття відповідно; $B_{\Sigma 2} = 20$ – максимальна кількість балів, яку студент може отримати згідно з накопичувальною системою за цією формою оцінювання роботи; β_1 , β_2 – коефіцієнти, які враховують значущість фактів відвідання студентом занять цієї форми. При цьому необхідне дотримання умови: $\beta_1 + \beta_2 = 1$. Ступінь доцільної активності студента на поточній лекції враховує коефіцієнт a_i , який набуває максимального значення $a_i = 1$ та може бути знижений у разі невчасного або неповного відвідування заняття; виявлення недоцільної активності, непрямої на опанування матеріалу.

Для чинного навчального плану навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» практичні заняття не передбачені, тому $G_{NP}^{PZ} = 0$, $G_{NP}^{LR} = 20$. При цьому максимальна кількість балів, яку студент може отримати згідно з накопичувальною системою за відвідування лабораторних занять, складе 20 балів; максимальна оцінка, яку може акумулювати студент за відвідання одного практичного або лабораторного заняття у разі активної роботи, складає:

$$B_{LR} = \frac{1}{0,5 \cdot 20} \cdot 20 = 2 \text{ бали.}$$

Поточний контроль

На оцінювання поточної успішності відводять $B_{\Sigma 3} = 50$ балів. До цієї форми контролю належать:

- оцінка за самостійні (контрольні) роботи;
- оцінка за захист лабораторних робіт;
- оцінка за змістовий модуль (проміжний контроль).

Сумарне оцінювання здійснюють за формулою:

$$B_{kontr} = \frac{1}{5} (\lambda_1 \bar{O}_{KRR} + \lambda_2 \bar{O}_{ZLR} + \lambda_3 \bar{O}_{TMK}) B_{\Sigma 3}, \quad (3.3)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – вагові коефіцієнти форм контролю, до того ж $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$; $\bar{O}_{KRR}, \bar{O}_{ZLR}, \bar{O}_{TMK}$ – середньоарифметичне значення, отримане як результат оцінювання виконання контрольних (самостійних робіт), захисту лабораторних робіт, точок змістово-модульного контролю. Сумарна оцінка наведена до максимальної оцінки класичної шкали. Оцінювання поточного контролю здійснюють за національною (чотирибальною системою). Розрахунок середньоарифметичних оцінок за кожен з названих показників здійснюють за формулами:

$$\bar{O}_{KRR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{KRR}} O_i^{KRR}}{N_{KRR}}; \quad (3.4)$$

$$\bar{O}_{ZLR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ZLR}} O_i^{ZLR}}{N_{ZLR}}; \quad (3.5)$$

$$\bar{O}_{TMK} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TMK}} O_i^{TMK}}{N_{TMK}}, \quad (3.6)$$

де $O_i^{KRR}, O_i^{ZLR}, O_i^{TMK}$ – оцінки за виконані i -ті контрольні або самостійні роботи, захищені лабораторні роботи, точки модульного контролю; $N_{KRR}, N_{ZLR},$

N_{TMK} – кількість контрольних робіт, які необхідно виконати, та лабораторних робіт, які необхідно захистити, точок модульного контролю.

Кількість лабораторних робіт визначається навчальною програмою навчальної дисципліни. Кількість поточних контрольних робіт визначається кількістю тем лабораторних занять; кількість точок модульного контролю – кількістю змістових модулів програми навчальної дисципліни.

Для чинного навчального плану навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» передбачено рівновагомість однієї захищеної лабораторної роботи та однієї точки модульного контролю ($\lambda_2 = \lambda_3 = 0,4$). Ваговий коефіцієнт оцінки поточної контрольної роботи складає $\lambda_1 = 0,2$. Кількість тем лабораторних занять (кількість контрольних робіт) $N_{KRR} = 5$; кількість лабораторних робіт, які необхідно захистити, $N_{ZLR} = 5$; кількість точок модульного контролю $N_{TMK} = 2$.

Отже:

– максимальна кількість балів, яку може акумулювати студент за всі виконані контрольні роботи, становить 10 балів, до того ж за виконану одну контрольну роботу максимально акумулюється:

$$B_{kontr}^{KKR} = \frac{1}{5} \cdot 0,2 \cdot \frac{5}{5} \cdot 50 = 2 \text{ бали};$$

– максимальна кількість балів, яку може отримати студент за захист усіх лабораторних робіт, складає 20 балів, до того ж за захист однієї лабораторної роботи максимально акумулюється:

$$B_{kontr}^{ZLR} = \frac{1}{5} \cdot 0,4 \cdot \frac{5}{5} \cdot 50 = 4 \text{ бали};$$

– максимальна кількість балів, яку може акумулювати студент за результатами модульного контролю, складає 20 балів, до того ж за одну точку модульного контролю можливо максимально отримати:

$$B_{kontr}^{TMK} = \frac{1}{5} \cdot 0,4 \cdot \frac{5}{2} \cdot 50 = 10 \text{ балів.}$$

Підсумковий контроль

У результаті сумарно за семестр студент акумулює оцінку B_A , яка обчислюється за формулою:

$$B_A = B_L + B_{PZ} + B_{kontr}. \quad (3.7)$$

Зважаючи на те, що акумульована оцінка відображає скільки балів студент накопичив з максимально можливих 80 балів, розраховують коефіцієнт корисної дії студента, який і є підсумковою оцінкою навчальних здобутків студента:

$$\eta = B_A \frac{100}{80} = 1,25B_A. \quad (3.8)$$

У разі, якщо студент згоден з оцінкою, розрахованою за останньою формулою, її переносять до залікової книжки і відомості успішності та вважають остаточною.

У разі, якщо студент бажає підвищити свою оцінку, він має можливість скласти іспит з навчальної дисципліни.

Підсумкова оцінка в цьому разі розраховується з урахуванням результату складання іспиту за формулою:

$$B_{\Sigma} = B_A + \frac{O^I}{5} B_{\Sigma 4}, \quad (3.9)$$

де O^I – оцінка, отримана студентом за результатами іспиту; $B_{\Sigma 4} = 20$ – максимальна оцінка, передбачена розподілом балів.

