Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___“ _____20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Управління споживанням електричної енергії у вищому навчальному закладі»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи *ЕНМ-23М*
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

_____ Михайло ГОРБОВ
«____»_____2024 р.

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Катерина ПЕТРОВА
«_____»_____2024 р.

Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Освітньо-професійна програма *Енергетичний менеджмент*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
«__02__»____09_____2024 р.

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

Горбова Михайла Вікторовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Управління споживанням електричної енергії у вищому навчальному закладі*

Managing electricity consumption in a higher education institution

2. Керівник роботи *Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту *17.12.2024 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою кваліфікаційної роботи є підвищення результативності використання паливно-енергетичних ресурсів інфраструктурним комплексом освітньої установи шляхом удосконалення моделювальних механізмів у контексті системи управління енергоефективністю. Досягнення поставленої мети було забезпечене вирішенням наступних завдань: 1) дослідження стану нормативної та методологічної бази у сфері енергетичної ефективності й функціональних механізмів моніторингу енергоспоживання закладів вищої освіти; 2) побудова математичної моделі енергетичних характеристик будівель об'єктів вищої освіти; 3) огляд методології кластеризаційного групування об'єктів енергетичного споживання навчальних закладів; 4) створення системи стратегічного адміністрування електроенергетичними ресурсами в освітньому середовищі.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	16.09.2024 р.	
2	Дослідження стану нормативної та методологічної бази у сфері енергетичної ефективності й функціональних механізмів моніторингу енергоспоживання закладів вищої освіти	30.09.2024 р.	
3	Побудова математичної моделі енергетичних характеристик будівель об'єктів вищої освіти	14.10.2024 р.	
4	Методологія кластеризаційного групування об'єктів енергетичного споживання навчальних закладів	28.10.2024 р.	
5	Стратегічне адміністрування електроенергетичними ресурсами в освітньому середовищі	11.11.2024 р.	
6	Висновки, список використаних джерел	25.11.2024 р.	
7	Оформлення додатків	02.12.2024 р.	
8	Оформлення презентаційної частини КР	05.12.2024 р.	

Дата видачі завдання «____» _____2024 р.

Підпис керівника _____ Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання «____» _____2024 р.

Підпис здобувача _____ Михайло ГОРБОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 106 с., 34 рис., 25 табл., 22 джерела

Горбов М.В. Управління споживанням електричної енергії у вищому навчальному закладі. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет; Кропивницький, 2024 р.

Метою роботи є підвищення результативності використання паливно-енергетичних ресурсів інфраструктурним комплексом освітньої установи шляхом удосконалення моделювальних механізмів у контексті системи управління енергоефективністю.

У роботі виконано дослідження стану нормативної та методологічної бази у сфері енергетичної ефективності й функціональних механізмів моніторингу енергоспоживання закладів вищої освіти, побудовано математичні моделі енергетичних характеристик будівель об'єктів, розглянуто методологію кластеризаційного групування об'єктів енергетичного споживання навчальних закладів, розроблено підхід до стратегічного адміністрування електроенергетичних ресурсів для інфраструктурних об’єктів закладів вищої освіти.

УПРАВЛІННЯ СПОЖИВАННЯМ, ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД, ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ

ABSTRACT

Qualification work: 106 p.; 34 fig.; 25 tables; 22 sources

Horbov M.V. Managing electricity consumption in a higher education institution. - Manuscript.

Qualification thesis second (master's) level of higher education on speciality 141 "Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics" professional program "Energy management". – Central Ukrainian National Technical University; Kropyvnytskyi, 2024.

The aim of the study is to enhance the efficiency of fuel and energy resource utilization by the infrastructure complex of an educational institution through the improvement of modeling mechanisms within the context of an energy efficiency management system.

The study investigates the state of the regulatory and methodological framework in the field of energy efficiency and the functional mechanisms for monitoring energy consumption in higher education institutions. Mathematical models of the energy characteristics of buildings have been developed, a methodology for clustering energy consumption objects in educational institutions has been considered, and an approach to strategic administration of electrical energy resources for the infrastructure facilities of higher education institutions has been proposed.

CONSUMPTION MANAGEMENT, HIGHER EDUCATION INSTITUTION, FUEL AND ENERGY RESOURCES, MONITORING SYSTEM

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ……..……..... 8
ВСТУП……..…… 9
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ НОРМАТИВНОЇ ТА МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ Й ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ……..……..…… 13
1.1. Комплексний аналіз нормативної бази стандартизації у сфері енергетичної ефективності будівель і стратегічного управління енергозберігаючими процесами……..……..... 14
1.2. Характеристика системи енергетичного моніторингу в освітніх установах…….....……. 18
1.3. Дослідження особливостей енергетичного споживання навчальних закладів…….....…….…….... 24
Висновки до розділу 1 .....……..... 28
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....…… 29
2.1. Фактори формування енергетичних характеристик будівель обєктів вищої освіти ……..…….... 29
2.2. Створення факторного середовища параметрів, що визначають ефективність використання енергетичних ресурсів в будівлях навчальних закладів..... 30
2.3. Статистичний аналіз ймовірності впливу чинників на споживання ЕЕ будівлями навчального закладу..... 46
Висновки до розділу 2 .....…….. 57
РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЙНОГО ГРУПУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ……..... 58

3.1. Концептуальна характеристика кластеризаційного групування об'єктів іцнфраструктури навчальних закладів..... 58

3.2. Визначення типових будівель технологічного університету за неієрархічним підходом …..……..... 63

3.3. Моделювання питомого споживання ЕЕ будівлями навчального закладу у межах кластерів…..... 67

3.4. Встановлення важливості факторів, які впливають на формування кластерів ……. ……..... 73

Висновки до розділу 3 ....……... 77

РОЗДІЛ 4. СТРАТЕГІЧНЕ АДМІНІСТРУВАННЯ ЕЛЕКТРО-ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ В ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ..... 79

4.1. Прогнозування та оптимізація електроенергетичного балансу навчального закладу…… …….. 79

4.2. Методика вибору ключових енергоефективних заходів ……...……. 87

4.3. Енергозбереження в будівлях вищих навчальних закладів: управління……..……... 91

Висновки до розділу 4 ....……... 96

ВИСНОВКИ…….. 98

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 100

ДОДАТКИ..... 103

ДОДАТОК А. Охорона праці в управлінні споживанням ЕЕ у вищому навчальному закладі..... 104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГДОП – градусо-доби опалювального періоду;

ЕЕ – електрична енергія;

ПЕР – паливно-енергетичний ресурс;

ТЕ – теплова енергія.

ВСТУП

Сучасні тенденції щодо енергозберігаючих питань кардинально трансформувалися, що вимагає у бюджетних установах, особливо освітніх закладах України, впровадження інноваційних систем управління енергоефективністю. Значного вдосконалення потребують існуючі методологічні підходи до оцінки параметрів нормування паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та комплексного моніторингу їхнього використання. На даний момент у вищих навчальних установах відсутній цілісний процес системного енергозбереження, додатковою перешкодою слугує комплекс факторів, які ускладнюють оптимальне визначення показників нормування ПЕР.

Такий підхід невідповідність планової норми енергоспоживання у навчальних закладах, призводячи до необґрунтованих перевитрат енергоносіїв або необдуманого зниження енергетичного споживання. Стан використання енергетичних ресурсів освітніми установами в сучасних економічних реаліях потребує посиленої уваги до енергозберігаючих стратегій.

У реалізації державної політики енергозбереження принципово важлива роль належить питанню раціоналізації електроенергетичного споживання, яке неможливо розв'язати без сучасних науково верифікованих інструментів, методологій та моделей енергетичного моніторингу в контексті системи управління енергоефективністю навчальних закладів. Завдання ідентифікації резервів економії на базі глибокого аналізу та стратегічного планування електроенергетичних витрат набуває особливої значущості, тим більше, що потенціал економії є суттєвим.

Розроблення інтелектуальних моделей енергетичного моніторингу в умовах сьогоднішнього розвитку енергозберігаючої сфери становить критично важливий напрямок удосконалення наукового підходу до управління енергоефективністю. Внаслідок впровадження інноваційних

енергозберігаючих заходів у навчальних приміщеннях можливо досягти відчутного зниження рівня енергоспоживання.

У численних наукових дослідженнях та інформаційних джерелах постійно наголошується, що орієнтовний потенціал енергозбереження в нашій країні сягає вражаючі 42–48%, що еквівалентно 65–80% від загального імпортованого газового обсягу, тобто фактично половина паливно-енергетичних ресурсів витрачається на покриття різноманітних втрат.

Частка енергетичного споживання житлово-комунального сектору України, включаючи освітні заклади, сягає близько 40%. Враховуючи низьку ефективність енергетичного використання в освітній галузі, відсутність структурованих науково-управлінських методик досягнення енергетичної оптимальності та неповноту інформаційного забезпечення про енергетичні й експлуатаційні характеристики будівель, виникає нагальна потреба проведення комплексного аналізу енергоспоживання.

Для реалізації цього завдання необхідно розробити механізми ідентифікації ключових факторів впливу на енергетичне споживання інфраструктурних об'єктів, здійснити кластеризацію будівель за подібними характеристиками, змоделювати питоме енергоспоживання в межах кластерних угруповань, встановити енергетичні ліміти з урахуванням оцінювання відхилень від заданих довірчих інтервалів, забезпечити прогнозування та стратегічне планування, розробити та впровадити організаційно-технічні заходи щодо оптимізації енергоспоживання.

Розвиток інноваційних підходів до оцінювання енергетичної ефективності, формування комплексних моделей та інструментів енергетичного моніторингу, розроблення систем управління енергозбереженням постають актуальними науково-практичними завданнями у сфері енергоощадження.

Інтенсифікація впровадження системи управління енергоощадженням на об’єктах бюджетної сфери є економічно більш доцільним, аніж генерування еквівалентної кількості енергетичних ресурсів.

Відбулося значне розширення масштабів та поглиблення досліджень у сфері енергозбереження, розроблення організаційних механізмів та управлінських стратегій процесів енергоефективності.

Однак, наявні наукові джерела недостатньо розкривають проблемні аспекти, пов'язані з поглибленим обґрунтуванням стратегічних напрямків у сфері енергетичної ефективності закладів вищої освіти, розроблення інноваційних моделей і методів моніторингу енергетичних ресурсів в умовах багатовекторного аналізу та комплексного підходу до вирішення питань оптимізації енергоспоживання і стратегічного управління енергозберігаючими процесами.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є підвищення результативності використання паливно-енергетичних ресурсів інфраструктурним комплексом освітньої установи шляхом удосконалення моделювальних механізмів у контексті системи управління енергоефективністю.

Для досягнення встановленої мети в дослідженні передбачено розв'язання наступних стратегічних завдань:

– здійснення комплексного аналізу вітчизняної та міжнародної нормативно-правової бази стандартизації у сфері енергетичної ефективності будівель, управління енергозберігаючими процесами, стану моніторингу енергетичних ресурсів для інфраструктурних будівель навчальних закладів, регулювання енергоспоживання тощо;

– формування багатофакторного простору показників, які детермінують ефективне споживання енергетичних ресурсів інфраструктурними об'єктами закладу вищої освіти;

– розроблення математично-статистичного інструментарію прогнозування споживання електроенергії інфраструктурним комплексом навчального закладу, проведення кластерної диференціації об’єктів за енерготехнологічними параметрами та створення інтегральних енергетичних характеристик для кожного кластерного угруповання;

– розроблення алгоритму стратегічного планування питомого енергоспоживання інфраструктурою закладу вищої освіти за однорідними кластерними групами на основі прогностичних моделей;

– розроблення методологічного підходу до ідентифікації пріоритетних напрямків енергозбереження та оптимізації черговості їх впровадження;

– розроблення комплексних моделей моніторингу енергетичних ресурсів у системі стратегічного управління енергоефективністю закладу вищої освіти.

Об'єкт дослідження – процес електроенергетичного споживання інфраструктурним комплексом освітньої установи.

Предмет дослідження – інноваційні моделі та інструментальні засоби енергетичного моніторингу й стратегічного управління енергозберігаючими процесами закладу вищої освіти.

Результати кваліфікаційної роботи становлять вагому практичну значущість для професійних спеціалістів у сфері енергозберігаючих технологій, експертів з енергетичного аудиту та комплексних енергосервісних рішень, а також для фахівців з управління енергетичними процесами і стратегічного менеджменту закладів вищої освіти.

РОЗДІЛ 1
ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ НОРМАТИВНОЇ ТА МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ Й ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Підвищення рівня раціональності використання ПЕР впродовж тривалого періоду залишається предметом наукових досліджень на різноманітних рівнях енергетичного використання. Значно розширилися масштаби та поглибилися дослідження у сфері енергозбереження, раціонального споживання паливно-енергетичних ресурсів, стратегічного управління енергозберігаючими процесами.

Впровадження системи інтегрованого управління енергоощадженням у вищих навчальних закладах є необхідним з наступних принципових причин:

– мінімізація споживання енергоносіїв та оптимізація фінансових витрат на їх забезпечення; – забезпечення збалансованого господарювання та підвищення рівня екологічної безпеки навколишнього середовища.

Одним з інноваційних інструментів оцінювання рівня ефективності споживання ПЕР, який набуває широкого розповсюдження у світовій практиці та активно впроваджується в українських реаліях, є енергетичний моніторинг. Цей підхід першочергово відображає динамічні зміни в енергоспоживанні під час реалізації заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності.

Методологічною базою проведення енергетичного моніторингу слугують математичні моделі та інструментальні засоби. При цьому рівень енергоефективності інфраструктурних об'єктів закладів вищої освіти детермінується комплексом факторів, зокрема: показниками теплоізоляції огороджувальних конструкцій, ступенем автоматизації інженерних систем тощо.

1.1. Комплексний аналіз нормативної бази стандартизації у сфері енергетичної ефективності будівель і стратегічного управління енергозберігаючими процесами

До ключових стратегічних пріоритетів державної політики нашої країни належить концепція раціональної енергоощадності. Термінологічна категорія «енергозбереження» з'явилася на початковому етапі 70-х років XX ст. Передумовою виникнення слугувала перша глобальна енергетична криза, яка змусила світову спільноту фундаментально переосмислити ефективність використання ПЕР.

Сучасна світова практика, розглядаючи проблематику енергетичної ефективності інфраструктурних об'єктів, концентрує пріоритетну увагу на теплоенергетичному та електроенергетичному споживанні. Це пояснюється тим, що саме ці складові формують основні витрати на енергетичні ресурси, а також презентують найбільший потенційний резерв для впровадження енергозберігаючих технологій.

Серед актуальних науково-практичних завдань, які потребують поглибленого дослідження, одним з пріоритетних напрямків є забезпечення системного управління процесами енергозбереження та раціоналізації енергоспоживання. Відповідно, подальший розвиток управлінських стратегій є неможливим без ґрунтовного вивчення, критичного аналізу та неухильного дотримання чинного законодавства в галузі енергоефективності.

Процеси нормування теплозахисту огороджувальних конструкцій будівельних споруд беруть початок з 1921 року. Впродовж тривалого періоду відбувалися суттєві трансформації, які безпосередньо корелювалися зі змінами технічного рівня будівельної галузі. До завершення 80-х років пріоритетну увагу концентрували на вартісних параметрах будівництва, тобто орієнтували стратегію на мінімізацію витрат будівельних матеріалів, нормування гігієнічних та безпекових показників, оптимізацію капітальних

інвестицій. Після переходу нашої країни до ринкової економічної моделі динаміка цін на енергоносії характеризується перманентним зростанням, що відповідає глобальним світовим тенденціям. У той же час, фактичні темпи підвищення рівня енергетичної ефективності інфраструктурних об'єктів у світовому та вітчизняному контекстах мають суттєві відмінності.

Однією з пріоритетних і перспективних галузей у контексті реалізації потенціалу енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності є освітня сфера. Специфічними характеристиками експлуатації будівель закладів вищої освіти слугують: безперервне перебування людських потоків у внутрішніх приміщеннях, наявність різнотехнологічного функціонального призначення та диверсифіковане споживання різних видів енергетичних ресурсів. При впровадженні енергозберігаючих заходів у освітніх установах необхідно забезпечити дотримання двох ключових умов: досягнення оптимальної енергоефективності та збереження комфортних умов внутрішнього середовища.

Термінологічні категорії «енергоефективність будівлі» та «класифікація будівельних об'єктів за показником енергоефективності» увійшли до нормативної термінології України з набуттям чинності державних будівельних норм (ДБН) В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель». Методологічною базою для визначення нормативних значень теплових навантажень об’єктів різного призначення в українському контексті слугують будівельні норми ДБН В 2.6–31.

Відповідно до чинних нормативних документів, з врахуванням кліматичних даних для населених пунктів визначаються розрахункові температурні параметри та обчислюється тривалість опалювального періоду, які використовуються для подальшого проектування інженерних систем.

Нормативи граничного споживання паливно-енергетичних ресурсів для інфраструктурних об'єктів закладів вищої освіти регламентуються спеціалізованими галузевими документами.

Упродовж періоду незалежності України відбувається безперервне реформування нормативно-правових документів задля максимального наближення до європейських стандартів та вимог розвинених країн. Особливо значущими нововведеннями є:

- Впровадження систем регулювання температури приміщень, що забезпечує зменшення енергоспоживання будівель орієнтовно до 18- 20%;
- Обов'язкове регулювання опалювальних систем залежно від погодних умов, яке дозволяє заощаджувати орієнтовно 10% ТЕ;
- Заміна неефективних елеваторних вузлів у теплових пунктах на сучасні насосні системи, зокрема з частотним регулюванням, що забезпечує економію близько 60% електроенергії на переміщення теплоносія;
- Розроблення спеціалізованих вимог до електроопалювальних систем з електронагрівальними приладами.

Таким чином, серед інженерних систем будівельних об'єктів на сучасному етапі лише опалювальні системи мають комплексне нормативне забезпечення з точки зору енергетичної ефективності.

На сучасному етапі в українських реаліях спостерігається недостатня методологічна розробленість оцінки енергетичної ефективності експлуатаційних систем енергозабезпечення та енергоспоживання інфраструктурних об'єктів, окрім опалювальних систем та нормативів до огороджувальних конструкцій. Відтак, потребують комплексної гармонізації відповідно до європейських норм методики підвищення ефективності енергозабезпечення об’єктів із застосуванням інструментального та/або розрахункового підходів.

Науковому дослідженню проблематики підвищення енергетичної ефективності будівель присвячені праці відомих українських науковців, зокрема:

- Г.Г. Фаренюка, роботи якого зосереджені на розробленні підходів до аналізування стану огороджувальних конструкцій будівель за енергоефективністю та фактичною тепловою надійністю;

- В.Ф. Гершковича, дослідження якого концентруються на створенні нових методик, методів та підходів до аналізування та оцінювання рівня ефективності енергоспоживання об’єктів;
- В.А. Маляренка, праці котрого присвячені комплексному аналізу та оптимізації фактичної форми й складу зовнішніх огороджувальних конструкцій будівельних об'єктів.

Управління процесами енергетичного споживання та заощадження в організаційних структурах визначається як енергетичний менеджмент. У 2010 році європейські країни впровадили стандарт у галузі енергетичного врядування EN 16001, подібні нормативні документи прийнято в Сполучених Штатах, Південній Кореї тощо.

Вітчизняне нормативне забезпечення в сфері енергетичного менеджменту представлене такими стандартами ДСТУ 4472:2005, ДСТУ 4715:2007 та ДСТУ 5077:2008. Методологічну основу побудови системи енергетичного управління складають принципи менеджменту якості продукції та екологічного адміністрування, викладені в міжнародних стандартах ISO, а також методологія створення автоматизованих систем управління. Українська нормативно-правова база з енергетичного менеджменту співвідноситься міжнародним стандартам, однак має виражену орієнтацію на виробничий сектор, недостатньо охоплюючи бюджетну сферу та освітні інституції.

Особливий інтерес становлять практичні напрацювання американських університетів, зокрема Техаського, Вірджинського, Мічиганського, Каліфорнійського та Прінстонського. Система енергетичного менеджменту Техаського університету має достатню розгалуженість в своїй організаційній структурі з двома ключовими напрямками: адміністративно-управлінським та технічного забезпечення енергетичних процесів.

Унікальною особливістю цієї моделі є наявність бізнес-аналітика у комунальній сфері, відповідального за диверсифікацію джерел енергопостачання. Профільний департамент охоплює широкий спектр

ресурсовикористання: від комунальних послуг і технічного обслуговування до моніторингу, аналізу, водопідготовки, утилізації відходів та розроблення спеціалізованого програмного забезпечення.

1.2. Характеристика системи енергетичного моніторингу в освітніх установах

На разі, сучасні технологічні можливості з підвищення енергоефективності інфраструктурних об’єктів навчальних закладів, зокрема оптимізації управління енергозбереженням та регулювання споживання, реалізуються вкрай обмежено. Рівень експлуатації інженерних систем та обладнання залишається критично низьким.

Попри наявність затверджених міністерством програм енергозбереження, управління цим напрямком має ситуативний характер. Заходи зі зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів виконуються нерегулярно, безсистемно, без належного контролю та глибокого аналізу результативності. Моніторинг енергоспоживання практично відсутній.

Специфіка управління енергозбереженням зумовлена особливостями освітніх будівель:

- Різноманітне технологічне призначення приміщень
- Варіативні режими функціонування
- Специфічний контингент споживачів
- Низький професійний рівень експлуатаційного персоналу
- Обмежена чисельність кадрів
- Відсутність спеціалізованої служби енергоменеджменту

Моніторинг енергоресурсів здійснюється примітивно, без аналізу ефективності. Це спричиняє необґрунтовано високі втрати через застарілі технології та недотримання експлуатаційних режимів.

На противагу вітчизняній практиці, європейські муніципалітети розглядають управління енергоспоживанням як інструмент не лише економії, але й покращення екологічних параметрів регіону.

Основним мотиватором впровадження системи енергоменеджменту є постійно зростаючі витрати на енергоносії. Сьогодні такі витрати посідають друге місце в бюджетних видатках після заробітної плати.

Значна частка ресурсів використовується нераціонально через морально застарілі технології, занадто низький рівень якості та підходів до експлуатації, а також власне відсутності ефективного управління процесами споживання.

Таблиця 1.1. Витрати коштів на спожиті енергоресурси у 2019 – 2021 роках (млн грн)

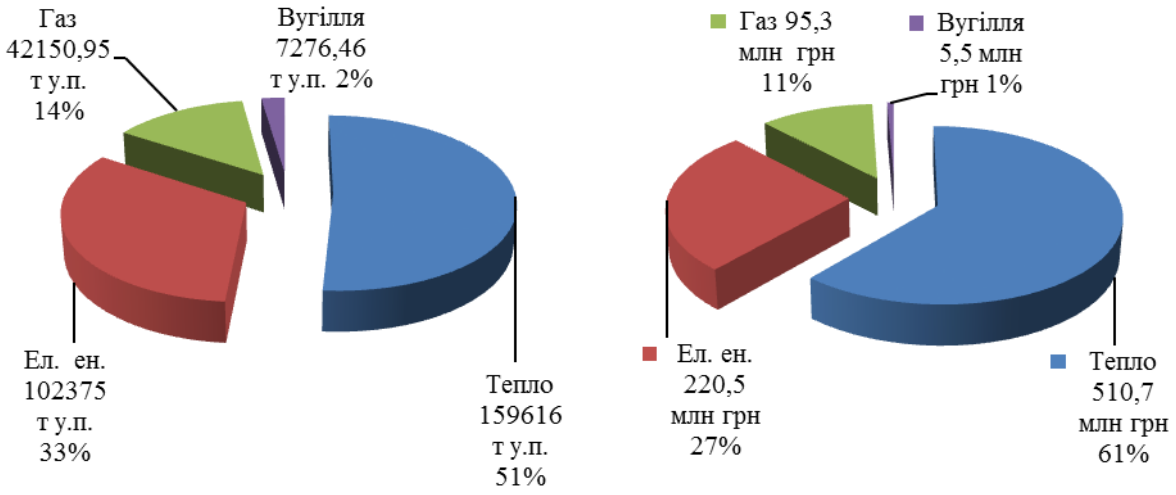
Статті видатків	2019		2020		2021	
	бюджет	фактичні	бюджет	фактичні	бюджет	фактичні
Постачання ТЕ	159,80	259,10	244,40	323,50	296,90	389,80
Водопостачання та водовідведення	44,50	79,00	57,10	78,00	63,80	91,10
Постачання ЕЕ	109,60	203,10	142,20	185,90	181,90	241,50
Газ природний	26,50	45,00	53,80	72,20	80,50	104,70
Ін. енергоносії	19,20	17,60	19,60	17,40	24,50	21,50
Разом	359,60	603,80	517,10	677,00	647,70	848,60

Енергоменеджмент визначено пріоритетним напрямком розвитку вищих навчальних закладів нашої країни. Такий вид управлінської діяльності базується на спеціальній політиці використання енергоресурсів, має власну структуру, відповідно й кадрове, інформаційне забезпечення тощо.