При цьому для зменшення дискретності оцінювання, O^I може набувати значення 0; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 що відповідає оцінкам «незадовільно», «достатньо», «задовільно», «добре», «дуже добре», «відмінно».

У разі повторної здачі іспиту сумарна оцінка розраховується за формулою (3.8) без урахування балів, отриманих на попередніх іспитах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Прогнозування та планування енергетики» для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» / Укл.: к.т.н., доцент Хмельницький Є.Д., ст. викл. Ключев О.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008.
2. Системные исследования в энергетике: ретроспектива научных направлений СЭИ-ИСЭМ / ответственный редактор Н. И. Воропай. – Новосибирск : Наука, 2010. – 686 с. – ISBN 978-5-02-018968-3.
3. Мелентьев Л. А. Методология системных исследований в энергетике / Л. А. Мелентьев. – М. : Наука, 1995. – 289 с.
4. Крикавський Є. Маркетинг енергозабезпечення: монографія / Є. Крикавський, Н. Косар, Л. Мороз. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 196 с. – ISBN 966-553-047-X.
5. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия): учебное пособие. – Оренбург : ГОУ ВПО ОГУ, 2003. – 363 с.
6. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ (книга 2) / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 351 с.
7. Низаметдинов Ш. У. Анализ данных: учебное пособие / Ш. У. Низаметдинов, В. П. Румянцев. – М. : НИЯУ МИФИ, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-7262-1687-4.
8. Бескорвайный В. В. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения: учебное пособие / В. В. Бескорвайный, А. Г. Фомичёв, В. В. Шелгунов. – Тверь : ТГТУ, 2009. – 96 с.
9. Праховник А. В. Від управління електроспоживання до енергетики сталого розвитку / А. В. Праховник // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Вип. 19/2010 – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – С.110-121.
10. Праховник А. В. Інтегроване ресурсне планування енергозабезпечення / А. В. Праховник, О. В. Кулик. // III-я Міжнародна конференція «Механізми

активізації енергозбереження». Матеріали конференції. – Велика Ялта, санаторій «Місхор», 29 травня – 2 червня 2006 року. – С. 18-26.

11. Праховник А. В. Методологія керування режимами електроспоживання в умовах ринку / А. В. Праховник, О. В. Коцар. // Авторське свідоцтво на службовий твір №29916 від 05.06.2009. – 16 с.

12. Праховник А. В. Модель інтеграції децентралізованої генерації в енергетичну систему на найвищому рівні ієрархії управління / А. В. Праховник, В. А. Попов, О. В. Кулик // Енергетика: економіка, технології, екологія. – К.: НТУУ «КПІ». – 2006. – №1. – С.101–109.

13. Розен В. П. Математическая модель управления электропотреблением / В. П. Розен, Н. В. Прокопец. // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро) – 2004. – №6. – С. 22-26.

Таблиця А.1– Експериментальні дані

№ ділянки	$P_{обл}$, кВА	E , кВт·год	№ ділянки	$P_{обл}$, кВА	E , кВт·год
1	80	1600	14	300	2200
2	250	2200	15	200	2000
3	450	2600	16	175	1800
4	275	3000	17	325	3800
5	125	2000	18	200	2700
6	400	2700	19	350	2500
7	175	2800	20	325	3200
8	100	1400	21	78	133
9	150	1500	22	82	148
10	75	1700	23	87	134
11	450	3200	24	79	154
12	225	1900	25	89	162
13	50	1100	26	106	195

Таблиця А.2 – Споживання паливно-енергетичних ресурсів y_t , т.у.п.

Варіант	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	92	113	100	90	89	86	106	104	97	116	105	115	1213
2	94	115	101	92	91	88	108	106	99	118	107	117	1236
3	95	116	102	94	93	89	110	108	100	120	109	119	1236
4	89	109	98	88	86	83	102	100	93	112	101	111	1172
5	91	112	100	91	88	86	104	103	95	115	103	114	1202
6	94	114	103	93	111	88	107	105	97	117	106	116	1251
7	90	112	99	95	95	89	103	104	96	112	104	111	1210
8	91	113	100	93	95	90	102	100	97	111	105	107	1204
9	93	109	99	91	93	89	101	99	98	110	104	106	1192
10	88	107	101	90	89	88	99	101	99	109	102	112	1185
11	89	109	98	88	86	83	102	100	93	112	101	111	1172
12	94	115	101	92	91	88	108	106	99	118	107	117	1236
13	91	113	100	93	95	90	102	100	97	111	105	107	1204
14	91	112	100	91	88	86	104	103	95	115	103	114	1202
15	89	109	98	88	86	83	102	100	93	112	101	111	1172
16	91	113	100	93	95	90	102	100	97	111	105	107	1204

Таблиця А.3 – Споживання паливно-енергетичних ресурсів y_i , т.у.п.

Варіант	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	75	86	95	169	117	132	95	111	119	83	94	97	1273
2	76	86	97	170	118	134	97	113	121	84	95	98	1289
3	77	87	98	172	120	136	98	115	123	86	97	99	1308
4	78	88	99	174	121	138	99	117	125	88	99	98	1324
5	73	84	93	167	115	135	93	109	117	81	92	95	1254
6	81	91	102	177	124	141	102	120	128	91	102	101	1360
7	73	83	94	167	114	130	93	111	119	84	95	94	1257
8	82	82	103	176	120	134	94	111	119	84	95	94	1294
9	79	90	99	173	121	136	99	115	124	87	98	101	1322
10	71	82	91	165	113	128	91	107	115	79	90	93	1225
11	76	86	97	170	118	134	97	113	121	84	95	98	1289
12	78	88	99	174	121	138	99	117	125	88	99	98	1324
13	76	86	97	170	118	134	97	113	121	84	95	98	1289
14	82	82	103	176	120	134	94	111	119	84	95	94	1294
15	79	90	99	173	121	136	99	115	124	87	98	101	1322
16	75	86	95	169	117	132	95	111	119	83	94	97	1273

Таблиця А.4 – Споживання паливно-енергетичних ресурсів y_i , т.у.п.

Варіант	Місяць, t												$\sum_{t=1}^n y_t$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	499	506	518	522	535	549	545	548	530	549	545	558	6404
2	749	708	777	731	802	769	818	767	795	769	818	782	9285
3	332	506	345	522	357	550	363	548	353	550	363	560	5349
4	551	558	570	574	587	601	597	600	582	601	597	610	7028
5	432	439	451	455	468	482	478	481	463	482	478	491	5600
6	516	523	535	539	552	566	562	565	547	566	562	575	6608
7	455	462	474	478	491	505	501	504	486	505	501	514	5876
8	766	725	794	748	819	786	835	784	812	786	835	799	9489
9	716	675	744	698	769	736	785	734	762	736	785	749	8889
10	848	807	876	830	901	868	917	866	894	868	917	881	10473
11	411	418	430	434	447	461	457	460	442	461	457	470	5348
12	543	550	562	566	579	593	589	592	574	593	589	602	6932
13	524	531	543	547	560	574	570	573	555	574	570	583	6704
14	422	429	441	445	458	472	468	471	453	472	468	481	5480
15	486	493	505	509	522	536	532	535	517	536	532	545	6248
16	566	573	585	589	602	616	612	615	597	616	612	625	7208

Таблиця А.5 – Дані щодо обсягів виробництва та витрачених енергоносіїв

Варіант	Місяць	Витрати електроенергії, у, кВт·год		Обсяг продукції, х ₁ , кг		Витрати газу, х ₂ , м ³		Витрати води, х ₃ , м ³	
		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Січень	65090	64200	467600	496200	76710	72194	1148	840
	Лютий	76450	79690	459000	473300	79960	63958	1142	862
	Березень	63200	64530	511200	518000	85630	61671	1062	763
	Квітень	63630	64020	542100	524800	60890	47566	1212	783
	Травень	64160	58240	514000	537000	52390	50598	1469	836
	Червень	61130	65350	560500	323000	54730	48529	1520	727
	Липень	70890	64790	580500	575000	52760	48329	1077	737
	Серпень	74300	79160	570800	575000	51280	49003	1200	812
	Вересень	76550	71580	554500	554500	49710	49710	1138	714
	Жовтень	71540	71540	563200	563200	58790	58790	1138	780
	Листопад	64400	64400	530100	530100	65980	65980	852	810
	Грудень	80260	80260	546500	546500	66850	66850	828	825
	За рік	831600	827760	6400000	6216600	755680	683178	13786	9489
2	Січень	78108	77040	561120	595440	92052	86632,8	1377,6	1008
	Лютий	91740	95628	550800	567960	95952	76749,6	1370,4	1034,4
	Березень	75840	77436	613440	621600	102756	74005,2	1274,4	915,6
	Квітень	76356	76824	650520	629760	73068	57079,2	1454,4	939,6
	Травень	76992	69888	616800	644400	62868	60717,6	1762,8	1003,2
	Червень	73356	78420	672600	387600	65676	58234,8	1824	872,4
	Липень	85068	77748	696600	690000	63312	57994,8	1292,4	884,4
	Серпень	89160	94992	684960	690000	61536	58803,6	1440	974,4
	Вересень	91860	85896	665400	665400	59652	59652	1365,6	856,8

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	85848	85848	675840	675840	70548	70548	1365,6	936
	Листопад	77280	77280	636120	636120	79176	79176	1022,4	972
	Грудень	96312	96312	655800	655800	80220	80220	993,6	990
	За рік	997920	993312	7680000	7459920	906816	819813,6	16543,2	11386,8
3	Січень	65205	77151	561018	595338	91950	86530,8	1275,6	906
	Лютий	76565	95739	550698	567858	95850	76647,6	1268,4	932,4
	Березень	63315	77547	613338	621498	102654	73903,2	1172,4	813,6
	Квітень	63745	76935	650418	629658	72966	56977,2	1352,4	837,6
	Травень	64275	69999	616698	644298	62766	60615,6	1660,8	901,2
	Червень	61245	78531	672498	387498	65574	58132,8	1722	770,4
	Липень	71005	77859	696498	689898	63210	57892,8	1190,4	782,4
	Серпень	74415	95103	684858	689898	61434	58701,6	1338	872,4
	Вересень	76665	86007	665298	665298	59550	59550	1263,6	754,8
	Жовтень	71655	85959	675738	675738	70446	70446	1263,6	834
	Листопад	64515	77391	636018	636018	79074	79074	920,4	870
	Грудень	80375	96423	655698	655698	80118	80118	891,6	888
За рік	832980	994644	7678776	7458696	905592	818589,6	15319,2	10162,8	
4	Січень	59172,73	58363,64	425090,9	451090,90	69736,36	65630,91	1043,63	763,63
	Лютий	69500	72445,45	417272,72	430272,72	72690,91	58143,64	1038,18	783,63
	Березень	57454,55	58663,64	464727,27	470909,09	77845,45	56064,55	965,45	693,63
	Квітень	57845,45	58200	492818,18	477090,90	55354,55	43241,82	1101,8	711,81
	Травень	58327,27	52945,45	467272,72	488181,81	47627,27	45998,18	1335,45	760
	Червень	55572,73	59409,09	509545,45	293636,36	49754,55	44117,27	1381,81	660,90
	Липень	64445,45	58900	527727,27	522727,27	47963,64	43935,45	979,09	670
	Серпень	67545,45	71963,64	518909,09	522727,27	46618,18	44548,18	1090,90	738,18
Вересень	69590,91	65072,73	504090,90	504090,90	45190,91	45190,91	1034,54	649,09	