Орієнтовна кількість архітектурних об'єктів освітніх інституцій, підпорядкованих Міністерству освіти та науки, профінансованих з державного бюджету, складає 6523 структурні одиниці. Обсяги

енергетичного споживання освітніми спорудами безпосередньо залежать від їхнього функціонального призначення. Архітектурні комплекси закладів освіти диференціюються за призначенням на: навчальні приміщення, студентські резиденції, бібліотечні простори, адміністративно-господарські будівлі та харчові блоки.

Низка освітніх об'єктів не забезпечена приладами первинного обліку паливно-енергетичних ресурсів. Якість збирання статистичної інформації про енергоспоживання на рівні міністерства є недостатньою через: територіальну розгалуженість закладів, низьку професійну кваліфікацію технічного персоналу, недостовірність енергетичної звітності, обмеженість фінансових ресурсів та/або відсутність мотиваційних механізмів.



а) б)

Рисунок 1.1. Розподіл ресурсів, спожитих інфраструктурними об’єктами МОНУ (а), та (б) - значення фактичних витрат коштів на їх оплату у 2019 році

Сукупне споживання підвідомчими установами у 2019 році становило 311 418 умовних паливних одиниць. На рис.1.1 представлено структуру енергоресурсів за часткою споживання освітніми закладами впродовж 2019 року в натуральних та грошових показниках.

Статистичні дані про фактичне споживання електричної та теплової енергії технологічним університетом (м. Черкаси) за десятирічний період (2012-2022 років) представлені на рис. 1.2 та 1.3.

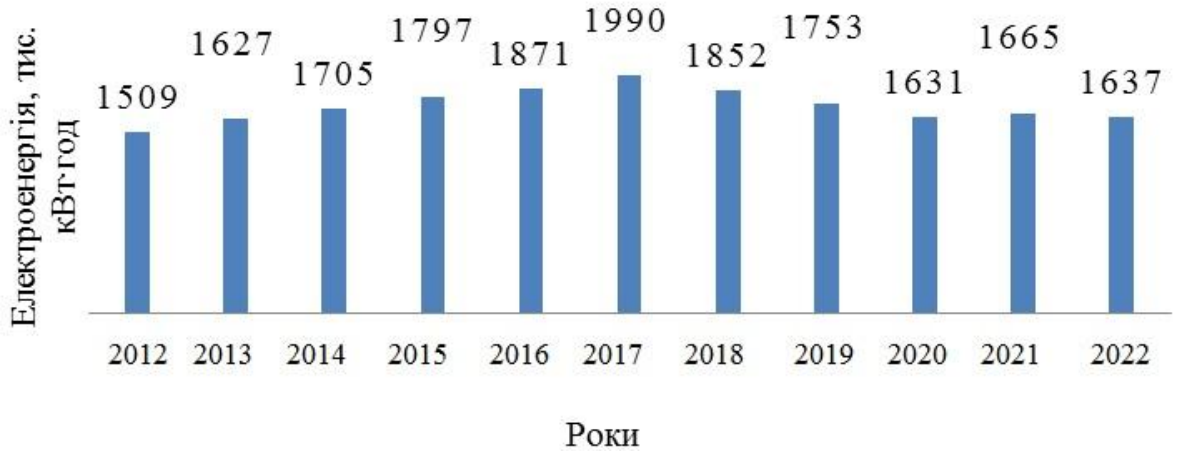


Рис. 1.2. Споживання ЕЕ

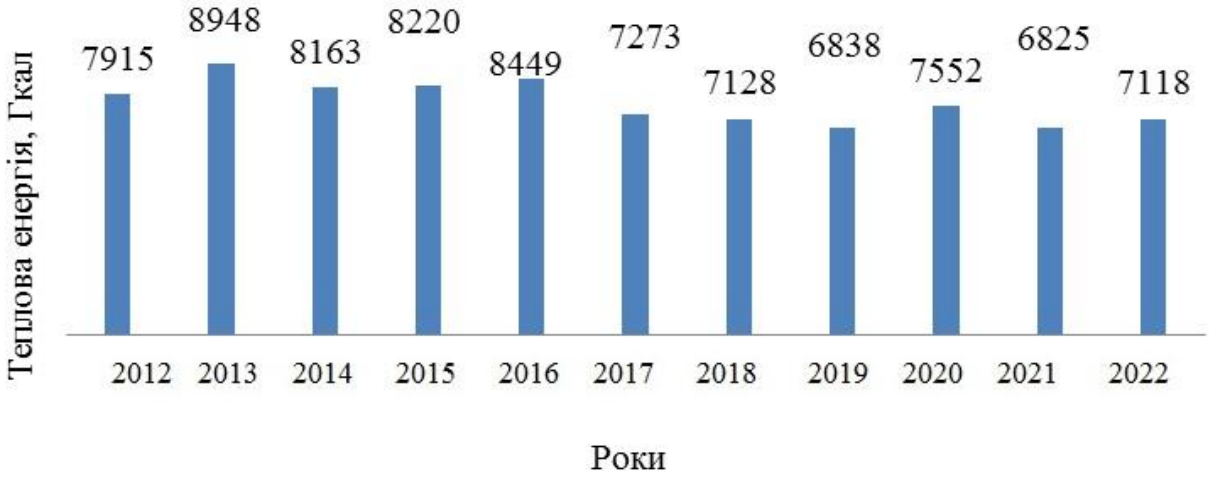


Рис. 1.3. Значення річного споживання ТЕ

Аналіз представлених гістограм демонструє, що електроенергетичне споживання до 2017 року мало стійку тенденцію до поступового збільшення, водночас теплоенергетичне навантаження було значно інтенсивнішим порівняно з наступними періодами. Таке явище зумовлене низкою об'єктивних факторів:

- Інтенсивне розширення переліку навчальних спеціальностей
- Збільшення кількісного складу персоналу
- Зростання студентського контингенту

- Розширення матеріально-технічної інфраструктури закладу

До 2017 року питанням енергозбереження приділялося недостатньо уваги. Принципово важливі зміни розпочалися з активізації роботи щодо розроблення та впровадження організаційно-технологічних трансформацій, спрямованих на оптимізацію витрат паливно-енергетичних ресурсів без погіршення якості освітнього процесу.

Ключовим напрямком підвищення ефективності теплоенергетичного споживання стало поетапне обладнання систем опалення навчальних корпусів і студентських гуртожитків автоматизованими управляючими системами з температурною компенсацією залежно від зовнішніх кліматичних умов.

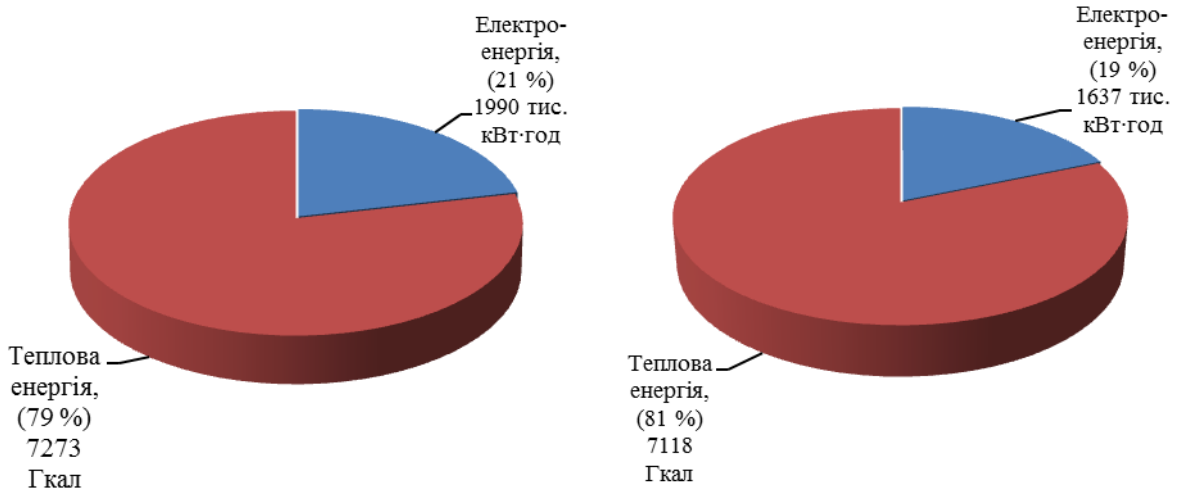
Зменшення електроенергетичного навантаження реалізовувалося через впровадження заходів, розроблених експлуатаційно-технічним підрозділом на підставі теоретичних розрахунків та науково-методичних рекомендацій.

Результатом цілеспрямованої роботи з підвищення ефективності використання ПЕР стало:

- Скорочення теплоенергетичного споживання на 27%;

- Зменшення електроенергетичного навантаження на 21%.

Показники (рис. 1.4) наведено з урахуванням температурних режимів зовнішнього середовища та приведено до умов 2017 року.



а) б)

Рис. 1.4. Діаграми споживання ПЕР: а) 2017 рік, б) 2022 рік

Діаграми на рис.1.4 демонструють, що зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів у 2022-му порівняно з попереднім періодом практично не вплинуло на структуру енергоносіїв. Представлені ілюстрації послідовно показують, що діяльність з енергозбереження в навчальному закладі після визначального року набула систематичного характеру, однак через брак науково розроблених методологічних підходів ефективність управління залишається складною для однозначної оцінки.

Механізм регулювання енергетичного споживання повинен інтегрувати комплексні завдання, які охоплюють: моніторинг енергоспоживання та параметрів комфортності, прогнозування фінансових витрат на придбання енергоресурсів, розробку та виконання договірних зобов'язань з постачання енергії, оптимізацію експлуатації різних об'єктів нерухомості, впровадження енергоефективних технологій проектування, модернізацію інфраструктури, а також залучення інвестиційних ресурсів.

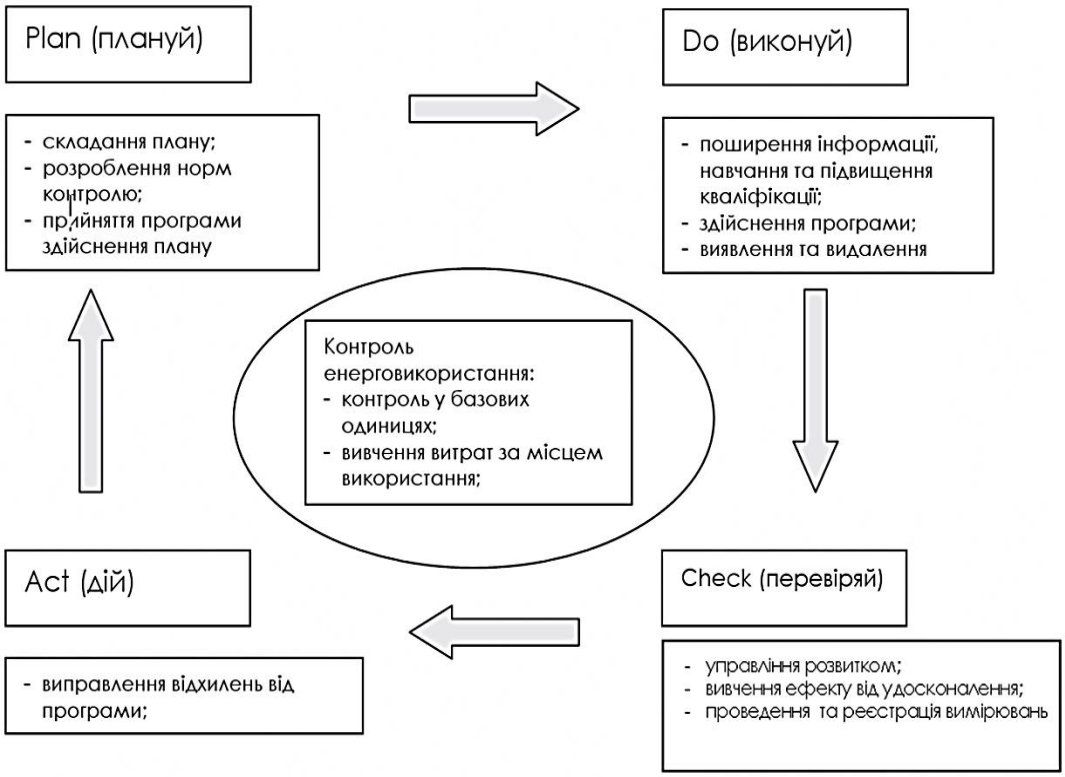


Рис. 1.4. Концептуальна модель адміністрування енергетичними ресурсами (цикл Демінга)

Управлінські механізми реалізують послідовний алгоритм безперервного зворотного контролю, призначений для забезпечення можливості керівної ланки ідентифікувати та трансформувати критичні структурні компоненти, які потребують оптимізації та вдосконалення.

1.3. Дослідження особливостей енергетичного споживання навчальних закладів

Енергетичне забезпечення навчальних установ у сучасному контексті вимагає принципово нового підходу до раціонального використання ресурсів, де ключового значення набуває проблематика оптимізації електроспоживання. Встановлення потенційних резервів економії на базі детального аналізу питомих витрат електроенергії набуває критичного значення, особливо з огляду на суттєві можливості для ресурсозбереження.

У результаті впровадження цільових енергоощадних стратегій в академічних приміщеннях можливо досягти відчутного зниження рівня сукупного енергоспоживання.

Для освітніх інституцій можна диференціювати три принципові напрямки ресурсної оптимізації. Первинний передбачає безпосередню мінімізацію нераціональних витрат без суттєвих фінансових інвестицій. Наступний вектор орієнтований на впровадження технологічних та організаційних трансформацій, які потребують помірних капіталовкладень з швидким терміном окупності (2-4 роки). Заключний напрямок характеризується масштабною технологічною реконструкцією та значними капітальними інвестиціями.

У сучасних реаліях домінують задачі, безпосередньо пов'язані з реалізацією перших двох стратегічних компонентів економії паливно-енергетичних ресурсів. Причому другий напрямок спроможен забезпечити приблизно 9-12% сукупного зниження енергоспоживання. Редукцію енергетичних витрат в академічному середовищі можливо реалізувати через впровадження науково обґрунтованих нормативів споживання ресурсів.

Прогнозування показників енергетичного споживання в освітніх установах має стратегічне значення для оптимізації ресурсної ефективності. Науково верифіковані нормативи слугують потужним інструментом для впровадження інноваційних технологічних рішень, забезпечення максимальної утилізації технічного устаткування та мінімізації енергетичних втрат.

Як наслідок, такий підхід сприяє підвищенню загальної продуктивності праці, вдосконаленню механізмів управління енергетичними потоками, раціоналізації експлуатації інженерної інфраструктури, а також суттєвому зниженню питомих витрат на забезпечення освітнього процесу в розрахунку на одного студента.

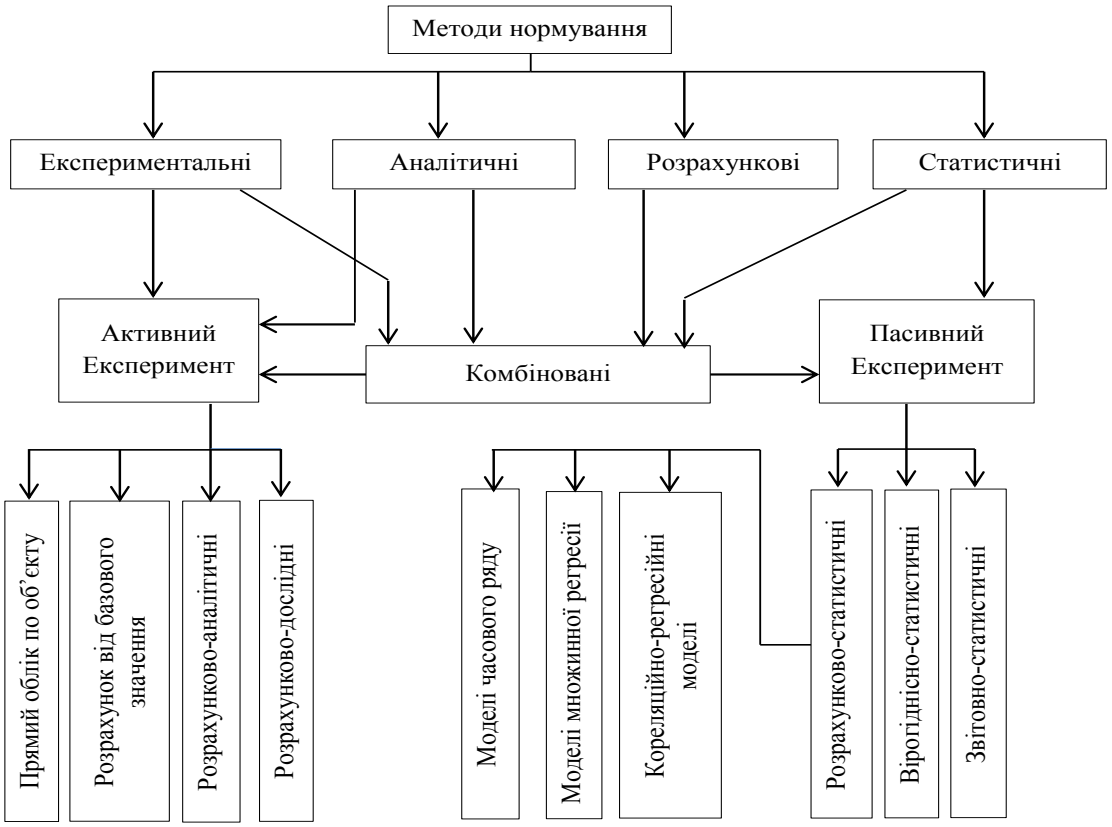


Рис.1.6. Систематизація наукових підходів до визначення нормативів енергоспоживання

Прогнозування показників енергетичного споживання в освітніх установах має стратегічне значення для оптимізації ресурсної ефективності. Науково верифіковані нормативи слугують потужним інструментом для

впровадження інноваційних технологічних рішень, забезпечення максимальної утилізації технічного устаткування та мінімізації енергетичних втрат.

Як наслідок, такий підхід сприяє підвищенню загальної продуктивності праці, вдосконаленню механізмів управління енергетичними потоками, раціоналізації експлуатації інженерної інфраструктури, а також суттєвому зниженню питомих витрат на забезпечення освітнього процесу в розрахунку на одного здобувача.

Норматив споживання енергетичного ресурсу становить визначальний якісний індикатор його використання, де витрачені ресурси співвідносяться з кінцевими результатами надання послуг. При цьому необхідно враховувати всі безпосередні витрати енергоресурсів на забезпечення послуг, включаючи непродуктивні втрати та допоміжні витрати.

Науковий простір пропонує диверсифіковані підходи до трактування норм споживання паливно-енергетичних ресурсів. Одне з класичних визначень характеризує питому норму витрати як «обсяг енергетичного ресурсу, який є необхідним і достатнім для продукування одиниці робочого навантаження за прогресивних умов виробничої діяльності та експлуатації технічного обладнання». Альтернативне тлумачення інтерпретує норму як «максимально припустиму величину енергетичних витрат для виробництва уніфікованої продукційної одиниці встановленої якості».

Водночас сучасні дослідження вказують на певну обмеженість таких формулювань, оскільки вони не повною мірою відображають комплексне значення показника в стратегічному плануванні. Більш прогресивним уважається визначення: «Норма витрати паливних, теплових та електричних ресурсів – плановий індикатор споживання ресурсів при виробництві одиниці продукції визначеної якості».

Ґрунтуючись на сучасних методологічних підходах до оцінювання питомого енергоспоживання в промисловому та бюджетному секторах,

запропоновано комплексну класифікацію норм витрати енергетичних ресурсів.

Нормативи питомого енергетичного споживання слугують методологічним фундаментом прогнозування енергоресурсів для освітніх інституцій, де ефективність і реалістичність стратегічного планування безпосередньо корелюють з науковою обґрунтованістю встановлених показників споживання. Визначальним системотворчим компонентом нормування в академічному середовищі, який характеризує глибину та точність методологічного підходу, є mechanism розроблення нормативів, тобто науково верифікований спосіб ідентифікації технічно виправданих витрат енергетичних ресурсів у процесі надання освітніх послуг.

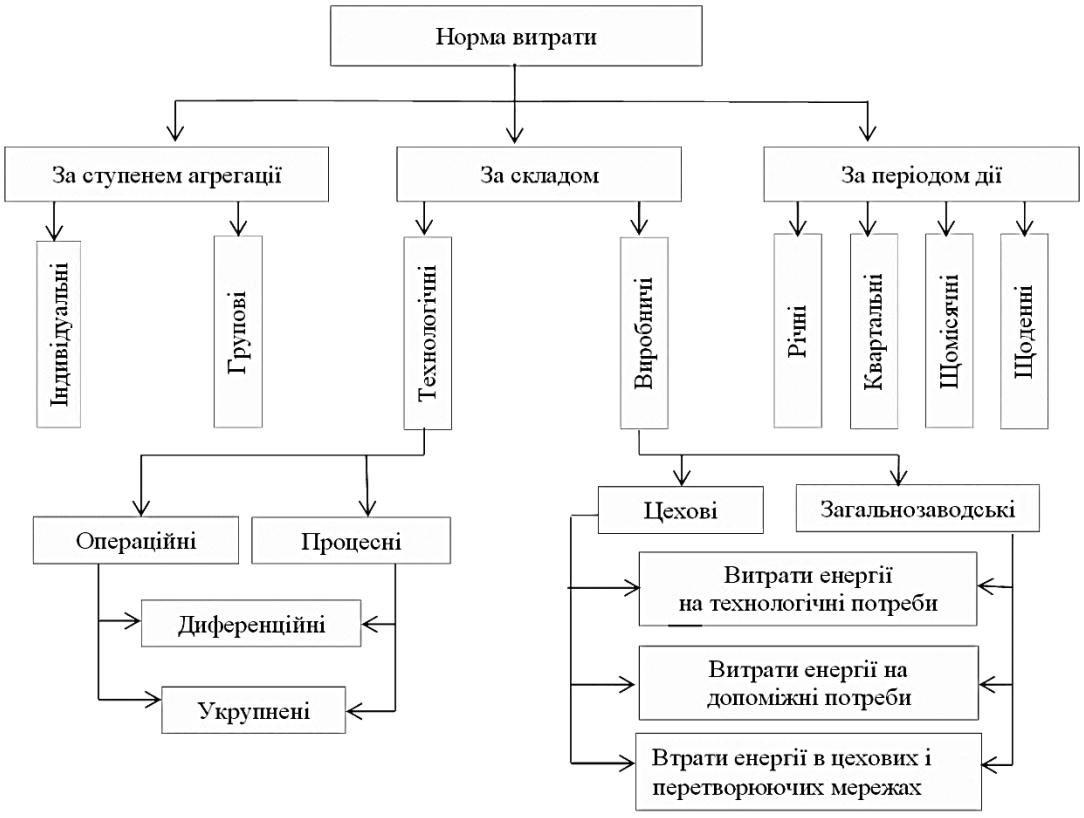


Рис. 1.7. Категоризація питомих норм витрати енергії

Висновки до розділу 1

1. Критичний аналіз нормативного забезпечення у сфері енергозбереження демонструє, що в українських реаліях наявні методологічні прогалини стосовно комплексної оцінки енергетичної ефективності експлуатаційних систем забезпечення та споживання ресурсів будівельних об'єктів, за винятком опалювальних механізмів та вимог до огороджувальних конструкцій.

2. Поточний стан енергозбереження в освітніх установах вимагає системного вирішення проблеми оптимізації енергоспоживання, що передбачає впровадження інноваційних моделей та інструментів енергетичного моніторингу, застосування інтегрованого підходу та сукупності організаційно-технологічних перетворень.

3. Дослідження наукових праць, присвячених ефективності використання ПЕР вищими навчальними закладами, засвідчує стратегічну важливість цього питання на державному рівні та його зростаючу актуальність в контексті глобальної тенденції підвищення вартості енергоносіїв.

4. При оцінюванні результативності впровадження енергоощадних стратегій принципово важливо спиратися на науково верифіковані питомі нормативи витрат паливно-енергетичних ресурсів, індивідуально розраховані для бюджетних установ України з урахуванням специфіки їхніх нестабільних режимів функціонування.

5. Здійснення попередньої класифікації однотипних об'єктів за їхніми енерготехнологічними характеристиками, що уможливить коректне їх нормування, додатково дозволить підвищити рівень застосування науково обґрунтованих норм енергоспоживання.

РОЗДІЛ 2
ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

2.1. Фактори формування енергетичних характеристик будівель обєктів вищої освіти

Принциповими критеріями при розробці енергетичної характеристики, яка максимально точно відображає процеси споживання електроресурсів у навчальному комплексі, є елімінація надлишкових факторів, що створюють додаткове математичне навантаження на обчислювальні алгоритми, та верифікація їхньої придатності для статистичного аналізу.

У практичній площині для освітніх інфраструктурних об'єктів притаманна варіативність вхідних (прогнозованих) та вихідних (фактичних) параметрів. Зокрема, планова середньостатистична чисельність студентів у навчальних корпусах або гуртожитках часто демонструє розбіжності з реальною наповнюваністю. Аналогічним чином проектне завантаження лабораторного устаткування та систем освітлення не завжди корелює з фактичними показниками використання.

Такі відхилення мають двовекторний характер: можуть відбуватися як у напрямку збільшення, так і зменшення значень досліджуваних параметрів.

Енергетична характеристика будівель ВНЗ є регресійною залежністю споживаної енергії від впливу різних чинників. Визначення цих чинників для створення енергетичних параметрів будівель ВНЗ, з огляду на особливості їх експлуатації та різноманітність технологічного обладнання, потребує подальших досліджень. Отже, основним завданням формування енергетичної характеристики електроспоживання будівель будь-якого вищого навчального закладу є виявлення ключових параметрів, що безпосередньо впливають на споживання ЕЕ та ЕЕ, а також побудова регресійної моделі енергетичних витрат.

2.2. Створення факторного середовища параметрів, що визначають ефективність використання енергетичних ресурсів в будівлях навчальних закладів

З метою структуризації факторного середовища параметрів, котрі визначають динаміку енергоспоживання в освітніх установах, було сформовано експертну групу висококваліфікованих фахівців у сфері паливно-енергетичного комплексу (табл. 2.1), до складу якої увійшли провідні спеціалісти.

Таблиця 2.1 Дані щодо експертів, що приймали участь в опитуванні

№ з/п	Посада на момент проведення експертизи	Здобута кваліфікація відповідно до диплому	Термін роботи у енергетичній сфері
1.	Технічний директор ПАТ “Кіровоградобленерго”	Інженер-електрик	26 років
2.	Начальник інспекції Держенергонагляду в Кіровоградській області	Інженер-електрик	42 роки
3.	Начальник Кіровоградського територіального представництва НКРЕ	Інженер-електрик	25 років
4.	Начальник оперативно-диспетчерської служби ПАТ “Кіровоградобленерго”	Інженер-електрик	29 років
5.	Начальник служби підстанцій ПАТ “Кіровоградобленерго”	Інженер-електрик	23 роки
6.	Начальник служби розподільчих мереж ПАТ “Кіровоградобленерго”	Інженер-електрик	29 років
7.	Начальник Бобринецького РЕМ	Інженер-електрик	16 років
8.	Заступник головного інженера Олександрійського РЕМ	Інженер-електрик	14 років
9.	Головний інженер Новоархангельського РЕМ	Інженер-електрик	21 рік
10.	Диспетчер Новомиргородського РЕМ	Інженер-електрик	17 років

Дослідження із залученням експертної групи реалізовували послідовно в два методологічних етапи. Для кожного було розроблено спеціалізовані інструменти опитування з чітко визначеними завданнями. На первинному етапі передбачалося здійснити агрегацію показників через встановлення функціональних взаємозв'язків або групування за подібними характеристиками, які пропонувалося позначити символічними кодами A1, A2, ..., An.

На основі наявної сукупності енерготехнологічних параметрів будівель технологічного університету було сформовано спеціальний опитувальний інструментарій для експертного оцінювання (табл. 2.2).

За підсумками проведеного дослідження фахівці одноголосно підтвердили функціональну взаємопов'язаність таких показників, як R_0, $R_{пер}$, $R_{пок}$, $R_в$, $R_д$ та відповідних площинних характеристик $S_{стін}$, $S_{пер}$, $S_{пок}$, $S_в$, $S_д$, що корелюють за формулою визначення базових тепловтрат через огороджувальні конструкції будівлі:

$$Q = S \cdot \frac{1}{R_0} \cdot (t_в - t_н) \cdot n, \qquad (2.1)$$

де S – позначає сукупну площу огороджувальних елементів; R_0 – представляє нормалізований термічний опір теплопередачі конструктивних площин; $t_в$ – характеризує температурний режим внутрішнього середовища; $t_н$ – відображає температурні параметри зовнішнього простору; n – слугує понижувальним коефіцієнтом для калькуляції тепловтрат через різноманітні огороджувальні структури. Зазначені параметри утворюють функціональну взаємозалежність через інтегральний показник $Q_{роз}$, що репрезентує сумарні теплові втрати крізь огороджувальні конструкції будівлі.

Таблиця 2.2. Перелік виокремлених енерготехнологічних параметрів

№ з/п	Найменування параметру	Умовне позначення
1	2	3
1	Поверховість будівлі	L
2	Висота поверху	$H_{\text{поверху}}$, м
3	Висота будівлі	$H_{\text{буд}}$, м
4	Площа підвалу	$S_{\text{підвалу}}$, кв. м
5	Висота підвалу	$H_{\text{підвалу}}$, м
6	Висота поверху	$H_{\text{пов 1}}$, м
7	Об’єм технічного поверху	$V_{\text{тех. поверху}}$, куб. м
8	Загальна висота техн. поверху	$H_{\text{тех. пов}}$, м
9	Об’єм підвалу	$V_{\text{підвалу}}$, куб. м
10	Загальна площа приміщень будівлі	$S_{\text{буд}}$, кв. м
11	Площа технічного поверху	$S_{\text{тех. поверху}}$, кв. м
12	Корисна площа будівлі	$S_{\text{кор}}$, кв. м
13	Загальна площа перекриття будівлі	$S_{\text{пер}}$, кв. м
14	Загальна площа огороджувальних конструкцій	$S_{\text{констр}}$, кв. м
15	Загальна площа скління конструкцій	$S_{\text{в}}$, кв. м
16	Площа зовнішніх дверей	$S_{\text{.д}}$, кв. м
17	Загальна площа стін	$S_{\text{стін}}$, кв. м
18	Будівельний об’єм будівлі	$V_{\text{буд}}$, куб. м
19	Загальна площа покриття	$S_{\text{пок}}$, кв. м
20	Приведений опір теплопередачі зовн. стін	R_0, кв. м·год·°C/ккал
21	Опалювальний об’єм будівлі	$V_{\text{оп}}$, куб. м
22	Граничні норми витрат ТЕ	$Q_{\text{норм}}$, Гкал/рік
23	Приведена теплопровідність дверей	1/R, ккал/кв. м·год·°C
24	Приведений опір теплопередачі дверей	$R_{\text{д}}$, кв. м·год·°C/ккал
25	Приведена теплопровідність вікон	1/$R_{\text{в}}$, ккал/кв. м·год·°C
26	Приведений опір теплопередачі перекриття	$R_{\text{пер}}$, кв. м·год·°C/ккал
27	Приведена теплопровідність зовнішніх стін	1/R_0, ккал/кв. м·год·°C
28	Приведена теплопровідність перекриття	1/$R_{\text{пер}}$, ккал/кв. м·год·°C
29	Приведена теплопровідність покриття	1/$R_{\text{пок}}$, ккал/кв. м·год·°C
30	Приведений опір теплопередачі покриття	$R_{\text{пок}}$, кв. м·год·°C/ккал

Продовження табл. 2.2

1	2	3
31	Кількість робочих місць обслуговуючого персоналу	*KOP*
32	Приведений опір теплопередачі вікон	$R_в$, кв. м·год·°*C*/ккал
33	Кількість л-м у гуртожитку	*KLM*
34	Фактичні витрати ТЕ	$Q_ф$, Гкал/рік
35	Кількість посадкових місць для здобувачів	*KPM*
36	Тепловтрати через огороджувальні конструкції	$Q_{роз}$, Гкал/рік
37	Кількість місць для занять у спортивній залі	$KV_{сз}$
38	Фактичне використання ЕЕ, кВт·год/рік	$W_ф$
39	Кількість НПП	*KPVS*

Таблиця 2.3. Значення розрахункових енерготехнологічних параметрів об’єктів

Умовне позн.	Номер корпусу						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
$H_{буд}$	33,00	14,50	7,70	18,60	5,350	8,0	7,0
L	9,0	4,0	0,0	4,0	2,0	2,0	1,0
$H_{поверху}$	2,90	3,30	0,0	3,30	2,50	3,0	7,0
$H_{поверху\ 1}$	3,670	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$S_{підвалу}$	1786,30	0,0	0,0	860,95	0,0	91,850	843,90
$V_{підвалу}$	7502,45	0,0	0,0	1635,7	0,0	275,56	2531,6
$H_{підвалу}$	4,21	0,0	0,0	1,92	0,0	3,0	3,0
$S_{тех.\ поверху}$	828,90	0,0	0,0	549,0	0,0	0,0	0,0
$V_{тех.\ поверху}$	1574,92	0,0	0,0	1043,2	0,0	0,0	0,0
$H_{тех.\ поверху}$	1,90	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0
$S_{буд}$	10592,2	8300,70	2223,90	8287,5	1176,0	1051,34	1979,1
$S_{кор}$	9420,8	7943,40	2210,30	6630,0	1116,0	752,94	1935,1
$S_{констр}$	10024,6	11563,8	3820,40	15020,6	2046,54	1769,22	3140,97
$S_{стін}$	3481,42	4601,70	888,610	4006,17	524,43	621,78	863,33
$S_{пер}$	2167,94	2756,50	1252,30	4989,0	649,72	495,8	1045,1
$S_{пок}$	2120,94	2756,50	1252,30	4989,0	649,71	495,8	1045,1
$S_в$	2217,41	1401,62	419,08	994,51	197,02	145,1	176,60
$S_{.д}$	36,80	47,512	8,10	42,2	25,62	10,64	10,70
$V_{буд}$	45682,0	40708	9998,0	39500,0	3800,0	5628	12420,0
$V_{оп}$	44107,0	40708	9643,0	368212	3573,4	3026,40	12420,0

Продовження табл.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
R_0	1,250	1,130	1,130	1,250	1,250	1,130	1,250
$1/R_0$	0,80	0,880	0,880	0,80	0,80	0,880	0,80
$R_{\text{пер}}$	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
$1/R_{\text{пер}}$	0,920	0,920	0,920	0,920	0,920	0,920	0,920
$R_{\text{пок}}$	1,530	1,530	1,530	1,530	1,530	1,530	1,530
$1/R_{\text{пок}}$	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650
$R_{\text{в}}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
$1/R_{\text{в}}$	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
$R_{\text{д}}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
$1/R$	2,50	2,50	2,50	2,5	2,50	2,50	2,50
$Q_{\text{роз}}$	1087,85	1429,03	458,690	1656,48	247,830	219,080	378,470
$Q_{\text{норм}}$	1562,61	1392,52	342,0	1351,15	155,980	214,480	473,40
$Q_{\text{ф}}$	1184,03	927,89	248,60	926,420	123,80	143,730	220,87
$W_{\text{ф}}$	268081	213061	74721,0	130640	22731,0	25880,0	23460,0
KPM	900,0	880,0	510,0	1500,0	290,0	0,0	0,0
KPVS	199,0	180,0	19,0	69,0	16,0	0,0	16,0
KOP	86,0	122,0	6,0	24,0	13,0	8,0	9,00
KLM	0,0	0,0	0,0	0,000	0,00	0,0	0,00
$KV_{\text{сз}}$	0,0	0,0	0,0	0,000	0,00	42,0	75,0

Такі визначальні параметри, як чисельність студентських місць (*KPM*), кількість робочих позицій професорсько-викладацького складу (*KPVS*), чисельність службового персоналу (*KOP*), місткість гуртожитку (*KLM*), потенціал спортивної зали (*KV*сз) потребують інтеграції в узагальнений показник – середньостатистичну чисельність осіб, які можуть одночасно перебувати в приміщенні (*KL*).

Підсумком першого етапу експертного дослідження стало редукування енерготехнологічних параметрів освітніх споруд удвічі, що створило методологічне підґрунтя для формування опитувального інструментарію наступного етапу.

Таблиця 2.4. Зведений опитувальний лист

	Наймену вання фактора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сума рангі в, S_i	Значення відхилення	Квадрат відхилення від середньоарифме тичного	Ранг фактора
1	$H_{буд}$	13,0	11,0	10,0	11,0	10,0	12,0	9,0	9,0	9,0	10,0	104,0	19,0	361,0	0,760
2	L	12,0	13,0	12,0	9,0	12,0	11,0	10,0	10,0	10,0	9,0	108,0	23,0	529,0	0,790
3	$H_{поверху}$	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	4,0	2,0	3,0	3,0	2,0	25,0	-60,0	3600,0	0,180
4	$H_{поверху\ 1}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	-75,0	5625,0	0,070
5	$S_{підвалу}$	3,0	4,0	5,0	4,0	8,0	2,0	3,0	7,0	7,0	7,0	50,0	-35,0	1225,0	0,370
6	$V_{підвалу}$	4,0	3,0	8,0	2,0	4,0	3,0	4,0	4,0	6,0	4,0	42,0	-43,0	1849,0	0,310
7	$H_{підвалу}$	5,0	6,0	3,0	8,0	6,0	6,0	6,0	2,0	5,0	6,0	53,0	-32,0	1024,0	0,390
8	$S_{тех.\ пов}$	6,0	5,0	4,0	5,00	3,0	8,00	8,0	6,00	4,0	5,00	54,0	-31,0	961,0	0,400
9	$V_{тех.\ пов}$	7,0	8,0	7,0	6,00	5,0	7,00	5,00	8,00	2,00	8,00	63,00	-22,0	484,0	0,460
10	$H_{тех.\ пов}$	8,0	7,00	6,00	7,00	7,00	5,00	7,0	5,00	8,00	3,00	63,00	-22,0	484,0	0,460
11	$S_{буд}$	14,0	14,0	16,0	15,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	14,0	152,0	67,0	4489,0	1,120
12	$S_{кор}$	9,0	16,0	9,0	10,0	11,0	9,0	11,0	12,0	12,0	12,0	111,0	26,0	676,0	0,820
13	$S_{констр}$	10,0	10,0	14,0	13,0	13,0	10,0	12,0	11,0	11,0	11,0	115,0	30,0	900,0	0,850
14	$V_{буд}$	15,0	15,0	11,0	16,0	15,0	14,0	15,0	15,0	14,0	15,0	145,0	60,0	3600,0	1,070
15	$V_{оп}$	11,0	12,0	13,0	12,0	9,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	122,0	37,0	1369,0	0,900
16	KL	16,0	9,0	15,0	14,0	14,0	16,0	14,0	14,0	15,0	16,0	143,0	58,0	3364,0	1,050

На другому етапі фахівцям делегували завдання здійснити кваліметричну оцінку значущості енерготехнологічних параметрів, які впливають на електроспоживання освітніх інституцій, застосувавши шістнадцятибальну шкалу ранжування з визначенням вагових коефіцієнтів. Встановлено, що мінімально впливовому параметру присвоюється 1 бал, максимально впливовому – 16 балів. Критерієм консолідованості експертних суджень обрано коефіцієнт конкордації.

Подальше оброблення результатів опитування здійснювали за послідовним алгоритмом, що включав сім концептуальних кроків:

- визначення сумарних рангів обчислення середньоарифметичних значень:

$$S_i = \sum_{i=1}^{m} R_{ij}, \tag{2.2}$$

$$\overline{S} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_j, \tag{2.3}$$

- ідентифікацію девіацій:

$$\Delta S = S_i - \overline{S}; \tag{2.4}$$

- квадратування відхилень:

$$\Delta S^2 = (S_i - \overline{S})^2; \tag{2.5}$$

- ранжування параметрів за розрахованим значенням рангу:

-

$$R_n = \frac{S_i}{S_{i\,max}}; \tag{2.6}$$

- розрахунок вагових коефіцієнтів:

$$R_в = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_j} \cdot 100; \quad (2.7)$$

- встановлення міри узгодженості експертних думок:

$$W = \frac{12 \cdot \Delta S^2}{m^2 \cdot (n^3 - n)}. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт конкордації може варіюватися від 0 (за повної відсутності консенсусу) до 1 (за абсолютної одностайності суджень).

Результати експертизи представлено в табл.2.4, а фрагмент опрацювання проміжних результатів відображено в табл. 2.5.

Калькуляція коефіцієнта конкордації у представленому дослідженні демонструє W = 0,9, що беззаперечно підтверджує високий рівень консолідованості експертних позицій.

Для верифікації статистичної значущості коефіцієнта конкордації застосовано критерій Пірсона $\chi 2$, який обчислюється за спеціальною формулою:

$$\chi^2_{розр} = W \cdot m \cdot (n-1) \quad (2.9)$$

та порівнюється з табличним значенням. За обраного рівня α = 0,05 та відповідно значення ступеня свободи 15, порівнявши розрахункове значення з критичним показником $\chi 2$ = 25, формулюємо висновок щодо коректності результатів ранжування.

Результати дослідження відображено на рис. 2.1. З метою ідентифікації експерта з найбільш дивергентною думкою щодо об'єкта експертизи проведено поглиблений аналіз експертних суджень через метод ієрархічної

класифікації, детальну характеристику якого буде представлено в наступному розділі.

Таблиця 2.6 – Підсумкові результати експертного оцінювання

№ з/п	Найменування фактора	1	⋮	10	Сума рангів, S_i	$\Delta S = S_i - \overline{S}$	ΔS^2	Ранг фактора
1	$H_{буд}$	13,0	...	10,0	104,0	19,0	361,0	0,760
2	L	12,0	...	9,0	108,0	23,0	529,0	0,790
3	$H_{поверху}$	2,0	...	2,0	25,0	-60,0	3600,0	0,180
4	$H_{поверху\ 1}$	1,0	...	1,0	10,0	-75,0	5625,0	0,070
5	$S_{підвалу}$	3,0	...	7,0	50,0	-35,0	1225,0	0,370
6	$V_{підвалу}$	4,0	...	4,0	42,0	-43,0	1849,0	0,310
7	$H_{підвалу}$	5,0	...	6,0	53,0	-32,0	1024,0	0,390
8	$S_{тех.\ пов}$	6,0	...	5,0	54,0	-31,0	961,0	0,400
9	$V_{тех.\ пов}$	7,0	...	8,0	63,0	-22,0	484,0	0,460
10	$H_{тех.\ пов}$	8,0	...	3,0	63,0	-22,0	484,0	0,460
11	$S_{буд}$	14,0	...	14,0	152,0	67,0	4489,0	1,120
12	$S_{кор}$	9,0	...	12,0	111,0	26,0	676,0	0,820
13	$S_{констр}$	10,0	...	11,0	115,0	30,0	900,0	0,850
14	$V_{буд}$	15,0	...	15,0	145,0	60,0	3600,0	1,070
15	$V_{оп}$	11,0	...	13,0	122,0	37,0	1369,0	0,900
16	KL	16,0	...	16,0	143,0	58,0	3364,0	1,050

Графічний аналіз демонструє, що найнижчий рівень узгодженості притаманний експертові під номером два. Відповідно, за необхідності проведення наступних експертних досліджень з подібної проблематики рекомендовано виключити цього фахівця з метою підвищення якості експертного оцінювання.

За результатами другого етапу експертного дослідження виокремлено параметри з вагомістю впливу понад 7 балів, котрі становлять базисні фактори впливу на споживання паливно-енергетичних ресурсів (представлені в табл. 2.7). Решті факторів присвоєно відповідні математичні позначення. Залучення цих параметрів уможливлює формування енергетичної характеристики освітнього об'єкта, однак для розбудови вдосконаленої моделі потрібно провести поглиблене вивчення зазначених факторів.

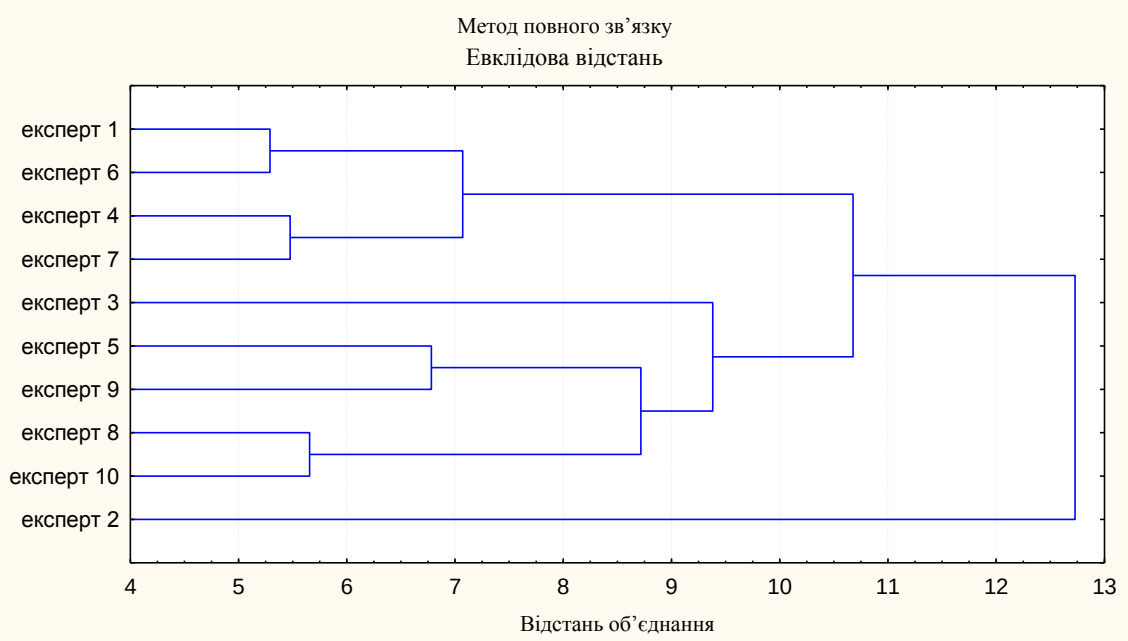


Рис. 2.1. Дендрограма узгодженості думок експертів

Аналіз табл. 2.6 засвідчує, що представлений перелік факторів потенційно впливає як на електроспоживання, так і на теплоенергетичне забезпечення.

З огляду на це, доцільним вбачається застосування методу декомпозиції для диференціації факторів на дві групи: ті, що дотичні до електроспоживання, та ті, які визначають теплоенергетичне навантаження.

Подальше дослідження здійснювалося за диверсифікованими напрямками споживання енергетичних ресурсів у будівлях навчальних закладів.

З метою коригування показників використаних енергетичних ресурсів відповідно до температурних коливань зовнішнього середовища застосовують концепцію визначення градусо-діб опалювального періоду (ГДОП). Цей методологічний підхід надає можливість співставляти витрати теплової енергії на опалення навчальних приміщень та формулювати об'єктивну оцінку споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Таблиця 2.6 – Обрані найвпливовіші енерготехнологічні параметри

№ з/п	Найменування фактору	Мат. Позн.	Ум. Позн.
1	Опалювальний об’єм, куб. м	X_8	$V_{\text{оп}}$
2	Будівельний об’єм, куб. м	X_7	$V_{\text{буд}}$
3	Загальна площа огор. конструкцій, кв. м	X_6	$S_{\text{кон стр}}$
4	Загальна площа приміщень, кв. м	X_5	$S_{\text{буд}}$
5	Середньорозрахункова к-ть людей, осіб	X_4	KL
6	Корисна площа, кв. м	X_3	$S_{\text{кор}}$
7	Поверховість	X_2	L
8	Висота, м	X_1	$H_{\text{буд}}$

Величину ГГОП, згідно з нормативними документами теплотехнічного призначення, розраховують за спеціальною формулою, де враховують усереднену розрахункову температуру внутрішніх просторів опалюваних приміщень, середню температуру зовнішнього повітря впродовж опалювального сезону та тривалість періоду з усталеною середньодобовою температурою:

$$ГДОП = \left(t_{вн} - t_{сер.о}\right) \cdot n_o, \tag{2.10}$$

Нормування теплоенергетичних витрат на обігрів визначається тривалістю опалювального періоду, котра для м. Черкаси становить визначену кількість днів ($n_o = 189$), середньою температурною характеристикою зовнішнього середовища за період опалення ($t_{сер.о} = -1$) та усередненою розрахунковою температурою внутрішніх приміщень ($t_{вн} = 18$).