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	65036,36	65036,36	512000	512000	53445,45	53445,45	1034,54	709,09
	Листопад	58545,45	58545,45	481909,09	481909,09	59981,82	59981,82	774,545	736,36
	Грудень	72963,64	72963,64	496818,18	496818,18	60772,73	60772,73	752,72	750
	За рік	756000	752509,1	5818181,8	5651454,5	686981,8	621070,9	12532,73	8626,36
5	Січень	71007,27	70036,36	510109,09	541309,09	83683,64	78757,09	1252,36	916,36
	Лютий	83400	86934,55	500727,27	516327,27	87229,09	69772,36	1245,82	940,36
	Березень	68945,45	70396,36	557672,72	565090,91	93414,55	67277,45	1158,54	832,36
	Квітень	69414,55	69840	591381,81	572509,09	66425,45	51890,18	1322,18	854,18
	Травень	69992,73	63534,55	560727,27	585818,19	57152,73	55197,82	1602,54	912
	Червень	66687,27	71290,91	611454,54	352363,64	59705,45	52940,73	1658,18	793,09
	Липень	77334,55	70680	633272,72	627272,73	57556,36	52722,55	1174,91	804
	Серпень	81054,55	86356,36	622690,90	627272,73	55941,82	53457,82	1309,09	885,82
	Вересень	83509,09	78087,27	604909,09	604909,09	54229,09	54229,09	1241,45	778,91
	Жовтень	78043,64	78043,64	614400	614400	64134,55	64134,55	1241,45	850,91
	Листопад	70254,55	70254,55	578290,90	578290,91	71978,18	71978,18	929,45	883,64
	Грудень	87556,36	87556,36	596181,81	596181,82	72927,27	72927,27	903,27	900
	За рік	158563,6	157592,7	1106290,9	1137490,9	156610,9	151684,4	2155,63	1816,36
6	Січень	64863	63973	467373	495973	76483	71967	921	613
	Лютий	76223	79463	458773	473073	79733	63731	915	635
	Березень	62973	64303	510973	517773	85403	61444	835	536
	Квітень	63403	63793	541873	524573	60663	47339	985	556
	Травень	63933	58013	513773	536773	52163	50371	1242	609
	Червень	60903	65123	560273	322773	54503	48302	1293	500
	Липень	70663	64563	580273	574773	52533	48102	850	510
	Серпень	74073	78933	570573	574773	51053	48776	973	585
	Вересень	76323	71353	554273	554273	49483	49483	911	487

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	71313	71313	562973	562973	58563	58563	911	553
	Листопад	64173	64173	529873	529873	65753	65753	625	583
	Грудень	80033	80033	546273	546273	66623	66623	601	598
	За рік	828876	825036	6397276	6213876	752956	680454	11062	6765
7	Січень	64879	63989	467389	495989	76499	71983	937	629
	Лютий	76239	79479	458789	473089	79749	63747	931	651
	Березень	62989	64319	510989	517789	85419	61460	851	552
	Квітень	63419	63809	541889	524589	60679	47355	1001	572
	Травень	63949	58029	513789	536789	52179	50387	1258	625
	Червень	60919	65139	560289	322789	54519	48318	1309	516
	Липень	70679	64579	580289	574789	52549	48118	866	526
	Серпень	74089	78949	570589	574789	51069	48792	989	601
	Вересень	76339	71369	554289	554289	49499	49499	927	503
	Жовтень	71329	71329	562989	562989	58579	58579	927	569
	Листопад	64189	64189	529889	529889	65769	65769	641	599
	Грудень	80049	80049	546289	546289	66639	66639	617	614
За рік	829068	825228	6397468	6214068	753148	680646	11254	6957	
8	Січень	54463,67	53722	389888,67	413722	64147	60383,67	1178,67	922
	Лютий	63930,33	66630,33	382722	394638,67	66855,33	53520,33	1173,67	940,33
	Березень	52888,67	53997	426222	431888,67	71580,33	51614,5	1107	857,83
	Квітень	53247	53572	451972	437555,33	50963,67	39860,33	1232	874,5
	Травень	53688,67	48755,33	428555,33	447722	43880,33	42387	1446,17	918,67
	Червень	51163,67	54680,33	467305,33	269388,67	45830,33	40662,83	1488,67	827,83
	Липень	59297	54213,67	483972	479388,67	44188,67	40496,17	1119,5	836,17
	Серпень	62138,67	66188,67	475888,67	479388,67	42955,33	41057,83	1222	898,67
Вересень	64013,67	59872	462305,33	462305,33	41647	41647	1170,33	817	

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	59838,67	59838,67	469555,33	469555,33	49213,67	49213,67	1170,33	872
	Листопад	53888,67	53888,67	441972	441972	55205,33	55205,33	932	897
	Грудень	67105,33	67105,33	455638,67	455638,67	55930,33	55930,33	912	909,5
	За рік	695664	692464	5335997,33	5183164	632397,3	571979	14152,33	10571,5
9	Січень	65090	64200	467600	496200	76710	72194	1148	840
	Лютий	76450	79690	459000	473300	79960	63958	1142	862
	Березень	63200	64530	511200	518000	85630	61671	1062	763
	Квітень	63630	64020	542100	524800	60890	47566	1212	783
	Травень	64160	58240	514000	537000	52390	50598	1469	836
	Червень	61130	65350	560500	323000	54730	48529	1520	727
	Липень	70890	64790	580500	575000	52760	48329	1077	737
	Серпень	74300	79160	570800	575000	51280	49003	1200	812
	Вересень	76550	71580	554500	554500	49710	49710	1138	714
	Жовтень	71540	71540	563200	563200	58790	58790	1138	780
	Листопад	64400	64400	530100	530100	65980	65980	852	810
	Грудень	80260	80260	546500	546500	66850	66850	828	825
За рік	831600	827760	6400000	6216600	755680	683178	13786	9489	
10	Січень	64863	63973	467373	495973	76483	71967	921	613
	Лютий	76223	79463	458773	473073	79733	63731	915	635
	Березень	62973	64303	510973	517773	85403	61444	835	536
	Квітень	63403	63793	541873	524573	60663	47339	985	556
	Травень	63933	58013	513773	536773	52163	50371	1242	609
	Червень	60903	65123	560273	322773	54503	48302	1293	500
	Липень	70663	64563	580273	574773	52533	48102	850	510
	Серпень	74073	78933	570573	574773	51053	48776	973	585
Вересень	76323	71353	554273	554273	49483	49483	911	487	