Дослідження споживання ТЕ та ЕЕ технологічним університетом впродовж десятирічного проміжку часу здійснено з урахуванням розрахунку річного енергоспоживання. За відсутності спеціалізованих приладів обліку теплової енергії за окремими видами споживання, аналітичні матеріали включають сукупні витрати теплоенергетичних ресурсів. Електроенергетичні витрати визначено за фактичними показниками лічильників. Фактична кількість градусо-діб розрахована на основі метеорологічних даних архівних записів.

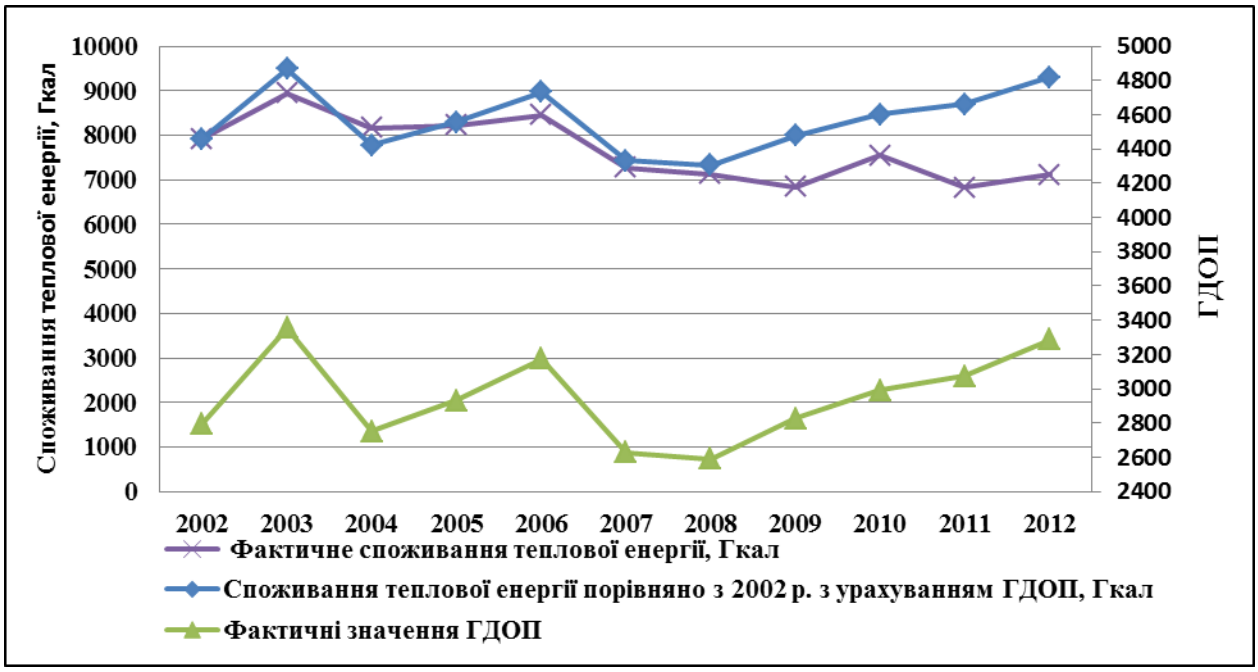


Рис. 2.2. Використання теплоенергетичних ресурсів та фактичні показники градусо-діб опалювального періоду

Проаналізувавши статистичні матеріали споживання теплової енергетики протягом дослідницького періоду за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, використовуючи аналітичний інструментарій, було сформовано відповідну регресійну математичну модель, Гкал·рік:

$$\widehat{Q} = -403{,}8+0{,}409\cdot D, \qquad (2.11)$$

де $\widehat{Q}$ визначається модельоване споживання теплоенергетичних ресурсів; D – градусо-доби опалювального періоду.

Показник статистичної залежності становить d = 0,86, що демонструє: на 86% споживання теплової енергії корелює з кількістю градусо-годин, тобто залежить від температурних характеристик зовнішнього середовища. Отримане розрахункове значення t-критерію Стюдента дорівнює t= 5,53. Порівнявши аналітичне значення t-критерію з критичним показником за α = 0,05 та визначеній v = n - 1, визначаємо $t_{табл}$=2,46. Оскільки виявилось, що $t_{табл}$ є меншим за t=5,53, що підтверджує високу статистичну репрезентативність D для представленої моделі.

З метою верифікації залежності електроенергетичного споживання від градусо-діб опалювального періоду, тобто для з'ясування потенційного додаткового електропостачання приміщень, проведено аналогічне дослідження фактичного електроспоживання за визначений часовий проміжок. Графічна презентація (рис. 2.3) демонструє, що реальне споживання електроенергії суттєво диференціюється від гіпотетичного сценарію додаткового електропостачання приміщень.

Проаналізувавши статистичні інформаційні масиви електроенергетичного споживання за визначений дослідницький період, було сформовано відповідну регресійну математичну модель, тис. кВт·год·рік:

$$\widehat{W} = 2389{,}07 - 0{,}23 \cdot D, \qquad (2.12)$$

де $\widehat{W}$ визначається змодельоване споживання електроенергетичних ресурсів.

Показник статистичної залежності становить d = 0,17, що демонструє: лише на 17% електроенергетичне споживання корелює з кількістю градусо-діб опалювального періоду, тобто залежить від температурних характеристик зовнішнього середовища. Отримане розрахункове значення t-критерію Стюдента дорівнює t= 1,37. Порівнявши аналітичне значення t-критерію з α =

0,05 та v = n-1, маємо $t_{табл}$ = 2,23, котре виявилось більшим за розрахункове й підтверджує відсутність статистичної репрезентативності *D* для представленої моделі.

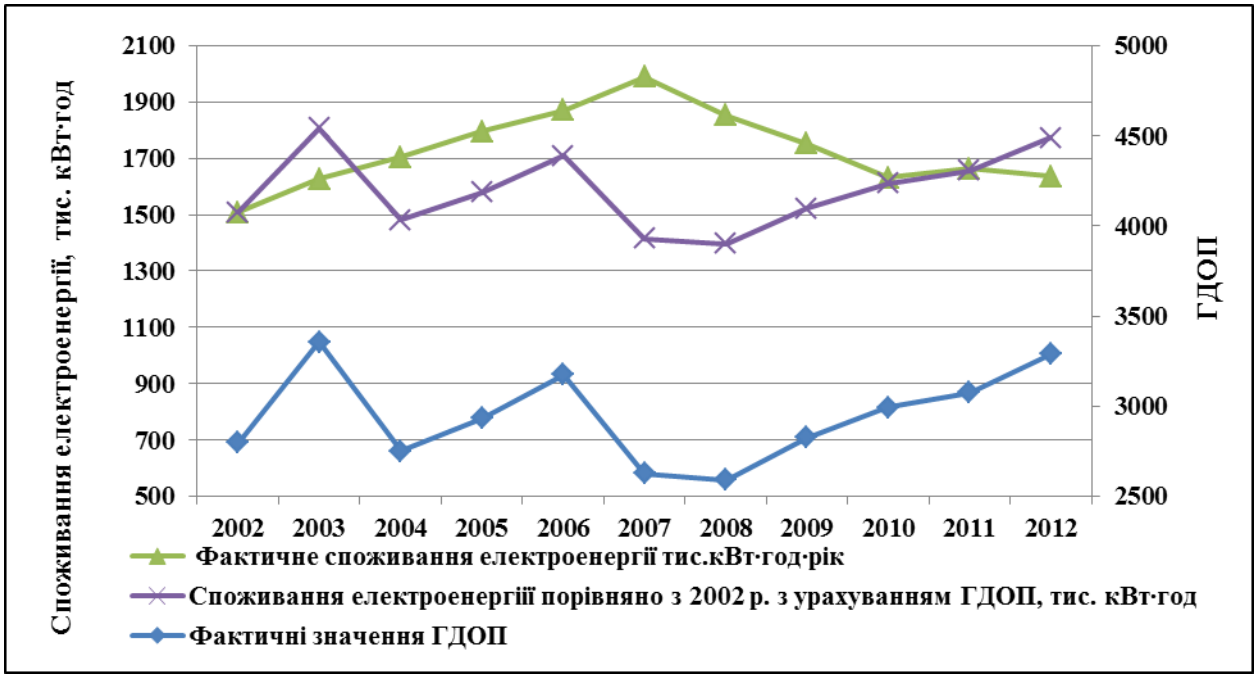


Рис. 2.3. Річне споживання ЕЕ та фактичні значення ГДОП

Відтак, можна сформулювати висновок про те, що додаткове донагрівання приміщень не здійснюється. Термічне забезпечення внутрішніх просторів реалізується виключно через централізовану систему теплопостачання та повністю відповідає нормативним параметрам комфортності.

Ключовими компонентами енергетичного балансу закладу вищої освіти є теплова та електрична енергетичні субстанції. Для подальшого дослідницького аналізу електроенергетичного споживання навчальними приміщеннями доцільно використати метод декомпозиційного структурування, тобто диференціювати впливові фактори за видами енергетичних ресурсів: на чинники електроспоживання та теплоспоживання.

Враховуючи наступні обставини:

– сучасний вітчизняний науковий простір недостатньо висвітлює методологічні підходи оцінки енергоефективності експлуатаційних систем

енергозабезпечення та енергоспоживання будівельних об'єктів, окрім опалювальних систем та нормативних вимог до огороджувальних конструкцій;

– ситуація в європейському енергетичному середовищі характеризується глобальною тенденцією трансформації структури споживання в напрямку редукції використання викопних енергоносіїв та зростання електроенергетичного й газового споживання;

– подальша диференціація факторів електроспоживання та теплоспоживання є методологічно виправданою;

– додаткове електропостачання приміщень не здійснюється, а термічне забезпечення реалізується виключно через централізовану систему теплопостачання;

– «енергетичний ресурс» охоплює комерційно доступні енергетичні форми, визначені у відповідних європейських нормативних документах.

Провівши декомпозиційний аналіз факторів за допомогою кваліфікованого енергоменеджменту або методології експертного оцінювання, отримано структуровані фактори, систематизовані у відповідних аналітичних табл.2.7 та 2.8.

Таблиця 2.7 Перелік найбільш впливових факторів для споживання ЕЕ

Найменування фактора	Мат. позн.	Ум. Позн.
Загальна площа приміщень	X_5	$S_{буд}$, кв. м
Середньорозрахункова кількість людей	X_4	KL, осіб
Корисна площа	X_3	$S_{кор}$, кв. м
Поверховість	X_2	L
Висота	X_1	$H_{буд}$, м

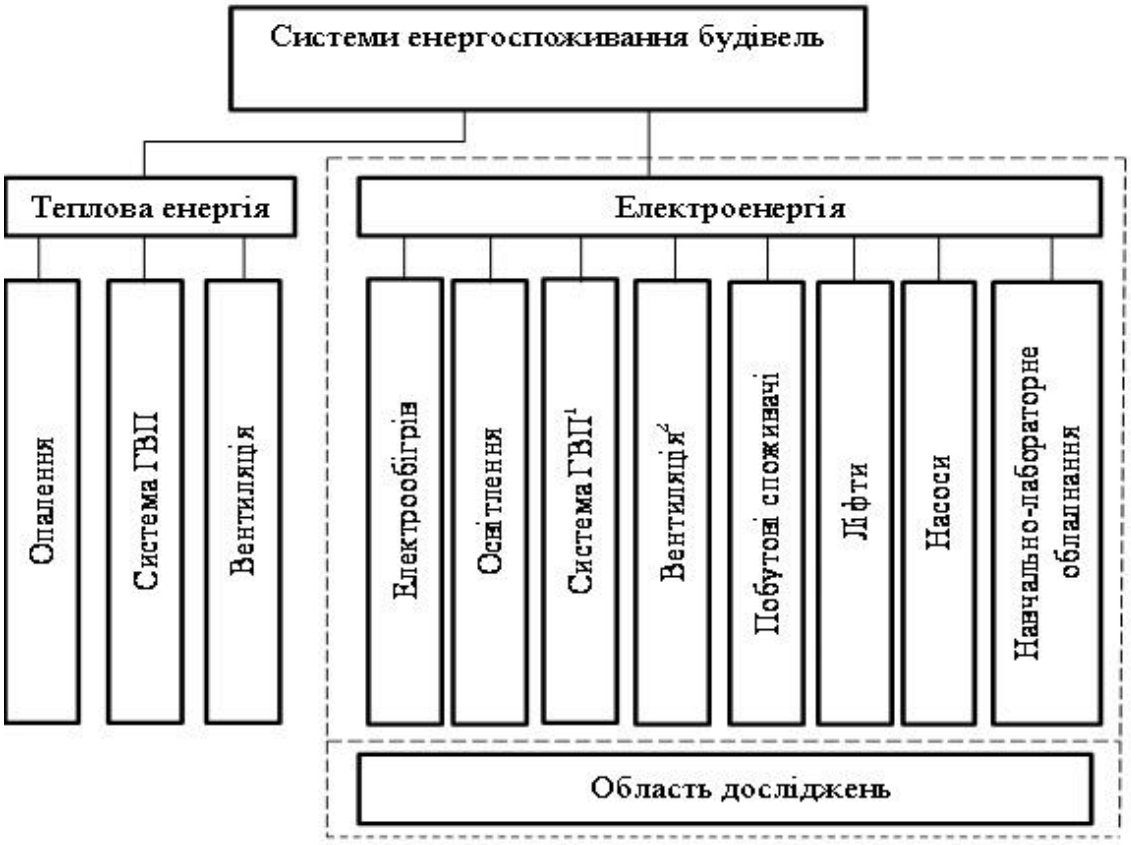


Рис. 2.4. Розподіл енергетичних ресурсів будівлями технологічного університету

Таблиця 2.8. Перелік найбільш впливових факторів для споживання ТЕ

Найменування фактора	Мат. позн.	Ум. Позн.
Висота	X_1	$H_{буд}$, м
Поверховість	X_2	L
Корисна площа	X_3	$S_{кор}$, кв. м
Загальна площа приміщень	X_5	$S_{буд}$, кв. м
Загальна площа огороджувальних конструкцій	X_6	$S_{констр}$, кв. м
Будівельний об'єм	X_7	$V_{буд}$, куб. м
Опалювальний об'єм будівлі	X_8	$V_{оп}$, куб. м

На подальшому дослідницькому рівні аналізу впливових факторів електроенергетичного споживання доцільно застосовувати математико-статистичні методологічні підходи, які мінімізують антропогенний вплив на результативність аналітичного дослідження.

2.3. Статистичний аналіз ймовірності впливу чинників на споживання ЕЕ будівлями навчального закладу

Як відомо, регресійний аналіз за кількістю змінних поділяється на простий і множинний. Множинна лінійна регресія описується рівнянням:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + ... + a_mx_m, \qquad (2.13)$$

де y — залежна змінна; $x_1, x_2, x_3, ..., x_m$ — незалежні змінні (чинники); $a_1, a_2, a_3, ..., a_m$ — коефіцієнти регресії (параметри моделі); a_0 — вільний член рівняння; m — кількість чинників у моделі.

У лінійній моделі (2.13) коефіцієнти $a_1, a_2, a_3, ..., a_m$ відображають граничне збільшення результативної змінної y за одиничного приросту факторної змінної $x_1, x_2, x_3, ..., x_m$ за незмінності інших змінних, причому в одиницях, що відповідають вихідним даним.

Таким чином, параметри інтерпретуються наступним чином: якщо x_1 збільшиться (зменшиться) на 1%, тоді y зміниться на відповідний відсоток за умови сталості інших змінних.

Множинна регресійна модель для електроспоживання будівель навчальних закладів має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5. \qquad (2.14)$$

Для кожного спостереження y та відповідного набору змінних x можна побудувати систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = a_0 + a_1 x_{11} + a_2 x_{21} + a_3 x_{31} + ... + a_m x_{m1}, \\ y_2 = a_0 + a_1 x_{12} + a_2 x_{22} + a_3 x_{32} + ... + a_m x_{m2}, \\ \vdots \\ y_n = a_0 + a_1 x_{1n} + a_2 x_{2n} + a_3 x_{3n} + ... + a_m x_{mn}. \end{cases} \quad (2.15)$$

У матричному записі ця модель виглядає так:

$$X = \begin{pmatrix} 1 x_{11} x_{21} ... x_{m1} \\ 1 x_{12} x_{22} ... x_{m2} \\ \vdots \\ 1 x_{1n} x_{2n} ... x_{mn} \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix}; Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

$$XA = Y$$

де X стовпчик одиниць у матриці відповідає вільним членам рівняння.

Коефіцієнти моделі визначають, використовуючи метод найменших квадратів:

$$A = \left(X^T X \right)^{-1} X^T Y. \quad (2.17)$$

До переліку чинників, що впливають на енергоспоживання, висуваються наступні вимоги:

– кожен чинник повинен бути теоретично обґрунтованим;

– включати слід лише значущі чинники, які суттєво впливають на результати, причому кількість чинників у моделі не має перевищувати третину від обсягу вибірки;

– чинники можуть бути кількісними чи якісними, але доцільно включати лише ті, які можливо чисельно оцінити;

– чинники повинні бути незалежними між собою, оскільки їх лінійна залежність свідчить про подібність властивостей явища.

Включення лінійно залежних чинників у модель спричиняє мультиколінеарність, - це явище спостерігається, коли коефіцієнт кореляції між двома змінними перевищує 0,8, тобто $r_{xi\,xj} > 0{,}8$.

Це явище суттєво погіршує якість регресійної моделі та призводить до значного зростання похибок оцінювання її параметрів. Для виявлення мультиколінеарності серед незалежних змінних, оцінки її рівня, визначення взаємозалежних змінних та мінімізації її негативного впливу застосовують метод кореляційного аналізу. Згідно з цим методом, дві змінні вважаються мультиколінеарними, якщо їх парний коефіцієнт кореляції за абсолютним значенням перевищує 0,8.

Однак найбільш точний спосіб перевірки мультиколінеарності – використання алгоритму Фаррара–Глобера. Цей метод базується на розрахунку статистичних критеріїв, таких як: χ^2, F-критерій та t-критерій. Найчастіше мультиколінеарність усувають шляхом виключення корельованих факторів із моделі.

Алгоритм Фаррара–Глобера складається з шести основних етапів:

Перший етап: Розрахунок кореляційної матриці:

$$r_{xx} = X^{*'} X^{*}, \tag{2.18}$$

де X^{*} – матриця нормалізованих незалежних змінних, $X^{*'}$ – транспонована матриця X^{*}.

Другий етап: Обчислення χ^2-критерію:

$$\chi^2 = -\left[n - 1 - \frac{1}{6}(2m+5) \right] \mathrm{In}\left|r_{xx}\right|, \tag{2.19}$$

де $|r_{xx}|$ – визначник кореляційної матриці, n – кількість спостережень, m – кількість змінних.

Третій етап: Розрахунок оберненої матриці:

$$C = r_{xx}^{-1} = (X^{*'} X^{*})^{-1}. \tag{2.20}$$

Четвертий етап: Обчислення F_k-критеріїв:

$$F_k = (C_{kk} - 1)(n - m) / (m - 1), \tag{2.21}$$

де C_{kk} – діагональні елементи оберненої матриці.

П'ятий етап: Знаходження часткових коефіцієнтів кореляції:

$$r_{kj} = \frac{-c_{kj}}{\sqrt{c_{kk} \cdot c_{jj}}}, \tag{2.22}$$

де c_{kj}, c_{jj} – елементи оберненої матриці.

Шостий етап: Розрахунок t-критеріїв:

$$t_{kj} = r_{kj} \sqrt{n - m} / \sqrt{1 - r^2_{kj}}. \tag{2.23}$$

У підсумку отримують рівняння регресії, яке відображає енергетичну характеристику електроспоживання будівлі:

$$W = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + ... + a_m X_m. \tag{2.24}$$

Після перевірки моделі на мультиколінеарність необхідно також оцінити її адекватність: **перший крок** – визначення рівня зв'язку між чинниками.

Ступінь залежності між двома факторними змінними визначається за формулою:

$$r_{x_i x_j} = \frac{\overline{x_i x_j} - \overline{x_i}\,\overline{x_j}}{\sigma_{x_i}\sigma_{x_j}}. \qquad (2.25)$$

Ключовими показниками, що характеризують силу зв'язку факторів у моделі множинної лінійної регресії (2.13), є R_{xy} та η, котрі визначаються за наступними формулами:

$$R_{xy} = \eta = \sqrt{\frac{\sigma_{\phi}^2}{\sigma_y^2}} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\varepsilon}^2}{\sigma_y^2}}, \qquad (2.26)$$

де $\sigma_{\phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{Ti} - \overline{y})^2}{n}$ – дисперсія, обумовлена впливом факторів;

$\sigma_{\varepsilon}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{\phi i} - y_{Ti})^2}{n}$ – залишкова дисперсія після врахування впливу факторів;

$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{\phi i} - \overline{y})^2}{n}$ – загальна дисперсія результативної змінної.

Таким чином:

$$R_{xy} = \eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{\phi i} - y_{Ti})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_{\phi i} - y)^2}}. \qquad (2.27)$$

У цих рівняннях використовуються такі позначення: $y_{\phi i}$ – фактичні значення споживання ЕЕ об'єктами; $\overline{y}$ – середнє значення споживання ЕЕ, y_{Ti} – модельні значення споживання ЕЕ.

Другий крок – оцінка сили зв'язку між чинниками. Щільність зв'язку між показником споживання ЕЕ та обраними факторами оцінюється відповідно до шкали: $R_{xy}, r_{xy}, \eta = 0$: відсутність зв'язку; $0{,}1 \le R_{xy}, r_{xy}, \eta < 0{,}3$: слабкий зв'язок; $0{,}3 \le R_{xy}, r_{xy}, \eta < 0{,}5$: помірний зв'язок;

$0,5 \le R_{xy}, r_{xy}, \eta < 0,7$: помітний зв'язок; $0,7 \le R_{xy}, r_{xy}, \eta < 0,9$: сильний зв'язок; $0,9 \le R_{xy}, r_{xy}, \eta < 0,99$: дуже сильний зв'язок; $R_{xy}, r_{xy}, \eta = 1$: функціональна залежність.

Третій крок – оцінка впливу відібраних чинників. Частка впливу визначається за допомогою коефіцієнта детермінації (d):

$$d = r_{xy}^2, d = \eta^2, d = R_{xy}^2. \quad (2.28)$$

Цей коефіцієнт демонструє, наскільки модель регресії пояснює варіацію результативної змінної відносно її середнього значення.

Структурна схема кореляційно-регресійного аналізу представлена на рис. 2.5.

Для перевірки початкових факторів дослідження використовують алгоритм Фаррара – Глобера, який дозволяє виявити мультиколінеарність.

На початковому етапі розрахунок критерію Пірсона показав перевищення його фактичного значення над табличним, що свідчить про наявність мультиколінеарності серед пояснювальних змінних і необхідність додаткового аналізу. Матриця з визначеними коефіцієнтами кореляції наведена в табл. 2.11.

На наступному кроці розраховані значення F-критерію дали такі результати: $F_1 = 36,26$; $F_2 = 31,36$; $F_3 = 397,75$; $F_4 = 9,75$; $F_5 = 511,29$. Усі вони перевищують критичне значення $F_{табл} = 5,99$, що підтверджує мультиколінеарність між факторами. Додатково обчислені значення t-критерію: $t_{1.2} = 3,064$; $t_{1.3} = -0,728$; $t_{1.4} = 0,476$; $t_{1.5} = 0,754$; $t_{2.3} = 0,273$; $t_{2.4} = -1,353$; $t_{2.5} = -0,068$; $t_{3.4} = -1,063$; $t_{3.5} = 10,582$; $t_{4.5} = 1,480$., порівняння з табличним значенням $t_{табл} = 2,262$ також свідчить про мультиколінеарність.

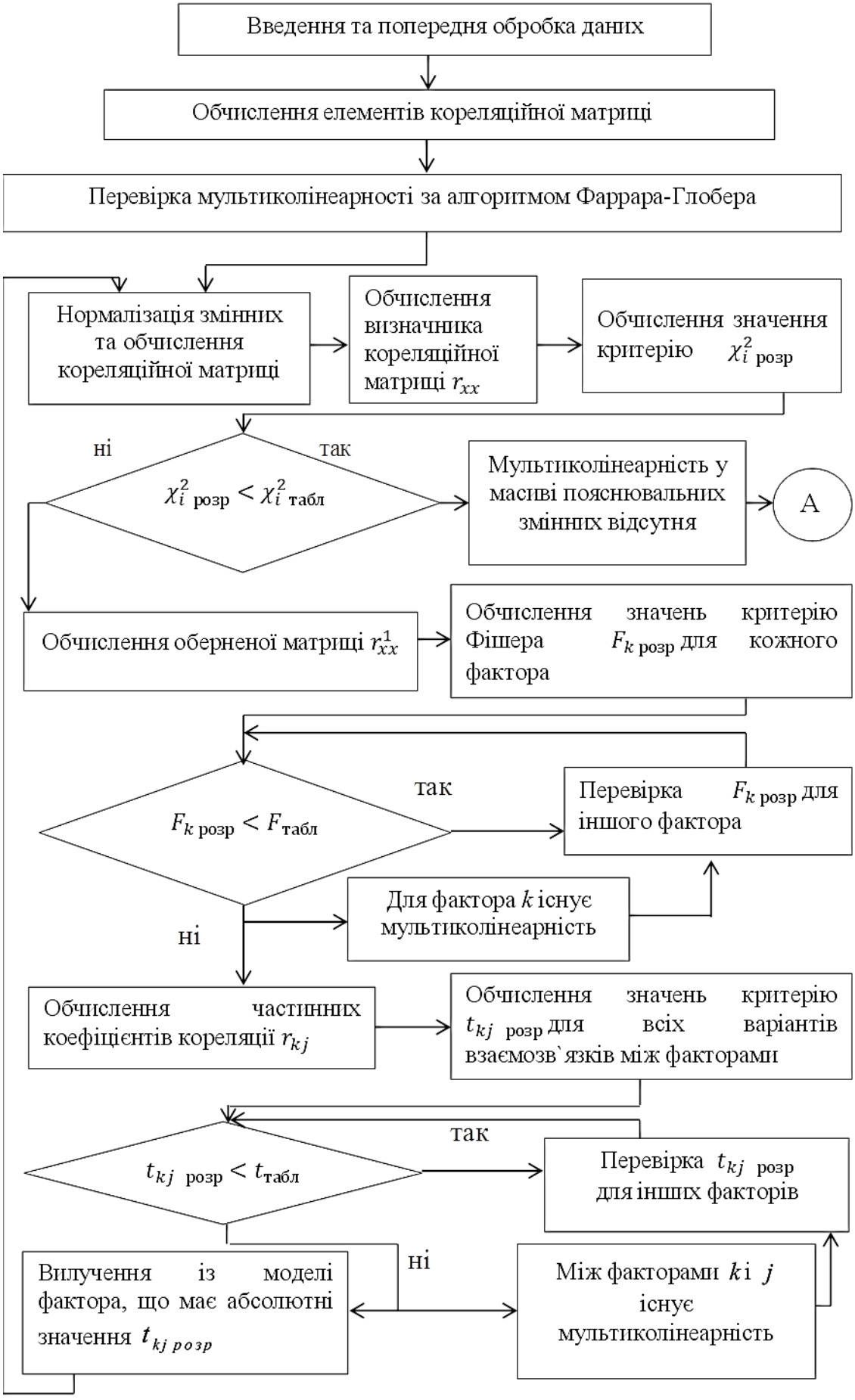

Введення та попередня обробка даних
Обчислення елементів кореляційної матриці
Перевірка мультиколінеарності за алгоритмом Фаррара-Глобера
Нормалізація змінних та обчислення кореляційної матриці
Обчислення визначника кореляційної матриці r_{xx}
Обчислення значення критерію $\chi^2_{i\ розр}$
ні
так
$\chi^2_{i\ розр} < \chi^2_{i\ табл}$
Мультиколінеарність у масиві пояснювальних змінних відсутня
A
Обчислення оберненої матриці r^1_{xx}
Обчислення значень критерію Фішера $F_{k\ розр}$ для кожного фактора
$F_{k\ розр} < F_{табл}$
так
Перевірка $F_{k\ розр}$ для іншого фактора
Для фактора k існує мультиколінеарність
ні
Обчислення частинних коефіцієнтів кореляції r_{kj}
Обчислення значень критерію $t_{kj\ розр}$ для всіх варіантів взаємозв`язків між факторами
так
$t_{kj\ розр} < t_{табл}$
Перевірка $t_{kj\ розр}$ для інших факторів
ні
Вилучення із моделі фактора, що має абсолютні значення $t_{kj\ розр}$
Між факторами k і j існує мультиколінеарність



Рис. 2.5. Поетапна послідовність проведення кореляційно-регресійного аналізу

Таблиця 2.9 – Фінальна таблиця визначених показників впливу

Найменування об'єкту	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1	2	3	4	5	6	7
Н.корп 1	33,0000	9,000	9420,900	1164,0	10592,30	268080,0
Н.корп 2	14,500	4,000	7943,400	1014,0	8300,70	213060,0
Н.корп 3	7,700	2,000	2210,300	535,0	2223,90	74720,0
Н.корп 4	18,600	4,000	6630,000	1593,0	8287,60	130640,0
Н.корп 5	5,350	2,000	1116,000	319,0	1176,00	22731,0
Н.корп 6	8,000	2,000	752,950	50,0	1051,350	32780,0
Н.корп 7	7,000	1,000	1935,200	100,0	1979,20	30460,0
Н.корп 8	6,000	2,000	2430,200	598,0	2705,20	56678,0
Н.корп 9	5,500	2,000	1208,900	453,0	1363,80	15499,0

Продовження табл.2.9

1	2	3	4	5	6	7
Н.корп 10	14,800	4,000	2764,600	577,0	2920,30	49547,0
Гурт. 1	13,400	5,000	3505,100	305,0	3643,30	193556,0
Гурт. 2	24,900	9,000	9593,10	634,0	10540,90	612426,0
Гурт. 3	14,150	5,000	3301,50	292,0	3615,20	193610,0
Гурт. 4	12,700	4,000	1725,00	226,0	2097,00	110000,0

Таблиця 2.10. Значення коефіцієнтів парної кореляції

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
X_1	1,000					
X_2	0,94110	1,000				
X_3	0,87850	0,83380	1,000			
X_4	0,59900	0,42300	0,72980	1,000		
X_5	0,88940	0,83030	0,99560	0,76380	1,000	
Y	0,73810	0,86690	0,81550	0,29440	0,79810	1,000

Для її усунення вилучено третій фактор X_3 – корисна площа будівлі досліджуваного об’єкта, оскільки він мав найвищу кореляцію з іншими змінними. Оновлений набір із чотирьох факторів знову перевірений, унаслідок чого виключено фактор X_1 – висота будівлі. Далі, після чергового аналізу, вилучено фактор X_2 – поверховість будівлі. На завершальному етапі значення критерію $\chi^2 = 10,07$ все ще перевищувало табличне, але значення F-критерію $F_4 = 16,98$, $F_5 = 16,98$ стали значно нижчими за критичне, що підтвердило відсутність мультиколінеарності серед пояснювальних змінних X_4, X_5, які тепер можна вважати незалежними факторами. Отже, побудована модель:

$$W = a_0 + a_4 X_4 + a_5 X_5. \qquad (2.29)$$

Після усунення мультиколінеарності залишилися два основні фактори, що впливають на результуючий показник Y – фактичне електроспоживання:

- X_4 – середня кількість осіб, які можуть перебувати в приміщенні;

- X_5 – загальна площа приміщень.

Модель електроспоживання характеризує енергетичний стан будівлі як об’єкта споживання енергії. Для подальшого дослідження використано статистичні дані (табл. 2.12) на прикладі навчальних корпусів № 1–4.

Оскільки площа корпусів протягом досліджуваного періоду залишалася сталою, зміна параметра a_5 дорівнює нулю. Проте цей фактор важливий для моделювання подібних об’єктів.

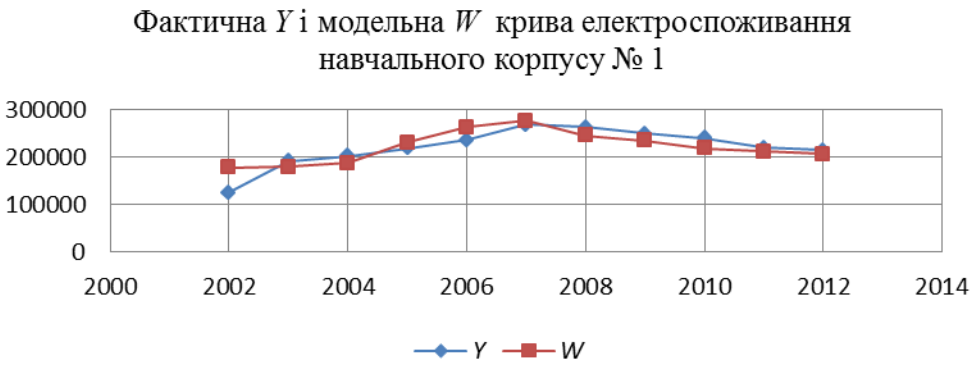
Математично-статистичні моделі, побудовані для корпусів, показують сильний зв’язок між залежними змінними й споживанням ЕЕ (табл. 2.13). Коефіцієнт детермінації $d = 0,89 - 0,97$ свідчить, що 89–97% змін у споживанні пояснюються факторами X_4, а решта 3–11% зумовлена непередбаченими змінними.

Середня відносна похибка апроксимації становить 1,5–9,5%, що підтверджує високу точність моделі. На рис. 2.6 показано графіки моделювання, які збігаються з реальними даними.

Визначення коефіцієнтів еластичності показало, що при зміні X_4 на 1% електроспоживання зміниться для:

- корп. 1 на 4,2%;
- корп. 2 на 4,09%;
- корп. 3 на 3,38%;
- корп. 4 на 7,5%.

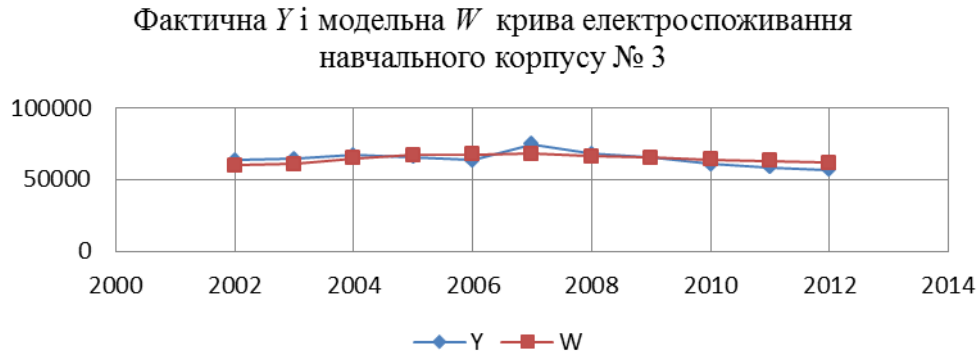
Графіки (рис.2.6) свідчать, що моделі добре відображають фактичні дані, зокрема зростання до 2017 року і подальше зниження.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.6. Показники фактичного – Y, та теоретичного – W споживання ЕЕ будівлями за корпусами: а) № 1; б) № 2; в) № 3; г) № 4

Аналізуючи вигляд графіків, зображених на рис. 2.6, можна дійти висновку, що різниця у формах кривих споживання ЕЕ для досліджувальнихобєктів різного призначення, а також їх значна кількість, вимагають ідентифікації типових об’єктів електроспоживання. Ці типові об’єкти можуть бути корисними для створення системи моніторингу ефективності використання енергії та застосування в проектній діяльності.

Отримані результати свідчать про необхідність використання методів теорії розпізнавання образів для визначення й класифікації таких типових об’єктів. Таким чином, для подальшого аналізу електроспоживання будівель навчальних закладів слід здійснити процедуру розпізнавання й групування досліджуваних об’єктів у відповідні категорії.

Висновки до розділу 2

1. Задля зниження кількості енергетичних параметрів будівель, для покращення якості досліджень доцільно використовувати метод експертних оцінок.

2. Визначення кількості енергетичних параметрів (факторів), позбавлених мультиколінеарності, слід здійснювати за допомогою алгоритму Фаррара–Глобера. Такий спосіб дозволяє скоротити факторний простір до двох основних показників: середня кількість осіб та значеннння загальної площі всіх приміщень будівлі. Таким чином, визначено основні параметри, що обумовлюють рівень споживання ЕЕ будівлями ВНЗ.

3. Усі параметри моделі є значущими за статистичними критеріями, вона володіє значними апроксимаційними властивостями, що підтверджують графічні інтерпретації та коефіцієнт детермінації. Модель містить лише два основні показник, які на 94% описують процес споживання ЕЕ будівлями технологічного університету, котрий розглядався Така кількість факторів є зручною для подальшого аналізу споживання ЕЕ.

РОЗДІЛ 3
МЕТОДОЛОГІЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЙНОГО ГРУПУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

3.1. Концептуальна характеристика кластеризаційного групування об'єктів іцнфраструктури навчальних закладів

Ступінь подібності або диференціації між класифікованими енергоспоживчими об'єктами визначається метричною просторовою відстанню. Якщо кожний досліджуваний об'єкт характеризується сукупністю факторних показників, він може бути репрезентований як координатна точка в багатовимірному інформаційному просторі, де подібність з іншими об'єктами встановлюється через відповідні метричні співвідношення.

У кластерному аналітичному дослідженні використовують диференційовані метрики відстаней між структурними одиницями, кількість яких нині перевищує два десятки. Найбільш уживані в технічних дослідженнях метрики мають наступні математичні формалізації:

1) евклідова метрична відстань: $d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (x_{ik} - x_{jk})^2}$,

2) параметризована евклідова відстань: $d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} w_k (x_{ik} - x_{jk})^2}$,

3) міська метрична відстань (city-block): $d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} \left| x_{ik} - x_{jk} \right|}$,

4) узагальнена метрична відстань Мінковського: $d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{m} \left| x_{ik} - x_{jk} \right|^{p} \right)^{1/p}$,

5) статистична метрична відстань Махаланобіса: $d_{ij} = (X_i - X_j)' S_*^{-1} (X_i - X_j)$,

де d_{ij} визначаються взаємовідношення між структурними одиницями через математичні перетворення значень змінних x_{il}, x_{jl}, S_* – коваріаційні матриці та w_k – вагові коефіцієнти.

Важливо зазначити, що застосування представлених метричних підходів під час класифікаційного групування продукує наближено тотожні результати.

Для ідентифікації однорідних кластерних угруповань серед будівельних споруд навчального закладу, де кожен об'єкт характеризується двома домінантними факторами впливу на електроенергетичне споживання, необхідно оцінити ступінь подібності, який суттєво залежить від абсолютних значень ознак та варіативності показників у сукупності.

З метою нівелювання подібної залежності в класифікаційній процедурі пропонується стандартизація вхідних змінних через використання спеціальних нормалізаційних методик. Розглянемо 4 підходи:

$$\text{1-й: } z_{ij} = \frac{x_{ij} - \overline{x}_j}{\sigma_j}, \quad \text{2-й: } z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{\max j}},$$

$$\text{3-й: } z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\overline{x}_j}, \quad \text{4-й: } z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{\min j}}.$$

Найбільш поширеною є перша нормалізаційна методика.

Таблиця 3.1 Стандартизовані значення (Z) показників факторного впливу

Найменування будівлі	Y	X_4	X_5
	Z_1	Z_2	Z_3
1	2	3	4
Нав. корп. 1	0,7919080	1,3921610	1,7916130
Нав. корп. 2	0,4432090	1,0456060	1,1369180
Нав. корп. 3	-0,433550	-0,061060	-0,599180
Нав. корп. 4	-0,0791400	2,3833090	1,1331760
Нав. корп. 5	-0,763040	-0,56010	-0,898560

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
Нав. корп. 6	-0,699350	-1,181590	-0,934170
Нав. корп. 7	-0,714050	-1,066070	-0,669090
Нав. корп. 8	-0,547890	0,0844930	-0,461680
Нав. корп. 9	-0,808870	-0,250510	-0,844910
Нав. корп. 10	-0,593080	0,0359760	-0,400230
Гурт. 1	0,3195990	-0,592440	-0,193670
Гурт. 2	2,9742640	0,1676670	1,7769290
Гурт. 3	0,3199410	-0,622480	-0,20170
Гурт. 4	-0,209950	-0,774960	-0,635440

У представленій таблиці було систематизовано стандартизовані Z-значення статистичних даних досліджуваних об'єктів за ключовими факторами електроенергетичного споживання будівельних споруд технологічного університету за 2017 рік, оскільки додаткові матеріали демонструють максимальні факторні показники в одинадцятирічному часовому проміжку; Y_3 – фактичне електроенергетичне споживання, X_4 – середньорозрахункова чисельність осіб у приміщенні.

Здійснимо заміну первинних значень x_{ij} новими параметрами z_{ij}, отриманими за математичною формулою:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \tag{3.1}$$

та сформуємо матрицю стандартизованих факторних значень.

Отримана матриця стандартизованих значень факторів уможливлює застосування класифікаційних методів, які укрупнено диференціюються на ієрархічні та неієрархічні підходи групування.

З метою графічної презентації результатів кластеризаційного дослідження побудуємо деревоподібну дендрограму (рис. 3.1), яка демонструє специфіку групування будівельних об'єктів. Навчальні корпуси (1 та 2) на евклідовій метричній відстані 0,740 формують первинне кластерне угруповання, навчальні корпуси (3, 5, 8, 9, 10) на евклідовій відстані 0,788 утворюють друге кластерне об'єднання, навчальні корпуси (6, 7) на евклідовій

відстані 0,288 структуровані в окрему групу, а гуртожитки (1 та 3) на евклідовій відстані 0,708 репрезентують самостійне кластерне формування.

Винятком є будівлі навч.корп. 4 та гурт. 2, які за технологічними параметрами не виявляють подібності до жодного з попередніх угруповань, внаслідок чого утворюють індивідуальні, автономні класи. Результати кластеризаційного групування інфраструктурних обєктів технологічного університету за технологічними характеристиками буде систематизовано в табл. 3.4.

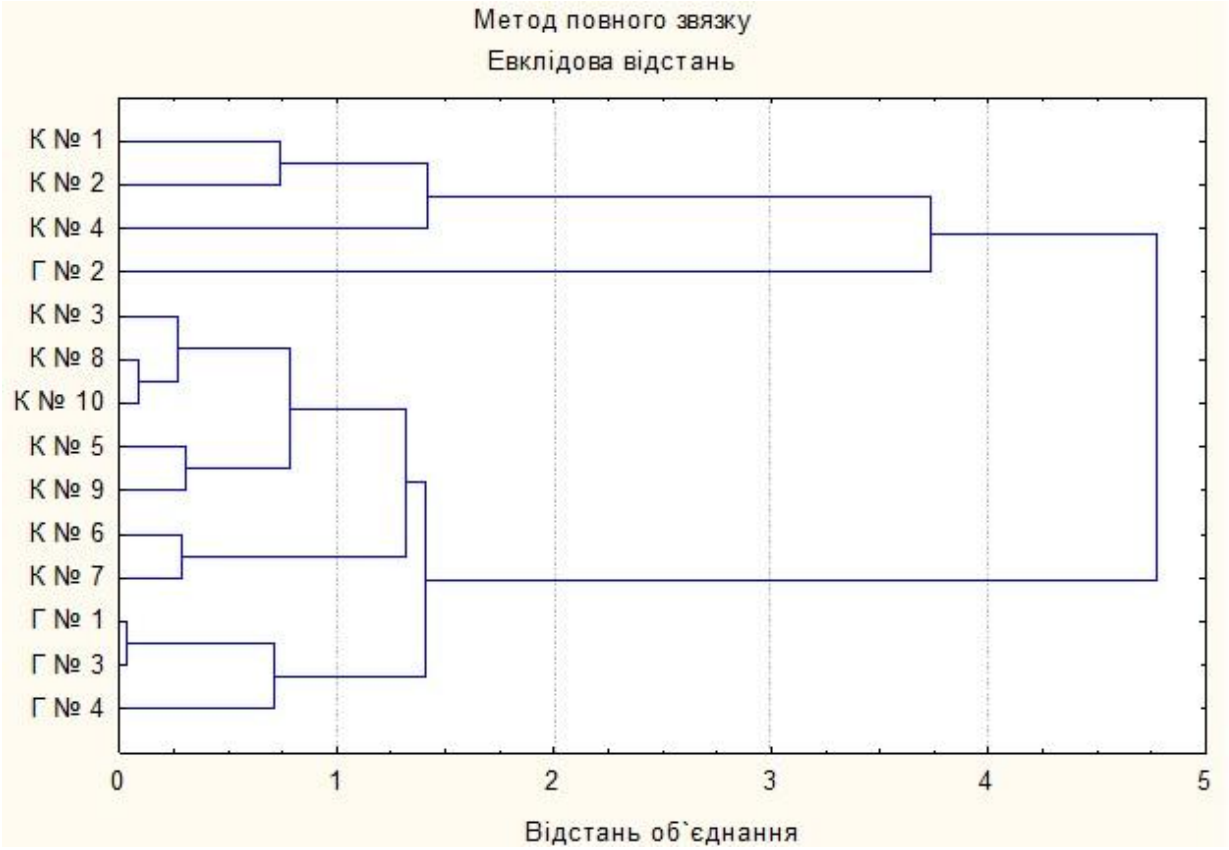


Рис. 3.1. Дендограма кластеризації інфраструктурних обєктів технологічного університету

Аналіз сформованих кластерних угруповань досліджуваних будівельних споруд закладу вищої освіти продемонстрував створення шести типологічних кластерів з наступними характеристиками:

1) 1 – будівельні споруди навч. корп. № 1 та № 2, первісно побудовані як навчально-лабораторні приміщення для технічного освітнього закладу; споруджені відповідно у 1984 та 1969 роках;

2) 2 – будівля навч. корп. № 4, розроблена як навчально-лабораторний простір механічного факультету; зведена в 1991 році;

3) 3 – будівля гурт. № 2, запроектована як студентське житло блочного типу з покращеними плануванням і комфортністю; збудована в 1987 році;

4) 4 – навч.і корп. № 3 та № 10 спроектовані як типові навчально-лабораторні приміщення; введені в експлуатацію у 1971 та 1976 роках. Будівлі навч. корп. 5, 8, 9 первісно призначалися для дошкільних закладів, причому корп. 5 та 9 зведені за уніфікованим архітектурним рішенням. Навчальний корпус № 5 споруджений у 1969 році, 8 – у 1974 році, 9 – у 1970 році. На сучасному етапі всі зазначені будівельні об'єкти реконструйовані та адаптовані під навчально-лабораторні приміщення.

5) 5 – споруди освітніх приміщень під номерами шість та сім, які розроблялися як простори для фізкультурних активностей (спортивні зали); їх було зведено у 1969 році (навч. буд. 6) та у 1993 році (навч. буд.№ 7);

6) 6 – приміщення студентських гуртожитків під номерами один, три, чотири, які проектувалися як житлові приміщення з коридорною системою розміщення; їх було побудовано у 1969 році (гурт. № 1), у 1965 році (гурт. № 3) та у 1964 році (гурт. 4).

Таблиця 3.4. Фактичні результати кластеризації будівель університету

Найменування обєкту	Кластер
1	2
Гурт. 4	6
Гурт. 3	6
Гурт. 2	3
Гурт. 1	6
Навч. корп. 10	4

Продовження табл. 3.4.

1	2
Навч. корп. 9	4
Навч. корп. 8	4
Навч. корп. 7	5
Навч. корп. 6	5
Навч. корп. 5	4
Навч. корп. 4	2
Навч. корп. 3	4
Навч. корп. 2	1
Навч. корп. 1	1

Відомості про архітектурні угруповання надають можливість зробити висновок, що технологічне призначення споруд має вирішальний вплив на обєднання кластерів, що підтверджено в науково-дослідних публікаціях та галузевих регламентах [12].

У процесі калькуляції показників витрат енергетичних ресурсів, коли приміщення займають організації різного профілю (технологічного спрямування), розрахункове навантаження ПЕР визначають індивідуально для кожної установи, враховуючи задіяні об'єми чи площі та прийняті розрахункові температури внутрішнього повітря для цих просторів [12]. У той же час, за геометричними характеристиками та прихначенням, будівля гуртожитку 2 та корпусу 4 сформували автономні кластери.

Таким чином, формалізована методика ідентифікації як унікальних, так і типових будівель підтвердила валідність обраного підходу. Обмеженням методу ієрархій є неспроможність опрацювання неповного масиву статистичних даних.

3.2. Визначення типових будівель технологічного університету за неієрархічним підходом

При використанні графічного методу сфер [8] визначають області високої щільності скупчення будівель, досліджуваних з погляду енергоефективності. Ці області відповідають певній скалярній величині , яка

визначає радіус сфери у просторі факторів, що впливають на енергоефективність. Зони концентрації об'єктів встановлюють через виконання послідовних розрахунків.

Опис алгоритму для багатовимірного простору: Множина Ω будівель P_i. Нехай маємо набір будівель , кожна з яких характеризується факторами $x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ik} ..., x_{in}$, де $i = 1, 2, ..., m$.