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	71313	71313	562973	562973	58563	58563	911	553
	Листопад	64173	64173	529873	529873	65753	65753	625	583
	Грудень	80033	80033	546273	546273	66623	66623	601	598
	За рік	828876	825036	6397276	6213876	752956	680454	11062	6765
11	Січень	65205	77151	561018	595338	91950	86530,8	1275,6	906
	Лютий	76565	95739	550698	567858	95850	76647,6	1268,4	932,4
	Березень	63315	77547	613338	621498	102654	73903,2	1172,4	813,6
	Квітень	63745	76935	650418	629658	72966	56977,2	1352,4	837,6
	Травень	64275	69999	616698	644298	62766	60615,6	1660,8	901,2
	Червень	61245	78531	672498	387498	65574	58132,8	1722	770,4
	Липень	71005	77859	696498	689898	63210	57892,8	1190,4	782,4
	Серпень	74415	95103	684858	689898	61434	58701,6	1338	872,4
	Вересень	76665	86007	665298	665298	59550	59550	1263,6	754,8
	Жовтень	71655	85959	675738	675738	70446	70446	1263,6	834
	Листопад	64515	77391	636018	636018	79074	79074	920,4	870
	Грудень	80375	96423	655698	655698	80118	80118	891,6	888
За рік	832980	994644	7678776	7458696	905592	818589,6	15319,2	10162,8	
12	Січень	59172,73	58363,64	425090,9	451090,90	69736,36	65630,91	1043,63	763,63
	Лютий	69500	72445,45	417272,72	430272,72	72690,91	58143,64	1038,18	783,63
	Березень	57454,55	58663,64	464727,27	470909,09	77845,45	56064,55	965,45	693,63
	Квітень	57845,45	58200	492818,18	477090,90	55354,55	43241,82	1101,8	711,81
	Травень	58327,27	52945,45	467272,72	488181,81	47627,27	45998,18	1335,45	760
	Червень	55572,73	59409,09	509545,45	293636,36	49754,55	44117,27	1381,81	660,90
	Липень	64445,45	58900	527727,27	522727,27	47963,64	43935,45	979,09	670
	Серпень	67545,45	71963,64	518909,09	522727,27	46618,18	44548,18	1090,90	738,18
	Вересень	69590,91	65072,73	504090,90	504090,90	45190,91	45190,91	1034,54	649,09

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	65036,36	65036,36	512000	512000	53445,45	53445,45	1034,54	709,09
	Листопад	58545,45	58545,45	481909,09	481909,09	59981,82	59981,82	774,545	736,36
	Грудень	72963,64	72963,64	496818,18	496818,18	60772,73	60772,73	752,72	750
	За рік	756000	752509,1	5818181,8	5651454,5	686981,8	621070,9	12532,73	8626,364
13	Січень	64879	63989	467389	495989	76499	71983	937	629
	Лютий	76239	79479	458789	473089	79749	63747	931	651
	Березень	62989	64319	510989	517789	85419	61460	851	552
	Квітень	63419	63809	541889	524589	60679	47355	1001	572
	Травень	63949	58029	513789	536789	52179	50387	1258	625
	Червень	60919	65139	560289	322789	54519	48318	1309	516
	Липень	70679	64579	580289	574789	52549	48118	866	526
	Серпень	74089	78949	570589	574789	51069	48792	989	601
	Вересень	76339	71369	554289	554289	49499	49499	927	503
	Жовтень	71329	71329	562989	562989	58579	58579	927	569
	Листопад	64189	64189	529889	529889	65769	65769	641	599
	Грудень	80049	80049	546289	546289	66639	66639	617	614
За рік	829068	825228	6397468	6214068	753148	680646	11254	6957	
14	Січень	59172,73	58363,64	425090,9	451090,90	69736,36	65630,91	1043,63	763,63
	Лютий	69500	72445,45	417272,72	430272,72	72690,91	58143,64	1038,18	783,63
	Березень	57454,55	58663,64	464727,27	470909,09	77845,45	56064,55	965,45	693,63
	Квітень	57845,45	58200	492818,18	477090,90	55354,55	43241,82	1101,8	711,81
	Травень	58327,27	52945,45	467272,72	488181,81	47627,27	45998,18	1335,45	760
	Червень	55572,73	59409,09	509545,45	293636,36	49754,55	44117,27	1381,81	660,90
	Липень	64445,45	58900	527727,27	522727,27	47963,64	43935,45	979,09	670
	Серпень	67545,45	71963,64	518909,09	522727,27	46618,18	44548,18	1090,90	738,18
Вересень	69590,91	65072,73	504090,90	504090,90	45190,91	45190,91	1034,54	649,09	

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	65036,36	65036,36	512000	512000	53445,45	53445,45	1034,54	709,09
	Листопад	58545,45	58545,45	481909,09	481909,09	59981,82	59981,82	774,545	736,36
	Грудень	72963,64	72963,64	496818,18	496818,18	60772,73	60772,73	752,72	750
	За рік	756000	752509,1	5818181,8	5651454,5	686981,8	621070,9	12532,73	8626,36
15	Січень	71007,27	70036,36	510109,09	541309,09	83683,64	78757,09	1252,36	916,36
	Лютий	83400	86934,55	500727,27	516327,27	87229,09	69772,36	1245,82	940,36
	Березень	68945,45	70396,36	557672,72	565090,91	93414,55	67277,45	1158,54	832,36
	Квітень	69414,55	69840	591381,81	572509,09	66425,45	51890,18	1322,18	854,18
	Травень	69992,73	63534,55	560727,27	585818,19	57152,73	55197,82	1602,54	912
	Червень	66687,27	71290,91	611454,54	352363,64	59705,45	52940,73	1658,18	793,09
	Липень	77334,55	70680	633272,72	627272,73	57556,36	52722,55	1174,91	804
	Серпень	81054,55	86356,36	622690,90	627272,73	55941,82	53457,82	1309,09	885,82
	Вересень	83509,09	78087,27	604909,09	604909,09	54229,09	54229,09	1241,45	778,91
	Жовтень	78043,64	78043,64	614400	614400	64134,55	64134,55	1241,45	850,91
	Листопад	70254,55	70254,55	578290,90	578290,91	71978,18	71978,18	929,45	883,64
	Грудень	87556,36	87556,36	596181,81	596181,82	72927,27	72927,27	903,27	900
	За рік	158563,6	157592,7	1106290,9	1137490,9	156610,9	151684,4	2155,63	1816,36
16	Січень	54463,67	53722	389888,67	413722	64147	60383,67	1178,67	922
	Лютий	63930,33	66630,33	382722	394638,67	66855,33	53520,33	1173,67	940,33
	Березень	52888,67	53997	426222	431888,67	71580,33	51614,5	1107	857,83
	Квітень	53247	53572	451972	437555,33	50963,67	39860,33	1232	874,5
	Травень	53688,67	48755,33	428555,33	447722	43880,33	42387	1446,17	918,67
	Червень	51163,67	54680,33	467305,33	269388,67	45830,33	40662,83	1488,67	827,83
	Липень	59297	54213,67	483972	479388,67	44188,67	40496,17	1119,5	836,17
	Серпень	62138,67	66188,67	475888,67	479388,67	42955,33	41057,83	1222	898,67
	Вересень	64013,67	59872	462305,33	462305,33	41647	41647	1170,33	817