1. **Крок 1** – Формування сфер: для кожної будівлі P_i, що є точкою в n просторі, будується сфера з визначеним радіусом ρ:

$$K(P_i, \rho). \tag{3.3}$$

2. **Крок 2** – Підрахунок точок P_j у межах сфери:

$$\Omega_i = \left\{ P_j \in \Omega : c_{ij} < \rho \right\}, \tag{3.4}$$

де Ω_i – підмножина точок множини Ω, які задовольняють умову $c_{ij} < \rho$.

3. **Крок 3** – Визначення найбільш насиченої сфери:

$$l_{i_1} = \max_i l_i, \tag{3.5}$$

де l_{i_1} визначає першу підмножину кластерів.

4. **Крок 4** – Вибір найщільнішого кластеру: якщо кілька підмножин мають однакову максимальну щільність, обчислюємо відстані від центрів цих сфер до початку координат. Точки всередині найщільнішої сфери формують першу підмножину .

5. **Крок 5** – Подальша кластеризація: алгоритм повторюється, але тільки для точок, які отримались на залишку після усунення першої підмножини:

$$\Omega \setminus \Omega_{i_1}. \tag{3.6}$$

Ця процедура продовжується до повного розподілу будівель множини на підмножини , завершуючи процес кластеризації.

Застосування алгоритму до будівель ВНЗ

Для кластеризації будівель університету методом сфер спершу розраховуються відстані між об’єктами у просторі, і створюється матриця відстаней (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Результати розрахунку відстаней між будівлями

	Навчальні корпуси										Гуртожитки			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
1	-													
2	0,820	-												
3	3,050	2,240	-											
4	1,470	1,440	3,020	-										
5	3,670	2,860	0,670	3,640	-									
6	4,030	3,250	1,130	4,170	0,630	-								
7	3,790	3,010	1,050	3,940	0,560	0,290	-							
8	2,930	2,110	0,230	2,840	0,810	1,360	1,1800	-						
9	3,490	2,680	0,490	3,370	0,340	0,940	0,840	0,570	-					
10	2,930	2,110	0,270	2,850	0,800	1,330	1,140	0,090	0,570	-				
Г № 1	2,850	2,110	1,010	3,280	1,290	1,390	1,230	1,130	1,350	1,130	-			
Г № 2	2,500	2,750	4,160	3,830	4,650	4,760	4,590	4,170	4,620	4,180	3,40	-		
Г № 3	2,870	2,140	1,040	3,310	1,290	1,370	1,220	1,150	1,350	1,140	0,030	3,400	-	
Г № 4	3,400	2,620	1,200	3,380	1,180	2,230	2,1500	1,970	1,760	1,860	0,750	4,100	0,700	-

Визначення радіуса сфери**:**

- Мінімальний радіус r_{min}: відстань між двома найближчими об’єктами. Використовується для виділення максимальної кількості кластерів, що дорівнює кількості об’єктів або наближається до неї.
- Максимальний радіус r_{max}: відстань між найвіддаленішими об’єктами. У цьому випадку всі об’єкти об’єднуються в один кластер, що робить аналіз недоцільним.

Алгоритм дозволяє знайти оптимальне значення радіуса ρ (рис. 3.2) для розділення будівель на кластери залежно від їх енергоефективності, що сприяє більш точному аналізу та подальшому моніторингу.

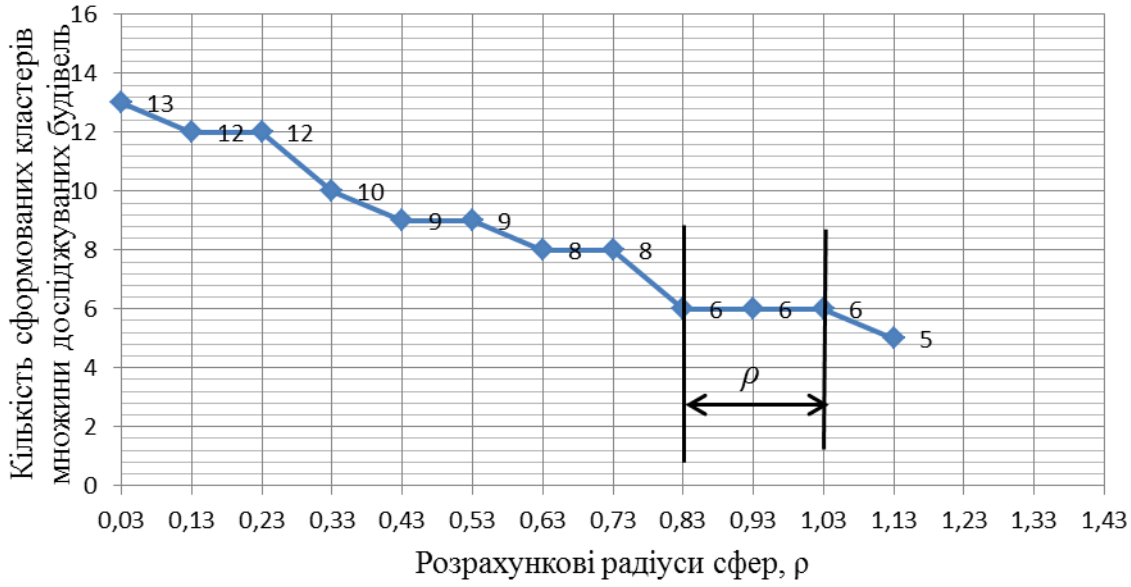


Рис. 3.2. Діаграма взаємозв’язку числа кластерів та радіусу сферичного простору

Як видно з рис. 3.2, після досягнення шести кластерів процес кластеризації тричі продемонстрував повторення цієї кількості при значеннях радіусу ρ = 0,83; 0,93; 1,03. Це свідчить про те, що подальший розподіл об'єктів на кластери є недоцільним, а оптимальний радіус становить ρ = 0,93.

Виконавши кластеризацію, було утворено шість наступних кластерів:

- 1 – навч.корп. 1, 2;
- 2 – навч. корп. 3, 5, 8, 9, 10;
- 3 – навч. корп. 4;
- 4 – навч. корп. 6, 7;
- 5 – гурт. 1, 3, 4;
- 6 – гурт. 2.

Порівнявши проведений аналіз кластерів за ієрархічним методом із результатами можна зробити висновок, що обидва методи однаково ефективно групують будівлі навчального закладу в однорідні класи на основі ключових факторів, які впливають на споживання електроенергії.

3.3. Моделювання питомого споживання ЕЕ будівлями навчального закладу у межах кластерів

Для виконання моделювання питомого електроспоживання будівлями технологічного університету, розподіленими по кластерах за результатами попередніх досліджень, спершу необхідно визначити, які питомі показники будуть основою подальшого аналізу.

Приймаємо такі показники:

- $y = Y / X_5$ – витрата електроенергії на одиницю площі, $кВт \cdot год / м^2$;
- $x = X_4 / X_5$ – кількість осіб на одиницю площі, $чол / м^2$.

Процес моделювання питомого електроспоживання здійснимо на прикладі кластеру № 3.

У табл. 3.7 наведені статистичні дані кластера № 3 для аналізу споживання ЕЕ.

Аналізуючи період використання ЕЕкластером № 3 (з 2012 по 2022 рік), можна виокремити два характерних етапи:

1. **Перший етап** — це період, коли в університеті не проводилося систематичної роботи щодо енергозбереження, а заходи з впровадження енергоефективних технологій та оновлення матеріально-технічної бази були відсутні. Протягом цього часу показник питомого споживання електроенергії поступово зростав, хоча зміни у значенні фактора були мінімальними.

2. **Другий етап** — це період активної розробки та реалізації заходів, спрямованих на енергоощадження в університеті. Він характеризується поступовим зменшенням показника питомого електроспоживання.

Таблиця 3.7. Вихідні статистичні дані споживання ЕЕ кластером № 3

Роки	$y = Y / X_5 (кВт \cdot год / м^2)$	$x = X_4 / X_5 (чол / м^2)$
1	2	3
2012	47,50	0,05200
2013	48,40	0,05600

Таблиця 3.7.

1	2	3
2014	49,30	0,05700
2015	50,50	0,06000
2016	53,30	0,06120
2017	58,10	0,06210
2018	53,10	0,06180
2019	49,50	0,06260
2020	44,00	0,05720
2021	47,00	0,05440
2022	46,00	0,05800

Для початкового періоду розробимо математичну залежність питомого споживання ЕЕ, *кВт·год/м*^{2}:

$$y_{i\,теор} = a_0 + a_1 \cdot x_i \tag{3.8}$$

У натуральних значеннях модель представлена так*, кВт·год:*

$$Y_{i\,теор} = (a_0 + a_1 \cdot x_i) \cdot S\,, \tag{3.9}$$

де $Y_{i\,теор}$ – гіпотетичне річне споживання електроенергії всередині досліджуваної сукупності, кВт·год; a_0, a_1 – параметри моделі визначаються шляхом аналізу статистичних даних конкретної групи $t = [2002 - 2007]$; – загальна площа приміщень будівельного об'єкта, м2. Для аналізованої групи № 3 площа становить S=10540,9 м^2..

Проаналізувавши статистику групи № 3 та підставивши розраховані параметри, математична модель набуде наступного вигляду:

$$y_{i\,теор} = 0{,}16 + 878{,}94 \cdot x_i \text{, } кВт{\cdot}год/м^2 \qquad (3.10)$$

При цьому статистичні показники $d = 0{,}71$, $R_{xy} = 0{,}84$ демонструють високий рівень адекватності побудованої моделі.

В абсолютних величинах модель матиме такий вираз:

$$Y_{i\,теор} = \left[0{,}16 + 878{,}94 \cdot x_i\right] \cdot 10540{,}9 \text{, } кВт{\cdot}год. \qquad (3.11)$$

Розглянемо період, коли в навчальному закладі розпочалася активна імплементація енергоощадних стратегій. З 2007 року досліджувана група була повністю укомплектована, що зумовило стабільність відповідних параметрів.

$$x = 0{,}06 = Const\,. \qquad (3.12)$$

Статистичний аналіз підтверджує, що впровадження заходів з раціоналізації енергоспоживання призводить до поступового зменшення електроспоживання як у питомих, так і в абсолютних показниках.

Вітчизняні та зарубіжні дослідження пропонують використовувати логістичне рівняння для моделювання управління ефективністю та прогнозування енергозбереження. Це нелінійна трипараметрична модель, що має S-подібну криву, яка відображає динаміку електроспоживання під впливом часового фактора (рис.3.3):

$$\frac{dy}{dt} = \lambda y\left(1 - \frac{y}{y^*}\right), \qquad (3.13)$$

де λ – інтенсивність зміни питомого електроспоживання в групі; y^* – максимальний потенціал питомого споживання електроенергії; y – теоретичне значення електроспоживання.

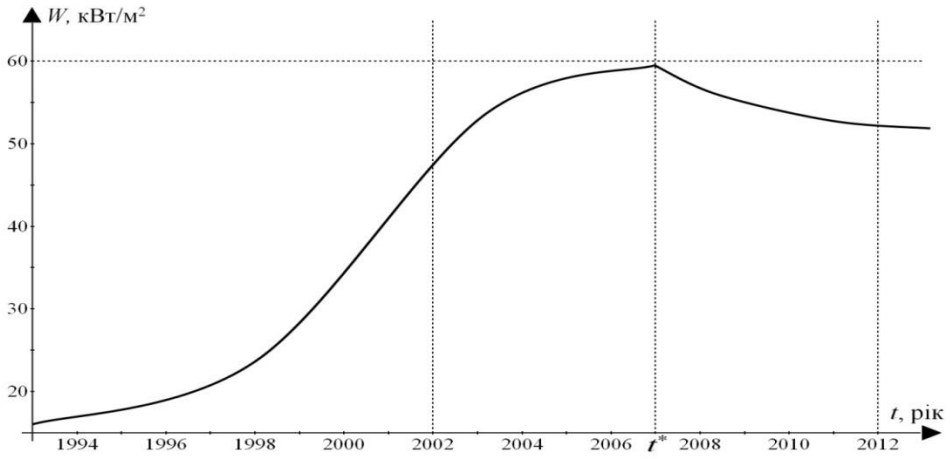


Рис. 3.3. Графічна інтерпретація логістичної регресії питомого споживання ЕЕ

Статистичне дослідження (табл. 3.7, рис. 3.4) демонструє, що трансформації функції у визначений період розташовані праворуч від точки перегину, тобто координати:

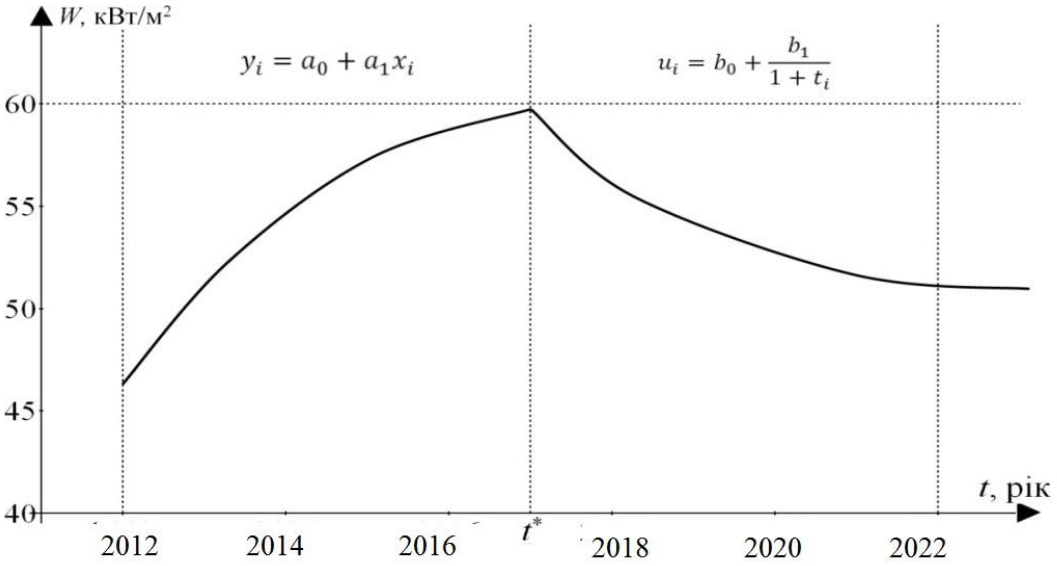


Рис. 3.4. Графік зміни питомого споживання ЕЕ

Під час вивчення логістичної кривої на інтервалі вихідну модель (3.13) можна трансформувати для лінійного оцінювання у зручнішу форму:

$$u_{теор_i} = b_0 + \frac{b_1}{(1+t_i)}, \; кВт{\cdot}год/м^2. \qquad (3.14)$$

де $u_{теор_i}$ – значення питомого споживання ЕЕ для конкретного періоду.

Для визначення параметрів b_0, b_1 та введемо додаткову змінну: $z_i = \frac{1}{1+t_i}$. Внаслідок отримуємо узагальнену лінійну модель електроспоживання в досліджуваній групі з урахуванням впливу енергозберігаючих технологій:

$$u_{теор_i} = b_0 + b_1 \cdot z_i, \; кВт{\cdot}год/м^2. \tag{3.15}$$

У просторі для часового виміру введемо початкову точку координат у 2017 році (2017 рік – $t_1 = 1$, 2018 рік – $t_1 = 1$ тощо) та формуємо таблицю 3.8.

Проаналізувавши статистичні матеріали, ми ідентифікували параметри та побудували модель ефективного електроспоживання під впливом впроваджених енергозберігаючих заходів:

$$u_{теор_i} = 39,77 + 37,08 \cdot z_i, \; кВт{\cdot}год/м^2, \tag{3.16}$$

де $z_i = \frac{1}{1+t_i}$.

Тобто, кінцева модель ефективності споживання ЕЕ:

$$u_{теор_i} = 39,77 + \frac{37,08}{1+t_i}, \; кВт{\cdot}год/м^2. \tag{3.17}$$

Графічне представлення (рис. 3.5) демонструє високу точність моделі (3.10) при описі динаміки електроспоживання, де простежується поступове зростання показників. Додатково унаочнено результати моделювання з урахуванням впровадження енергоощадних стратегій на базі логістичної регресії для періоду з 2017 до 2022 року.

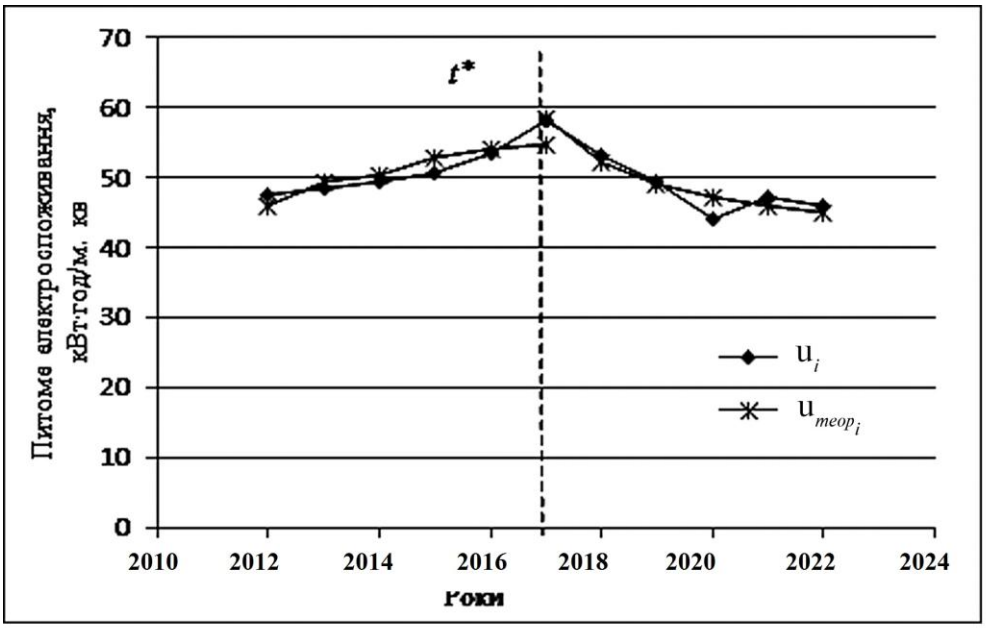


Рис. 3.5. Питоме споживання ЕЕ (фактичне u_i та теоретичне u_{meop_i})

Дослідження всіх сформованих кластерів технологічного університету дозволило встановити характерну тенденцію: до впровадження енергозберігаючих заходів електроспоживання поступово зростало, а після впровадження - почало поступово зменшуватися, сформовані моделі для кожного з кластерів та відповідних періодів електроспоживання (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 Моделі питомого споживання ЕЕ

Номер кластеру	До впровадження заходів, *кВт·год/м²*	R_{xy}	d	Після впровадження заходів, *кВт·год/м²*	R_{ty}	d
	$y_i^{(2002-2007)} = a_0 + a_1 x_i$			$u_i^{(2007-2012)} = b_0 + \frac{b_1}{(1+t_i)}$		
1	2	3	4	5	6	7
1	$y_i = 1{,}14 + 200{,}37 \cdot x_i$	0,940	0,890	$u_i = 21{,}28 + \frac{9{,}02}{(1+t_i)}$	0,920	0,860
2	$y_i = 8{,}32 + 38{,}72 \cdot x_i$	0,980	0,970	$u_i = 13{,}73 + \frac{4{,}29}{(1+t_i)}$	0,970	0,940

Подовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7
3	$y_i = 0,16 + 878,94 \cdot x_i$	0,840	0,710	$u_i = 39,77 + \frac{37,88}{(1+t_i)}$	0,940	0.900
4	$y_i = 1,03 + 78,18 \cdot x_i$	0,91	0,83	$u_i = 14,26 + \frac{14,11}{(1+t_i)}$	0,99	0,98
5	$y_i = 8,07 + 159,28 \cdot x_i$	0,95	0,92	$u_i = 14,08 + \frac{4,89}{(1+t_i)}$	0,94	0,89
6	$y_i = 3,10 + 581,75 \cdot x_i$	0,91	0,84	$u_i = 37,37 + \frac{31,10}{(1+t_i)}$	0,90	0,82

Наведені коефіцієнти кореляції та детермінації підтверджують високу статистичну значущість та адекватність розроблених моделей.

3.4. Встановлення важливості факторів, які впливають на формування кластерів

Для подальшого дослідження споживання ЕЕ будівлями навчального закладу критично важливо визначити детермінуючі чинники формування кожного кластера. Вирішення цього завдання передбачає порівняльний аналіз усереднених показників факторів у межах кожного кластера.

На підставі даних табл. 3.1 та 3.4 проведено розрахунок середніх значень впливових факторів та систематизовано результати в табл. 3.10.

Аналіз таблиці 3.10 демонструє диференційований вплив факторів на кластероутворення:

1. Кластери № 2, № 5, № 6 сформовані під визначальним впливом фактора X_4, оскільки його середнє значення перевищує загальний показник.

2. Кластери № 1, № 3, № 4 структуровані переважно під впливом фактора X_5.

Таблиця 3.10 Усереднені значення показників факторів в межах кластерів

Номер кластеру	Y	X_4	X_5
1	0,6180	1,2190	1,4640
2	0,0790	2,3830	1,1330
3	2,9740	0,1680	1,7770
4	0,6290	0,1500	0,6410
5	0,7070	1,1240	0,8020
6	0,1430	0,6630	0,3440

На рис.3.6 подана графічна інтерпретація цих залежностей.

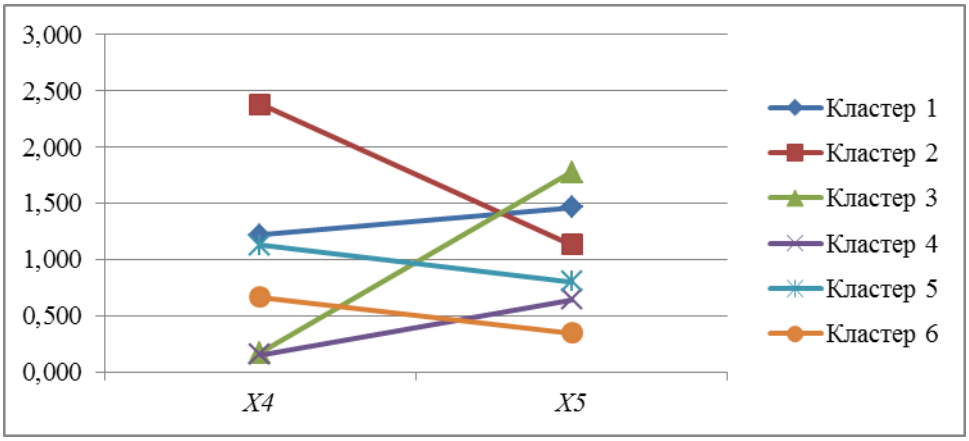


Рис.3.6. Графік зміни середніх показників факторів у кожному з кластерів

Статистичне дослідження дозволило встановити наступні системоутворюючі фактори:

- Для кластерів № 2, № 5, № 6: X_4 – середньорозрахункова чисельність осіб у приміщеннях;

- Для кластерів № 1, № 3, № 4: X_5 – загальна площа приміщень будівлі

Критерій Фішера підтверджує статистичну значущість моделей:

- Для кластерів № 2, № 5, № 6: $F = 128{,}15 > F_{крит} = 19{,}24$

- Для кластерів № 1, № 3, № 4: $F = 45{,}46 > F_{крит} = 19{,}24$

У табл. 3.11 подано результати усереднених річних показників питомих витрат ЕЕ для кожного, з виокремлених кластерів.

Таблиця 3.11 Загальні річні показники питомих витрат ЕЕ

Номер кластеру	X_4	X_5	Y	*кВт·год/чол*	*кВт·год/м²*
1	2367,0	18893,00	481140,0	–	25,50
2	1593,0	8287,60	130640,0	82,00	–
3	655,0	10540,90	612426,0	–	58,10
4	2480,0	10389,20	219175,0	–	21,10
5	150,0	3030,55	49340,0	328,90	–
6	823,0	9355,50	497166,0	604,10	–

Енергетична характеристика електроспоживання для досліджуваної групи № 4 після ідентифікації невідомих параметрів регресійної моделі, базованої на системоутворюючому факторі X_5 – загальній площі приміщень будівлі за статистичними даними 2017 року, матиме наступний математичний вираз, *кВт·год*:

$$W = -4248{,}98 + 23{,}14 \cdot X_5, \qquad (3.18)$$

Для групи № 6 – з урахуванням системоутворюючого фактора X_4 – середньорозрахункової чисельності осіб у приміщеннях за статистикою 2017 року модель набуде вигляду, *кВт·год* :

$$W = -2829{,}54 + 26{,}63 \cdot X_4, \qquad (3.19)$$

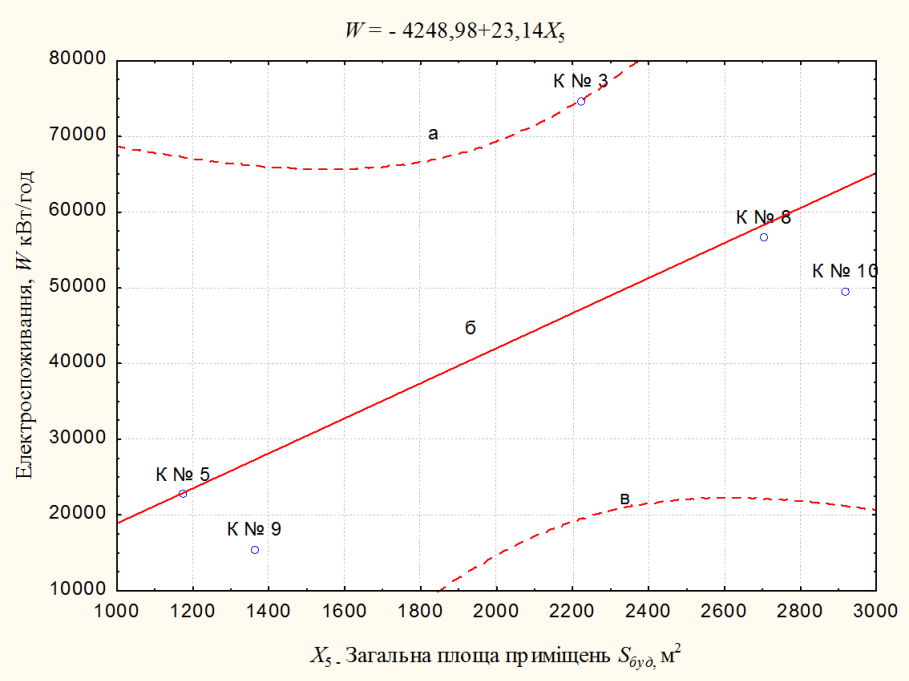


Рис. 3.7. Модель енергетичної характеристики споруд групи № 4 технологічного університету (а – верхня межа статистичної довірчості (граничні показники електроспоживання); б – базова лінія регресійної залежності; с – нижня межа статистичної довірчості)

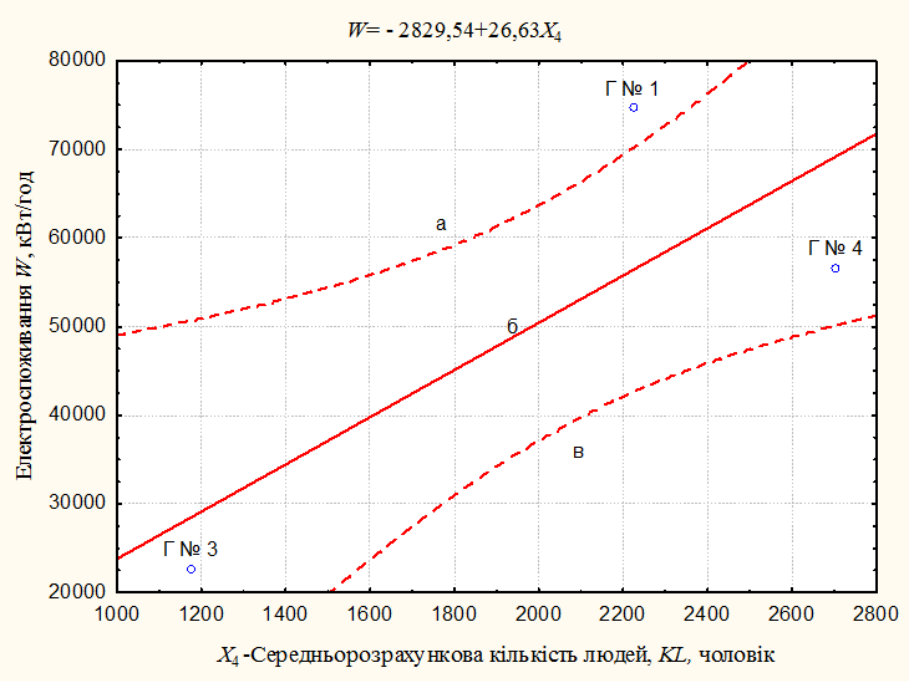


Рис. 3.8. Модель енергетичної характеристики споруд групи № 6 (а – верхня межа статистичної довірчості (граничні показники електроспоживання); б – базова лінія регресійної залежності; с – нижня межа)

На рис. 3.7 представлено дві гіперболічні криві, що формують своєрідний статистичний "коридор". У межах цього простору з 95-відсотковою довірчою ймовірністю розміщуються значення електроспоживання для кожного об'єкта групи № 4. Аналогічну графічну конструкцію демонструє рис. 3.8, де дві гіперболічні лінії окреслюють діапазон електроспоживання для будівель кластера № 6 з тією самою 95-відсотковою статистичною достовірністю.

Висновки по розділу 3.

1. Кластерне аналітичне дослідження ієрархічним методологічним підходом, за правилом об'єднання повного взаємозв'язку та обраного метричного способу встановлення близькості через евклідову відстань, уможливлює групування будівельних споруд технологічного університету в однорідні кластерні угруповання за їхніми енергетехнологічними характеристиками.

2. Верифікація кластеризаційного групування методом сферичної диференціації підтвердила, що обидва аналітичні підходи ідентично розподілили будівельні об'єкти навчального закладу за домінантними факторами електроенергетичного впливу.

3. Фізична інтерпретація кластерної структури, систематизованої за енергетехнологічними параметрами та проектним призначенням будівель, не лише відповідає наявним методикам розрахунку нормативів використання паливно-енергетичних ресурсів, але й суттєво підвищує їхню аналітичну якість.

4. Визначення енергетичних характеристик питомого споживання для об'єктів у межах кожного кластерного угруповання значно редукує обсяг математичних обчислень та підвищує ефективність аналізу електроенергетичних витрат закладу.

5. Лімітування електроспоживання для кожного об'єкта кластерного угруповання доцільно здійснювати на базі енергетичної характеристики

будівлі за головним фактором, фізична розмірність якого безпосередньо детермінує параметри питомої величини споживання.

6. Ідентифіковано та рекомендовано до першочергового енергетичного обстеження будівельні споруди з перевищеним та граничним рівнем енергоспоживання.

РОЗДІЛ 4
СТРАТЕГІЧНЕ АДМІНІСТРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ В ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

4.1. Прогнозування та оптимізація електроенергетичного балансу навчального закладу

Методологічні вимоги до нормування електроспоживання в освітніх установах України передбачають:

– Уніфікацію методичного підходу на загальнодержавному рівні;

– Комплексне врахування технологічних, організаційних та наукових чинників з орієнтацією на прогресивні показники електроенергетичної ефективності;

– Формування на базі стратегічних організаційно-технічних трансформацій, спрямованих на оптимізацію використання паливно-енергетичних ресурсів;

– Перманентний моніторинг та корегування з урахуванням досягнутих результативних показників та динамічних змін споживацького середовища;

– Інтеграцію результатів енергетичної діагностики;

– Активізацію внутрішніх резервів економії енергетичних ресурсів;

– Врахування нормативних технічних характеристик обладнання, що комплексно відображають техніко-економічні параметри за умов оптимального функціонування з диференціацією ступенів фізичного зношення та впливу зовнішніх факторів;

– Застосування сучасних статистико-математичних інструментів прогнозування.

Найбільш результативним та верифікованим інструментом планування електроспоживання визнано метод експоненціального згладжування. Цей підхід належить до емпіричних методик. Визначення трендової оцінки здійснюється шляхом мінімізації експоненціально зваженого функціоналу похибок, *кВт·год*:

$$\alpha\sum_{i=1}^{\infty}\left[x(t_{n_н-i})-g^{*}(t_{n_н-i})\right]^{2}\theta_0^i=\min, \qquad (4.1)$$

де позначено: α – параметр інтенсивності згладжування; $\theta_0^i=1-\alpha$ – дисконтний коефіцієнт; $x(t_{n_н-i})$ – часова послідовність електроспоживання; $g^{*}(t_{n_н-i})$ – математична репрезентативна модель.

У випадку поліноміальної апроксимації трендової залежності завдання ідентифікації параметрів моделі, які мінімізують функціональний критерій (4.1), у науковій літературі отримало назву класичного експоненціального вирівнювання.

Коли тренд представляється сукупністю довільних détерміністичних функцій, відповідна методологія класифікується як адаптивне або узагальнене статистичне згладжування:

$$g(t)=\sum_{j=0}^{r}a_j t^j\ /\ j! \qquad (4.2)$$

Здебільшого поведінку досліджуваного процесу на локальних ділянках можна з достатньою точністю апроксимувати поліноміальною залежністю -го порядку.

В основі методології класичного експоненціального вирівнювання закладено концепцію експоненціальної середньої p -го порядку, яка для будь-якого тимчасового інтервалу визначається наступним формалізованим виразом:

$$S_t^p=\alpha S_t^{p-1}+\theta_0 S_{t-1}^p,\quad p=1,2,...,n,$$

де $S_t^0=x(t)$; $S_0^1,S_0^2,...,S_0^p$ – стартове значення експоненціальних середніх; S_{t-1}^p – експоненціальна середня р-го порядку в попередній часовий проміжок .

Невизначені коефіцієнти трендової залежності, відповідно до фундаментальної теореми експоненціального згладжування, розраховуються як лінійні композиції експоненціальних середніх S_t^p, $p=1,2,...,r+1$:

$$\vec{A}_t^{*}=M^{-1}\vec{S}_t, \qquad (4.3)$$

Де $\vec{A}_t^*$ – вектор-стовпчик розмірності $(r+1)\times 1$, компонентами якого виступають оцінювані невідомі коефіцієнти трендової залежності в конкретний часовий інтервал t:

$$\vec{A}_t^* = \begin{pmatrix} a_{0t}^* \\ a_{1t}^* \\ \vdots \\ a_{rt}^* \end{pmatrix};$$

M – матриця з розмірністю $(r+1)\times(r+1)$, де елементи (на перетині i-го рядка та k-го стовпця) мають наступну структуру:

$$m_{ik} = (-1)^{k-1} \frac{\alpha^i}{(i-1)!(k-1)!} \sum_{j=0}^{\infty} \theta_0^j \, j^{k-1} \frac{(i+j-1)!}{j!};$$

$\vec{S}_t$ – вектор-стовпчик розмірності $(r+1)\times 1$, що містить згладжені значення електроспоживання:

$$\vec{S}_t = \begin{pmatrix} S_t^1 \\ S_t^2 \\ \vdots \\ S_t^{r+1} \end{pmatrix}.$$

Ініціалізація початкових значень експоненціальних середніх здійснюється переважно на підставі попередньої оцінки коефіцієнтів трендової моделі. Такі попередні оцінки можуть бути визначені, виходячи із вибіркових даних класичним методом найменших квадратів.

Послідовність математичних перетворень при експоненціальному вирівнюванні для лінійної моделі продемонструємо на прикладі електроенергетичних показників групи № 4 за січневий період на базі статистичних даних 2012-2022 років.

Позначимо фактичне споживання ЕЕ кластером № 4 $W^4_{січень}$ у січні 2012-2022 років як y_t, а прогнозований показник споживання – як y_t. Динаміка трансформації споживання ЕЕ може бути репрезентована лінійним рівнянням y_t=19042,5 + 124,3t, для якого середнє значення суми квадратів відхилень значень змінної від розрахункових значень $\frac{\sum(y_t - y_t)^2}{n} = \varepsilon = 2275025,$ де n – кількість досліджуваних періодів.

Розрахунок показників прогнозуючої функції відбувається:

$$y_{t+1} = \mathrm{a}_0 + l\mathrm{a}_1, \tag{4.5}$$

при α = 0,3 представлено в табл. 4.4, а графічну динаміку зміни згладжування за різних значеннях α зображено на рис. 4.1.

Таблиця 4.4. Зразок обчислення параметрів прогнозуючої функції (для α = 0,3)

t	S_t^1	S_t^2	a_0	a_1	$\hat{y}_t$	y_t	y_t-$\hat{y}_t$	$(y_t$-$\hat{y}_t)^2$
	18752,500	18462,40	19042,50	124,30	-	-	-	-
$\hat{y}_1$	18453,80	18459,90	18447,80	-2,60	19166,80	17757,0	-1409,80	1987536,0
$\hat{y}_2$	18536,10	18482,70	18589,40	22,90	18445,20	18728,0	282,80	79965,0
$\hat{y}_3$	18765,00	18567,40	18962,50	84,70	18612,30	19299,0	686,70	471549,0
$\hat{y}_4$	19521,90	18853,70	20190,00	286,30	19047,20	21288,0	2240,80	5021227,0
$\hat{y}_5$	20013,60	19201,70	20825,50	348,00	20476,30	21161,0	684,70	468750,0
$\hat{y}_6$	20919,40	19717,00	22121,80	515,30	21173,50	23033,0	1859,50	3457806,0
$\hat{y}_7$	21064,20	20121,20	22007,20	404,20	22637,20	21402,0	-1235,20	1525608,0
$\hat{y}_8$	20873,30	20346,80	21399,90	225,70	22411,40	20428,0	-1983,40	3933800,0
$\hat{y}_9$	20511,10	20396,10	20626,20	49,30	21625,50	19666,0	-1959,50	3839669,0
$\hat{y}_{10}$	20098,00	20306,70	19889,30	-89,40	20675,50	19134,0	-1541,50	2376079,0
$\hat{y}_{11}$	19633,60	20104,80	19162,40	-201,8	19799,90	18550,0	-1249,90	1562191,0
$\hat{y}_{12}$	$\hat{y}_{11+1}$=a_0+la_1				**18960,50**		Сер. знач ε	**2247653,0**
$\hat{y}_{13}$	$\hat{y}_{11+2}$=a_0+la_1				**18758,60**			

Аналіз табл. 4.4 демонструє динамічний механізм адаптивної моделі. На кожному етапі обчислень відбувається коригування параметрів лінійної моделі, що безпосередньо залежить від похибки попереднього передбачення.

Саме ця властивість забезпечує моментальну адаптацію та реагування на найменші коливання досліджуваного показника, що і становить унікальність запропонованого методу згладжування. Принципова особливість підходу полягає в гнучкому налаштуванні математичної моделі, яка миттєво трансформується відповідно до отриманих результатів. Така адаптивність дозволяє підтримувати високу точність прогнозування та оперативно враховувати зміни в досліджуваному процесі.

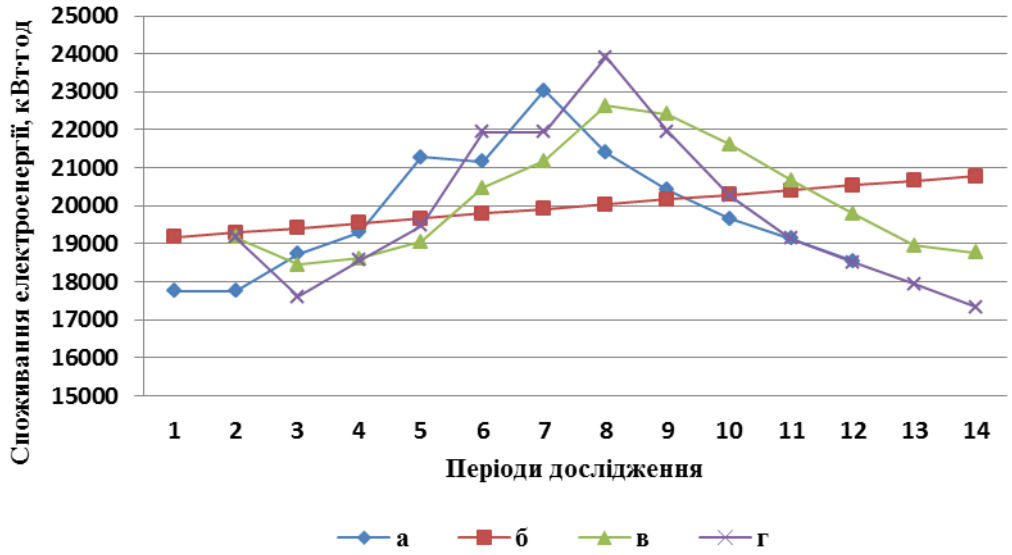


Рис. 4.1. Тренди кривих згладжування: а – y_t; б – $y_t = 0{,}1859+0{,}0051t$; в – y_t за $\alpha = 0{,}3$; г – y_t за $\alpha = 0{,}6$

Графічне зображення на рис. 4.1 надає переконливе підтвердження теоретичного припущення. Шляхом цілеспрямованої оптимізації константи α можна суттєво підвищити точність планування та прогнозування. Додаткове обґрунтування цього методологічного підходу простежується при зіставленні статистичних показників – зокрема, при порівнянні середньоквадратичних відхилень фактичних параметрів від змодельованих результатів.

Запропонована методика демонструє потужний інструментарій для підвищення достовірності математичного моделювання, де тонке налаштування константи виступає ключовим чинником отримання максимально репрезентативних прогнозних значень.

Оптимізація параметру включає делікатне налаштування константи згладжування, яке максимально точно корелює з динамічними характеристиками досліджуваного процесу. У представленому аналізі розглянуто особливості трансформації показників електроспоживання для кластера № 4 впродовж десятирічного періоду (2012-2022 роки). Експериментальне дослідження передбачало детальне вивчення середньоквадратичних відхилень між фактичними та змодельованими значеннями при варіюванні константи в межах від 0,1 до 1,0. Результати цього аналізу систематизовано та внесено до табл. 4.5, що дозволяє комплексно оцінити ефективність обраного методологічного підходу.

Таблиця 4.5 Аналітичні показники прогностичної моделі та міра її статистичної відповідності

t	S_t^1	S_t^2	a_0	a_1	$\hat{y}_t$	y_t	$y_t-\hat{y}_t$	$(y_t-\hat{y}_t)^2$
	18752,50	18462,40	19042,50	124,30	-	-	-	-
$\hat{y}_1$	18453,80	18459,90	18447,80	-2,60	19166,80	17757,0	-1409,80	1987536,0
$\hat{y}_2$	18536,10	18482,70	18589,40	22,90	18445,20	18728,0	282,80	79965,0
$\hat{y}_3$	18765,00	18567,40	18962,50	84,70	18612,30	19299,0	686,70	471549,0
$\hat{y}_4$	19521,90	18853,70	20190,00	286,30	19047,20	21288,0	2240,80	5021227,0
$\hat{y}_5$	20013,60	19201,70	20825,50	348,00	20476,30	21161,0	684,70	468750,0
$\hat{y}_6$	20919,40	19717,00	22121,80	515,30	21173,50	23033,0	1859,50	3457806,0
$\hat{y}_7$	21064,20	20121,20	22007,20	404,20	22637,20	21402,0	-1235,20	1525608,0
$\hat{y}_8$	20873,30	20346,80	21399,90	225,70	22411,40	20428,0	-1983,40	3933800,0
$\hat{y}_9$	20511,100	20396,10	20626,20	49,30	21625,50	19666,0	-1959,50	3839669,0
$\hat{y}_{10}$	20098,00	20306,70	19889,30	-89,40	20675,50	19134,0	-1541,50	2376079,0
$\hat{y}_{11}$	19633,60	20104,80	19162,40	-201,8	19799,90	18550,0	-1249,90	1562191,0
$\hat{y}_{12}$	$\hat{y}_{11+1}=a_0+la_1$				**18960,50**		Сер. знач ε	**2247653,0**
$\hat{y}_{13}$	$\hat{y}_{11+2}=a_0+la_1$				**18758,60**			

Методика демонструє інноваційний спосіб адаптивного моделювання, де кожна зміна параметра розкриває нові грані інтерпретації досліджуваного процесу споживання ЕЕ.

Результати табл. 4.5 переконливо демонструють, що найбільш ефективним є параметр α, який дорівнює 0,6. Цей висновок ґрунтується на

статистичному критерії мінімізації середньоквадратичних відхилень, котрі становлять 1625348 кВт·год, що є найнижчим показником точності прогнозування. Графічна ілюстрація на рис. 4.2 наочно відображає еволюцію прогнозних значень при послідовній зміні константи згладжування в діапазоні від 0,1 до 1,0. Представлена динаміка дозволяє комплексно оцінити чутливість моделі до варіацій параметра α та визначити оптимальну точку налаштування для максимальної репрезентативності результатів.

Проведений аналіз підтверджує ключову методологічну гіпотезу про можливість підвищення прогностичної точності шляхом прецизійного налаштування параметрів математичної моделі.

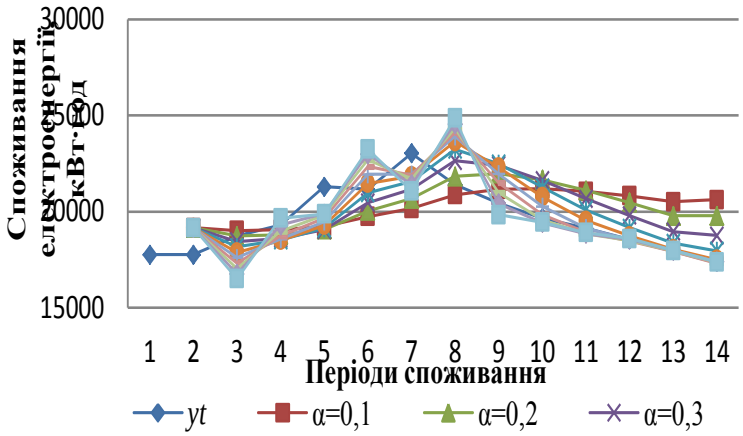


Рис. 4.2. Графічна модель залежності середньоквадратичних девіацій від параметричних змін моделі

На рис. 4.3 представлено графічну інтерпретацію впливу параметра згладжування на інтегральну статистичну похибку моделі. Графік наочно демонструє трансформацію середньоквадратичних відхилень при варіативному налаштуванні константи α. Представлена візуалізація розкриває механізм впливу параметра згладжування на точність математичної моделі, демонструючи складні нелінійні взаємозв'язки між налаштуваннями та результативністю прогнозування.

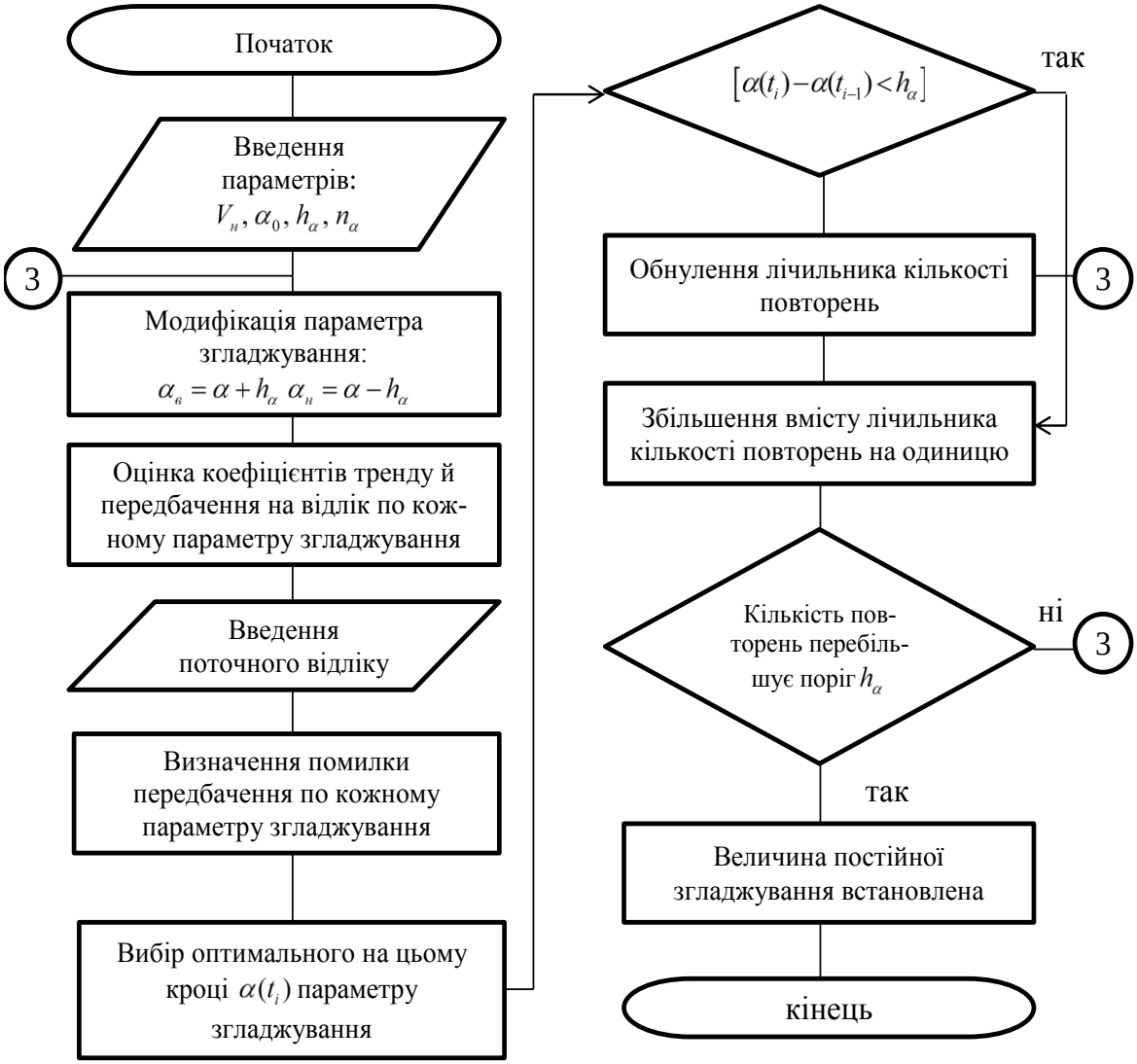


Рис. 4.4. Методологічна послідовність параметричної адаптації прогнозної моделі

Результати обчислень, що враховують прогнозну похибку, систематизовано в табл. 4.7.