Продовження таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Жовтень	59838,67	59838,67	469555,33	469555,33	49213,67	49213,67	1170,33	872
	Листопад	53888,67	53888,67	441972	441972	55205,33	55205,33	932	897
	Грудень	67105,33	67105,33	455638,67	455638,67	55930,33	55930,33	912	909,5
	За рік	695664	692464	5335997,33	5183164	632397,3	571979	14152,33	10571,5

Таблиця А.6 – Щомісячні дані про електроспоживання

Варіант	<i>E</i> , тис. кВт·год									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	43,8	59,4	67,1	73,4	81,0	100,3	91,9	108,2	110,4	113,7
2	52,6	71,3	80,5	88,8	97,2	120,3	110,3	129,9	132,5	136,4
3	37,4	50,8	57,3	62,7	69,2	85,7	78,5	92,4	94,3	97,1
4	60,8	76,4	84,1	90,4	98	117,3	108,9	125,2	127,4	130,7
5	49,36	68,08	77,32	84,88	94	117,16	107,08	126,64	129,28	133,24
6	88,8	104,4	112,1	118,4	126	145,3	136,9	153,2	155,4	158,7
7	100,74	136,62	154,33	168,82	186,3	230,69	211,37	248,86	253,92	261,51
8	59,23	81,69	92,78	101,85	112,8	140,59	128,49	151,96	155,13	159,8
9	73,3	88,9	96,6	102,9	110,5	129,8	121,4	137,7	139,9	143,2
10	96,36	124,74	147,62	154,14	178,2	210,63	202,18	227,22	242,88	238,77
11	64,8	80,4	88,1	94,4	102	121,3	112,9	129,2	131,4	134,7
12	144,54	196,02	221,43	242,22	267,3	330,99	303,27	357,06	364,32	375,21
13	18,25	24,75	27,96	30,58	33,75	41,8	38,3	45,08	46	47,38
14	100,54	152,02	177,43	198,22	223,3	286,99	259,27	313,06	320,32	331,21
15	157,54	209,02	234,43	255,22	280,3	343,99	316,27	370,06	377,32	388,21
16	75,8	91,4	99,1	105,4	113	132,3	123,9	140,2	142,4	145,7

Таблиця А.7 – Потужність синхронного генератора при $\cos \varphi = 0,9$

Варіант	Потужність	Навантаження на валу, %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	S , кВА	65	67,2	70,1	69,3	75,4	80,7	77,5	81,6	93,4	94,4	100,9
	Q , кВАр	65	65,5	63,7	59,5	57,2	60,2	56,2	54,8	48,5	46,2	45,00
2	S , кВА	67	69,2	72,1	71,3	77,4	82,7	79,5	83,6	95,4	96,4	102,9
	Q , кВАр	67	67,5	65,7	61,5	59,2	62,2	58,2	56,8	50,5	48,2	47,00
3	S , кВА	68	70,2	73,1	72,3	78,4	83,7	80,5	84,6	96,4	97,4	103,9
	Q , кВАр	68	68,5	66,7	62,5	60,2	63,2	59,2	57,8	51,5	49,2	48,00
4	S , кВА	69	71,2	74,1	73,3	79,4	84,7	81,5	85,6	97,4	98,4	104,9
	Q , кВАр	69	69,5	67,7	63,5	61,2	64,2	60,2	58,8	52,5	50,2	49,00
5	S , кВА	70	72,2	75,1	74,3	80,4	85,7	82,5	86,6	98,4	99,4	105,9
	Q , кВАр	70	70,5	68,7	64,5	62,2	65,2	61,2	59,8	53,5	51,2	50,00
6	S , кВА	71	73,2	76,1	75,3	81,4	86,7	83,5	87,6	99,4	100,4	106,9
	Q , кВАр	71	71,5	69,7	65,5	63,2	66,2	62,2	60,8	54,5	52,2	51,00
7	S , кВА	72	74,2	77,1	76,3	82,4	87,7	84,5	88,6	100,4	101,4	107,9
	Q , кВАр	72	72,5	70,7	66,5	64,2	67,2	63,2	61,8	55,5	53,2	52,00
8	S , кВА	73	75,2	78,1	77,3	83,4	88,7	85,5	89,6	101,4	102,4	108,9
	Q , кВАр	73	75,5	71,7	67,5	65,2	68,2	64,2	62,8	56,5	54,2	53,00
9	S , кВА	74	76,2	79,1	78,3	84,4	89,7	86,5	90,6	102,4	103,4	109,9
	Q , кВАр	74	76,5	72,7	68,5	66,2	69,2	65,2	63,8	57,5	55,2	54,00
10	S , кВА	75	77,2	80,1	79,3	85,4	88,7	87,5	91,6	103,4	104,4	110,9
	Q , кВАр	75	77,5	73,7	69,5	67,2	70,2	66,2	64,8	58,5	56,2	55,00
11	S , кВА	76	78,2	81,1	80,3	86,4	89,7	88,5	92,6	104,4	105,4	111,9
	Q , кВАр	76	78,5	74,7	70,5	68,2	71,2	67,2	65,8	59,5	57,2	56,00

Продовження таблиці А.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	S , кВА	77	79,2	82,1	81,3	87,4	90,7	89,5	93,6	105,4	106,4	112,9
	Q , кВАр	77	79,5	75,7	71,5	69,2	72,2	68,2	66,8	60,5	58,2	57,00
13	S , кВА	78	80,2	83,1	82,3	88,4	91,7	90,5	94,6	106,4	107,4	113,9
	Q , кВАр	78	80,5	76,7	72,5	70,2	73,2	69,2	67,8	61,5	59,2	58,00
14	S , кВА	79	81,2	84,1	83,3	89,4	92,7	91,5	95,6	107,4	108,4	114,9
	Q , кВАр	79	81,5	77,7	73,5	71,2	74,2	70,2	68,8	62,5	60,2	59,00
15	S , кВА	80	82,2	85,1	84,3	90,4	93,7	92,5	96,6	108,4	109,4	115,9
	Q , кВАр	80	82,5	78,7	74,5	72,2	75,2	71,2	69,8	63,5	61,2	60,00
16	S , кВА	81	83,2	86,1	85,3	91,4	94,7	93,5	97,6	109,4	110,4	116,9
	Q , кВАр	81	83,5	79,7	75,5	73,2	76,2	72,2	70,8	64,5	62,2	61,00

Таблиця А.8 – Потужність синхронного генератора при $\cos \varphi = 1,0$

Варіант	Потужність	Навантаження на валу, %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	S , кВА	25	29,0	31,3	42,4	48,3	52,0	66,4	72,0	78,2	92,1	97,8
	Q , кВАр	25	24,8	23,1	23,8	21,1	19,1	19,7	17,2	10,0	8,5	1,5
2	S , кВА	26	30,0	32,3	43,4	49,3	53,0	67,4	73,0	79,2	93,1	98,8
	Q , кВАр	26	25,8	24,1	24,8	22,1	20,1	20,7	18,2	11,0	9,5	2,5
3	S , кВА	27	31,0	33,3	44,4	50,3	54,0	68,4	74,0	80,2	94,1	98,8
	Q , кВАр	27	26,8	25,1	25,8	23,1	21,1	21,7	19,2	12,0	10,5	3,5
4	S , кВА	28	32,0	34,3	45,4	51,3	55,0	69,4	75,0	81,2	95,1	99,8
	Q , кВАр	28	27,8	26,1	26,8	24,1	22,1	22,7	20,2	13,0	11,5	4,5

Продовження таблиці А.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	S , кВА	29	33,0	35,3	46,4	52,3	56,0	70,4	76,0	82,2	96,1	10,8
	Q , кВАр	29	28,8	27,1	27,8	25,1	23,1	23,7	21,2	14,0	12,5	5,5
6	S , кВА	30	34,0	36,3	47,4	53,3	57,0	71,4	77,0	83,2	97,1	11,8
	Q , кВАр	30	29,8	28,1	28,8	26,1	24,1	24,7	22,2	15,0	13,5	6,5
7	S , кВА	31	35,0	37,3	48,4	54,3	58,0	72,4	78,0	84,2	98,1	12,8
	Q , кВАр	31	30,8	29,1	29,8	27,1	25,1	25,7	23,2	16,0	14,5	7,5
8	S , кВА	32	36,0	38,3	49,4	55,3	59,0	73,4	79,0	85,2	99,1	13,8
	Q , кВАр	32	31,8	30,1	30,8	26,1	26,1	26,7	24,2	17,0	15,5	8,5
9	S , кВА	33	37,0	39,3	50,4	56,3	60,0	74,4	80,0	86,2	100,1	14,8
	Q , кВАр	33	32,8	31,1	31,8	27,1	27,1	27,7	25,2	18,0	16,5	9,5
10	S , кВА	34	38,0	40,3	51,4	57,3	61,0	75,4	81,0	87,2	101,1	15,8
	Q , кВАр	34	33,8	41,1	32,8	28,1	28,1	28,7	26,2	19,0	17,5	10,5
11	S , кВА	35	39,0	41,3	52,4	58,3	62,0	76,4	82,0	88,2	102,1	16,8
	Q , кВАр	35	34,8	42,1	33,8	29,1	29,1	29,7	27,2	20,0	18,5	11,5
12	S , кВА	36	40,0	42,3	53,4	59,3	63,0	77,4	83,0	89,2	103,1	17,8
	Q , кВАр	36	41,8	43,1	34,8	30,1	30,1	30,7	28,2	21,0	19,5	12,5
13	S , кВА	37	41,0	43,3	54,4	60,3	64,0	78,4	84,0	90,2	104,1	18,8
	Q , кВАр	37	42,8	44,1	35,8	31,1	31,1	31,7	29,2	22,0	20,5	13,5
14	S , кВА	38	42,0	44,3	55,4	61,3	65,0	79,4	85,0	91,2	105,1	19,8
	Q , кВАр	38	43,8	45,1	36,8	32,1	32,1	32,7	30,2	23,0	21,5	14,5
15	S , кВА	39	43,0	45,3	56,4	62,3	66,0	80,4	86,0	92,2	106,1	20,8
	Q , кВАр	39	44,8	46,1	37,8	34,1	33,1	33,7	31,2	24,0	22,5	15,5
16	S , кВА	40	44,0	44,3	57,4	63,3	67,0	81,4	87,0	93,2	107,1	21,8
	Q , кВАр	40	45,8	47,1	38,8	35,1	34,1	34,7	32,2	25,0	23,5	16,5

Таблиця Б.1 – Критичні значення коефіцієнта Кохрена для числа ступенів вільності ν

k	ν										
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36	∞
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8159	0,7880	0,7341	0,6602	0,5000
3	0,9669	0,8709	0,0797	0,7454	0,7071	0,6771	0,6333	0,6025	0,5466	0,4748	0,3333
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5175	0,4884	0,4366	0,3720	0,2500
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5441	0,5065	0,4783	0,4387	0,4118	0,3645	0,3066	0,2000
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3817	0,3568	0,3135	0,2612	0,1667
7	0,7271	0,5612	0,48000	0,4307	0,3974	0,3726	0,3384	0,3154	0,2756	0,2278	0,1429
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3043	0,2829	0,2462	0,2022	0,1250
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,7576	0,3067	0,2768	0,2568	0,226	0,1820	0,1111
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2541	0,2353	0,2032	0,1655	0,1000
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2187	0,2020	0,1737	0,1403	0,0833
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1422	0,1303	0,1108	0,0879	0,0500
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1001	0,0921	0,0771	0,0604	0,0333
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0795	0,0713	0,0595	0,0462	0,0250
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0552	0,0497	0,0411	0,0316	0,0167
120	0,098	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0292	0,0266	0,0218	0,0165	0,0083

Таблиця Б.2 – Значення F -критерію Фішера з рівнем значущості $\alpha = 0,05$.

$k_2 = M$	$k_1 = k - 1$									
	1	2	3	3	5	6	8	12	24	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	238,9	243,9	249,0	234,5
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,1	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,90	2,42	2,21
14	4,6	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
35	4,12	3,26	2,87	2,64	2,48	2,37	2,22	2,04	1,83	1,57
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,74	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,07	1,89	1,67	1,35
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,06	1,88	1,65	1,31
90	3,95	3,10	2,71	2,47	2,32	2,20	2,04	1,86	1,65	1,31
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,03	1,85	1,63	1,26

Таблиця В.1 – Дані до задачі 2.1

Квартал	P_{max} , МВт	P_{fact} , МВт	W , МВт
I	206,4	200	120000
II	190,1	180	107000
III	147,8	140	80000
IV	164,9	160	95000
За рік	680	–	–

Таблиця В.2 – Дані до задачі 2.2

Квартал	P_{max} , МВт	P_{fact} , МВт	W , МВт
Січень	306,4	300,1	43500
Лютий	205,1	199,8	26200
Березень	250,1	245,3	34200
Квітень	180,7	180,2	22800
Травень	190,7	187,6	24000
Четвень	200,2	196,1	25700
Липень	300	293,1	42600
Серпень	290,5	287,2	41700
Вересень	290,5	288,2	41700
Жовтень	180,5	179,7	22260
Листопад	180,5	179,7	22260
Грудень	190,9	190	24600
За рік	–	–	–

Таблиця В.3 – Дані до задачі 2.3

Квартал	P_{max} , МВт	P_{fact} , МВт	\bar{P}_{fact} , МВт
I	150,3	148,7	148,1
II	133,1	132,7	131,4
III	160,9	159,8	148
IV	129,7	127,9	126,3
За рік	569,1	–	–

Таблиця В.4 – Дані до задачі 2.4

Квартал	P_{max} , МВт	P_{fact} , МВт	W , МВт
I	264,3	246,9	150000
III	272,1	263,5	165000
Усього	510,4	–	–

Таблиця В.5 – Дані до задачі 2.5

№ ділянки	$P_{обл}$, кВА	E , кВт·год
1	2	3
2	7	133
3	82	148
4	87	134

Таблиця В.6 – Дані до задачі 2.6

№ ділянки	$P_{обл}$, кВА	E , кВт·год
1	89	162
2	106	195
3	67	139
4	88	158
5	73	152
6	87	162

Таблиця В.7 – Дані до задачі 2.7

№ ділянки	$P_{обл}$, кВА	E , кВт·год
1	76	159
2	83	135
3	67	144
4	78	136
5	73	160
6	85	162
7	65	144
8	71	146

Таблиця В.8 – Дані до задачі 2.10

Роки	Перший	Другий	Третій
Споживання електроенергії, кВт/рік	30	35	42

Таблиця В.9 – Дані до задачі 2.11

Дні	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Продано,Вт	1520	1900	1780	1560	1800	1880	1850

Таблиця В.9– Дані до задачі 2.12

Порядковий номер періоду (місяця), i	1	2	3	4	5	6
Споживання електроенергії кВт , x_i	100	98	101	104	103	105

Таблиця В.10 – Дані до задачі 2.13

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень
Продаж, кВт·год	10	15	13	29	22

Таблиця В.11 – Дані до задачі 2.13

t , год	00:00	01:00	02:00	03:00
P , Вт	60	90	80	20

Таблиця Г.1 – Значення коефіцієнта максимуму k_{max} залежно від коефіцієнта використання k_e та ефективного числа електроприймачів n_{EP}

n_{EP}	k_{max}									
	$k_e=0,1$	$k_e=0,15$	$k_e=0,2$	$k_e=0,3$	$k_e=0,4$	$k_e=0,5$	$k_e=0,6$	$k_e=0,7$	$k_e=0,8$	$k_e=0,9$
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,49	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01

Таблиця Г.2 – Показники використання електричних потужностей електроприймачів

Електроприймачі	Коефіцієнти		
	k_g	$\cos \varphi$	k_n
Металорізальні верстати для дрібносерійного виробництва з нормальним режимом роботи – дрібні токарські, стругальні, фрезерні, свердловальні, карусельні й розточувальні	0,12...0,14	0,4...0,5	0,14...0,16
Металорізальні верстати для крупносерійного виробництва з нормальним режимом роботи – дрібні токарські, стругальні, фрезерні, свердловальні, карусельні й розточувальні	0,16	0,5...0,6	0,2
Штампувальні, преси, автомати, револьверні, обдирні, зубофрезерні, а також великі токарські верстати	0,17	0,65	0,25
Приводи молотів, кувальних машин, волочильних верстатів, очисних барабанів тощо	0,2...0,24	0,65	0,34...0,4
Переносний електроінструмент	0,06	0,5	0,1
Вентилятори	0,6...0,65	0,8	0,65...0,7
Насоси, компресори	0,7	0,85	0,75
Крани, візки з тривалістю включення 25 %	0,05	0,5	0,1
Крани, візки з тривалістю включення 40 %	0,1	0,5	0,2
Елеватори, транспортери	0,4	0,75	0,5
Зварювальні трансформатори дугового зварювання	0,2	0,4	0,3
Печі опору з автоматичним завантаженням виробів	0,75...0,8	0,95	0,71
Печі опору з неавтоматичним завантаженням виробів	0,5	0,95	0,8
Індукційні печі низької частоти	–	0,35	0,8
Двигуни-генератори індукційних печей високої частоти	–	0,65	0,8
Лампові генератори індукційних печей високої частоти	–	0,65	0,8

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці» для студентів денної та заочної форм навчання за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент» зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» другого (магістерського) освітнього рівня

Укладач к. т. н., доц. С. М. Якимець

Відповідальний за випуск в. о. зав. кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту О. В. Бялобржеський

Підп. до др. 22.02.19 Формат 60x84¹/₁₆. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. 3,38. Наклад 5 прим. Зам. № 19229. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м.Кременчук, 39600