Таблиця 4.7. Аналітичні показники планування з інтегральною оцінкою прогнозної похибки при α = 0,62

Період часу	Планове значення, *кВт·год*	Похибка прогнозного значення, *кВт·год*
Січень 2023	17929	± 302
Січень 2024	17316	± 343

Наступний етап дослідження передбачає компаративний аналіз середньоквадратичних відхилень між фактичними та змодельованими значеннями. В табл. 4.8 презентовано детальне зіставлення результативності різних аналітичних підходів.

Таблиця 4.8 Компаративна оцінка ефективності аналітичних методологій

№ з/п	Тип функціональної залежності	$\sum(y_t - y)^2$
1	Лінійна залежність y_t = 19042,5 + 124,3t	2275000,00
2	Експоненційне вирівнювання для значення α = 0,3	2247000,00
3	Експоненційне вирівнювання для значення α = 0,6	1625000,00
4	Експоненційне вирівнювання для значення α = 0,62	1622000,00

4.2. Методика вибору ключових енергоефективних заходів

Основні напрями енергозбереження у закладах вищої освіти включають:

- забезпечення якісного ремонту електротехнічного обладнання;
- інтеграція сучасного електрообладнання;
- раціоналізація режимів експлуатації побутового й лабораторного електрообладнання;
- вдосконалення схем електропостачання;
- популяризація ідей енергозбереження серед персоналу, викладачів та студентів;
- організація моніторингу енергоспоживання на об’єктах.

Головна мета реалізації таких заходів полягає у досягненні максимальної економії електроенергії при мінімальних фінансових витратах.

Кожен напрям енергозбереження передбачає розробку конкретних заходів експлуатаційною службою навчального закладу, для впорядкування цих напрямів і заходів, а також їх наочної демонстрації, використано діаграму Ісікави, наведеної на рис. 4.5.

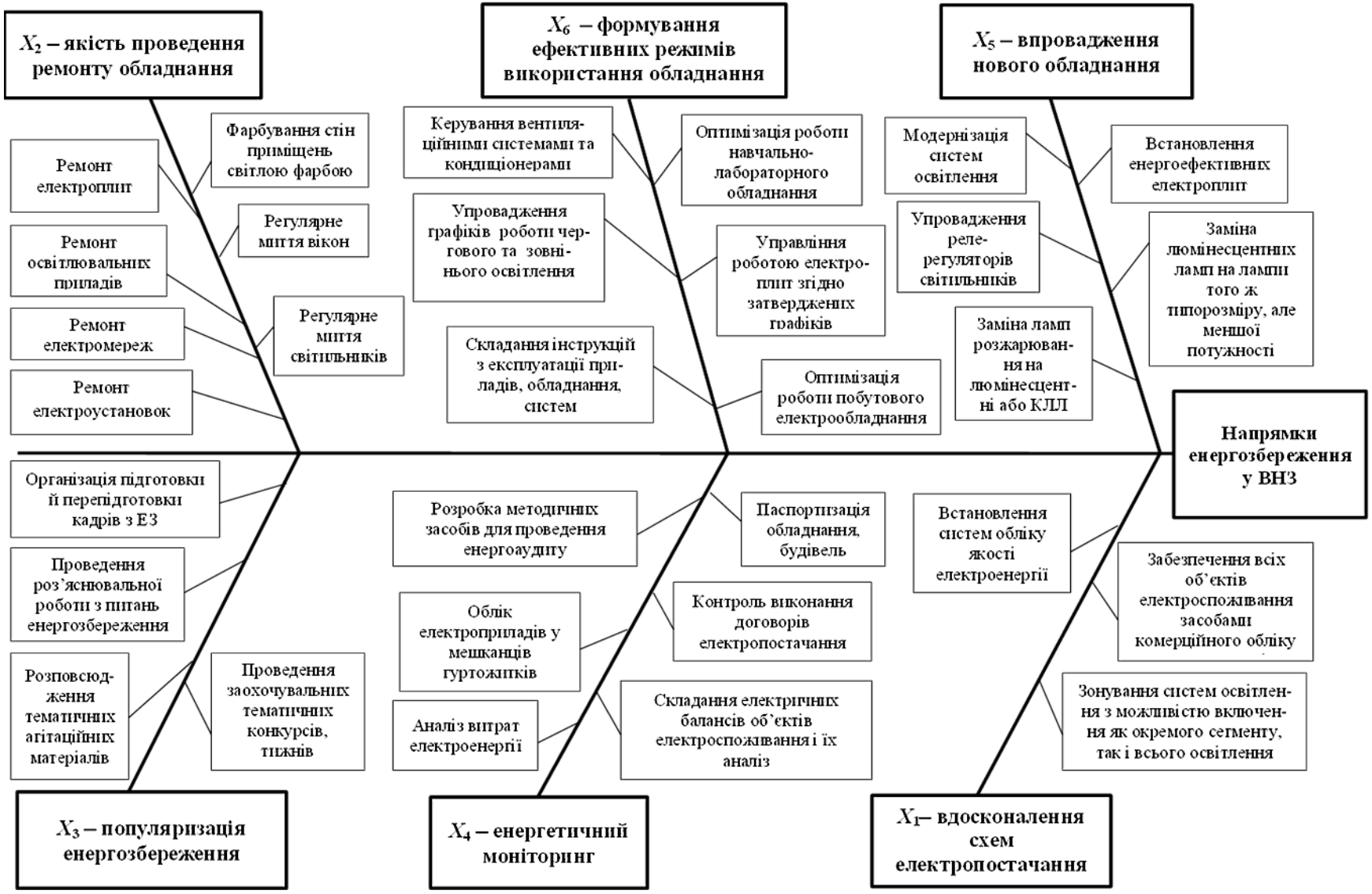


Рис. 4.5. Діаграма Ісікави: основні напрями та заходи з енергозбереження у закладах вищої освіти

Визначення рівня значущості (пріоритетності) ключових напрямків енергозбереження здійснено за допомогою експертної оцінки. У практичних умовах фахівці нерідко стикаються зі складнощами під час ранжування за окремою характеристикою або ж у випадках, коли кількість характеристик надто велика, щоб обґрунтовано розташувати їх у порядку зростання чи зменшення значення оцінки.

Таблиця 4.11 Результати експертного оцінювання енергоощадних напрямків

Порів.	**Найменування заходів**		**Номер експерта**					**Значення середньоїоцінки**	
			1	**2**	**3**	**4**	**5**	**1-ша**	**2 - га**
$X_1 - X_2$	Вдосконалення схем електропостачання	Якість виконаного ремонту	1,00	0,500	1,50	0,50	1,50	1,00	1,00
$X_1 - X_3$	Вдосконалення схем електропостачання	Популяризація МЕЗ	1,50	0,500	0,50	0,50	1,50	0,90	1,10
$X_1 - X_4$	Вдосконалення схем електропостачання	Впровадження ЕнМ	1,50	0,500	0,50	0,50	0,50	0,70	1,30
$X_1 - X_5$	Вдосконалення схем електропостачання	Впровадження нового обладнання	1,50	0,500	0,50	0,50	1,50	0,90	1,10
$X_1 - X_6$	Вдосконалення схем електропостачання	Формування режимів використання обладнання	1,50	0,500	0,50	0,50	0,50	0,70	1,30
$X_2 - X_3$	Якість виконаного ремонту	Популяризація МЕЗ	0,50	1,500	1,5	0,50	0,5	0,9	1,10
$X_2 - X_4$	Якість виконаного ремонту	Впровадження ЕнМ	0,50	0,500	0,50	0,50	1,50	0,70	1,30
$X_2 - X_5$	Якість виконаного ремонту	Заміна старого обладнання	0,50	0,500	0,50	0,50	0,50	0,50	1,50
$X_2 - X_6$	Якість виконаного ремонту	Формування режимів використання обладнання	0,50	0,500	0,50	0,50	1,50	0,70	1,30
$X_3 - X_4$	Популяризація МЕЗ	Енергетичний моніторинг	1,50	0,500	0,50	1,50	1,50	1,10	0,90
$X_3 - X_5$	Популяризація МЕЗ	Заміна старого обладнання	1,50	0,500	1,50	1,00	0,50	1,00	1,00
$X_3 - X_6$	Популяризація МЕЗ	Формування режимів використання обладнання	1,50	0,500	1,50	1,00	0,50	1,00	1,00
$X_4 - X_5$	Впровадження ЕнМ	Заміна старого обладнання	0,50	1,500	0,50	1,00	0,50	0,80	1,20
$X_4 - X_6$	Впровадження ЕнМ	Формування режимів використання обладнання	0,50	0,500	0,50	0,50	0,50	0,50	1,50
$X_5 - X_6$	Впровадження нового обладнання	Формування режимів використання обладнання	1,50	1,500	1,50	1,50	1,50	1,50	0,50

На основі результатів експертного анкетування було складено таблицю пріоритетності ключових напрямків енергозбереження (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. Пріоритетність основних напрямків енергозбереження

Індекс	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Визначення пріор.		Пріоритет	Вага напрямку %
							сума	$K_{пр.}$		
X_1	0,0	1,0	0,90	0,70	0,90	0,70	4,20	0,1400	5	14,20
X_2	1,0	0,0	0,90	0,70	0,50	0,70	3,80	0,1270	6	12,20
X_3	1,10	1,10	0,0	1,10	1,0	1,0	5,30	0,1770	3	17,30
X_4	1,30	1,30	0,90	0,0	0,80	0,50	4,80	0,1600	4	16,30
X_5	1,10	1,50	1,0	1,20	0,0	1,50	6,30	0,2100	1	21,40
X_6	1,30	1,30	1,0	1,50	0,50	0,0	5,60	0,1870	2	18,30

Методика визначення коефіцієнта пріоритетності ключових стратегій енергозбереження в освітніх установах ґрунтується на спеціальній розрахунковій формулі:

$$K_{пр.} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} k_i}{n \cdot (n-1)}, \tag{4.19}$$

де $\sum_{i=1}^{m-1} k_i$ вихідні значення екстрагуються зі зведеного стовпця «сума» таблиці 4.12; n – позначає кількість порівнюваних стратегічних напрямків.

Запропонована методологія передбачає розрахунок вагомості кожного фактора за відсотковою шкалою. Процедура кількісної оцінки передбачає встановлення частки кожного параметра відносно цілісної системи за формулою:

$$B_{i\ фактора} = \frac{K_{i\ пр.}}{\sum_{i=1}^{m} K_{i_{пр.}}} \cdot 100\,\%. \tag{4.20}$$

Результати аналітичного дослідження пріоритетності напрямків енергозберігаючої діяльності в освітніх закладах систематизовано в табл.4.12.

Графічна інтерпретація отриманих результатів представлена на рисунку 4.6 у форматі діаграми Парето, що надає наочну репрезентацію вагових характеристик та пріоритетності досліджуваних стратегій.

Принципова особливість підходу полягає в комплексній математичній оцінці значущості кожного напрямку енергозберігаючої політики, яка дозволяє здійснити ієрархічну структуризацію потенційних трансформацій.

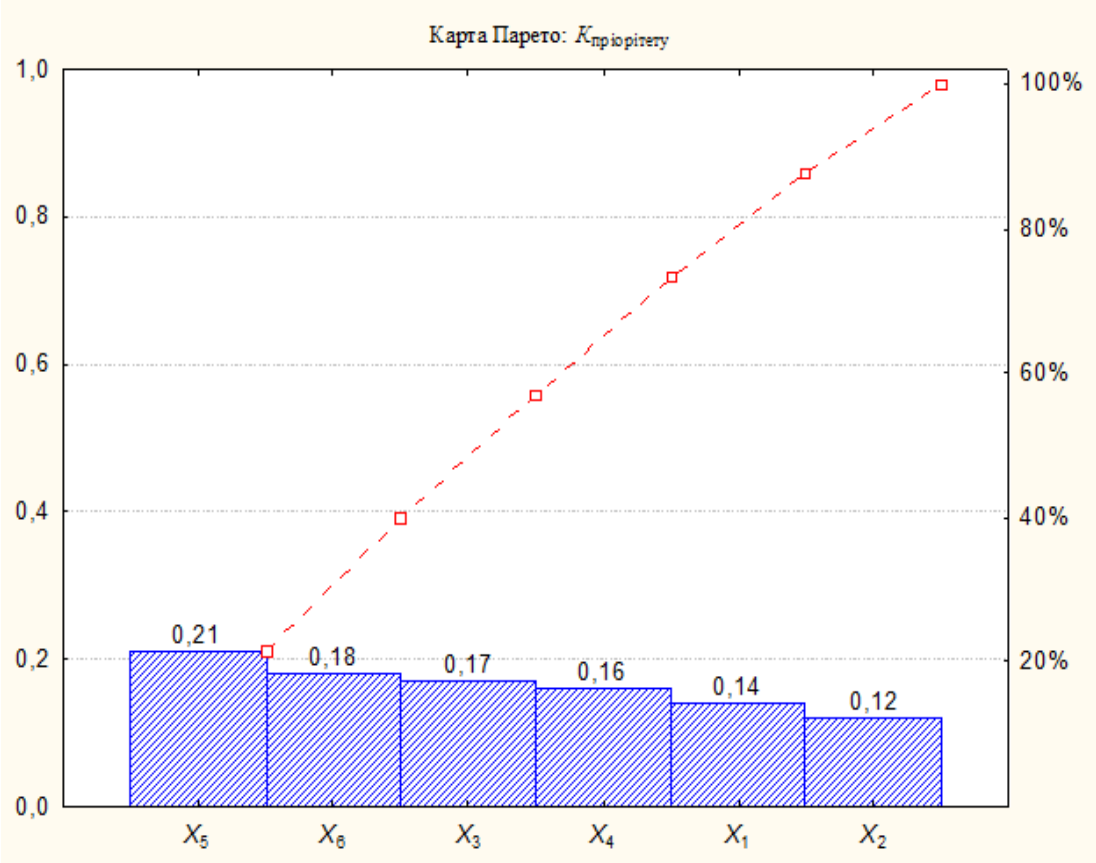


Рис. 4.6. Карта Парето, що демонструє пріоритетність і вагу головних напрямків енергозбереження у закладі вищої освіти

4.3. Енергозбереження в будівлях вищих навчальних закладів: управління

Механізм впровадження системи управління енергоефективністю у вищому навчальному закладі може реалізовуватися двома альтернативними підходами: перший варіант передбачає укладення енергетичного договору з

профільною сервісною організацією; другий напрямок базується на створенні спеціалізованого підрозділу енергетичного менеджменту всередині установи.

Поява нових компаній на ринку енергозберігаючих послуг для бюджетних установ відкриває додаткові канали контролю та регулювання використання паливно-енергетичних ресурсів.

Основні етапи управління енергозбереженням за моделлю енергетичного контракту та функції учасників відображені на рис. 4.7.

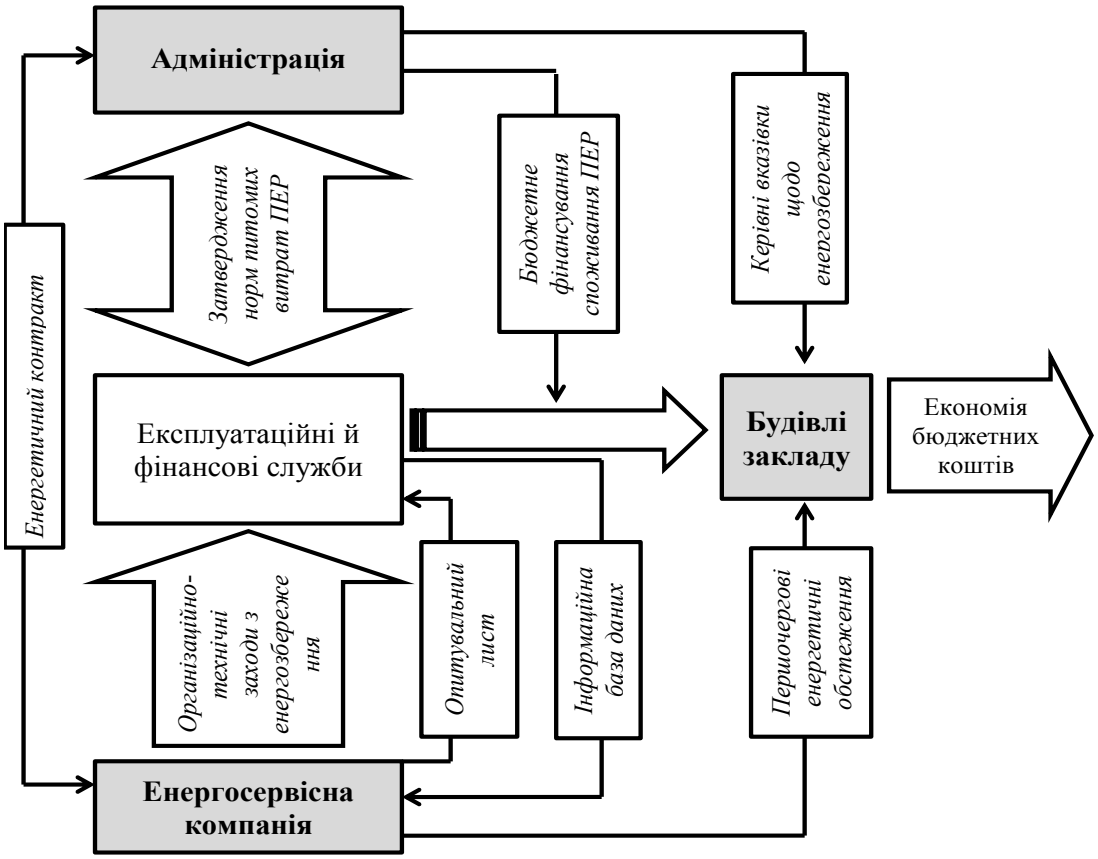


Рис. 4.7. Модель організації та впровадження енергетичного контракту

Відповідно до рис.4.7, сторонами-учасниками енергетичних контрактів є [21]:

– замовник – адміністрація ВНЗ;

– енергосервісна компанія – юридична особа з ліцензією на проведення енергетичних обстежень;

– споживачі ПЕР – будівлі ВНЗ.

Управління енергоспоживанням у ВНЗ передбачає використання різних підходів, що сприяють більш ефективному досягненню поставлених цілей. Важливою є системність підходу до управління. Поняття «система» та «системний підхід» у сучасному світі широко застосовуються в різних сферах знань. Система демонструє динамыку розвитку, пристосування до інноваційних середовищ шляхом формування нових взаємодій, компонентів з індивідуальними завданнями й методами реалізації. Такі принципи повинні бути представлені в концепції раціонального використання ресурсів навчального закладу відповідно до особливостей функціонування організації в цілому й механізму управління енергетичними процесами зокрема. Критичним компонентом, який у загальному контексті може бути інтегрований у стратегію ресурсозбереження, є розподіл відповідальності та функціональних обов'язків між адміністративними одиницями в межах системи управління енергетичною ефективністю. Система моніторингу енергетичних ресурсів, як і інші управлінські структури, охоплює елементи та учасників процесу. Її узагальнена структура представлена на відображена на рис. 4.8.



Рис. 4.8. Загальна структура системи ЕнМ

Відповідно, система регулювання енергозбереження в освітній установі повинна демонструвати чітко визначену мету (концепція й стратегічний напрямок у галузі раціонального використання ресурсів); специфічним складом, структурною організацією профільних адміністративних підрозділів

(учасники управлінського процесу); чітко окресленим механізмом впливу системи на результативність процесів, персоналу, організаційної структури загалом (об'єкт адміністрування); наявністю прямих і зворотних комунікаційних каналів між учасниками й елементами системи управління.

Графічна схема взаємовідносин підрозділу енергетичного менеджменту з іншими структурними одиницями навчального закладу представлена на рис. 4.9. Запровадження спеціалізованої служби енергетичного менеджменту в управлінську структуру освітньої установи для здійснення комплексного енергетичного моніторингу становить фундамент системи управління енергозбереженням.

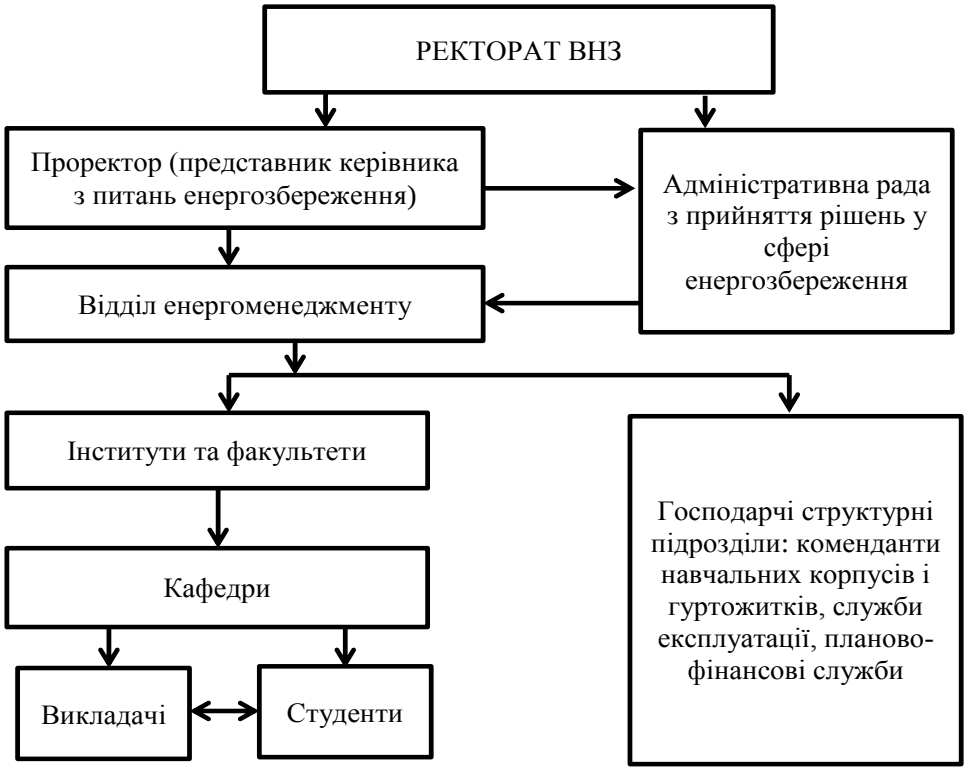


Рис. 4.9. Схема взаємовідносин відділу ЕнМ з іншими структурними підрозділами ВНЗ

Енергетичний моніторинг, базований на науково обґрунтованих методологічних підходах, слугує основою прийняття управлінських рішень, спрямованих на суттєве скорочення витрат на енергетичні ресурси в організації. Такий підхід підвищує точність планування та реалізації

фінансових бюджетів, а також надає переконливе обґрунтування перспективності інвестування в програми оптимізації енергоспоживання.

Робота системи енергетичного моніторингу полягає у виявленні на початковому етапі існуючих проблем ефективності енергоспоживання досліджуваного об'єкта, а потім у циклічному режимі аналізувати споживання ЕЕ та корегувати процес шляхом впровадження енергоощадних заходів (рис. 4.11).

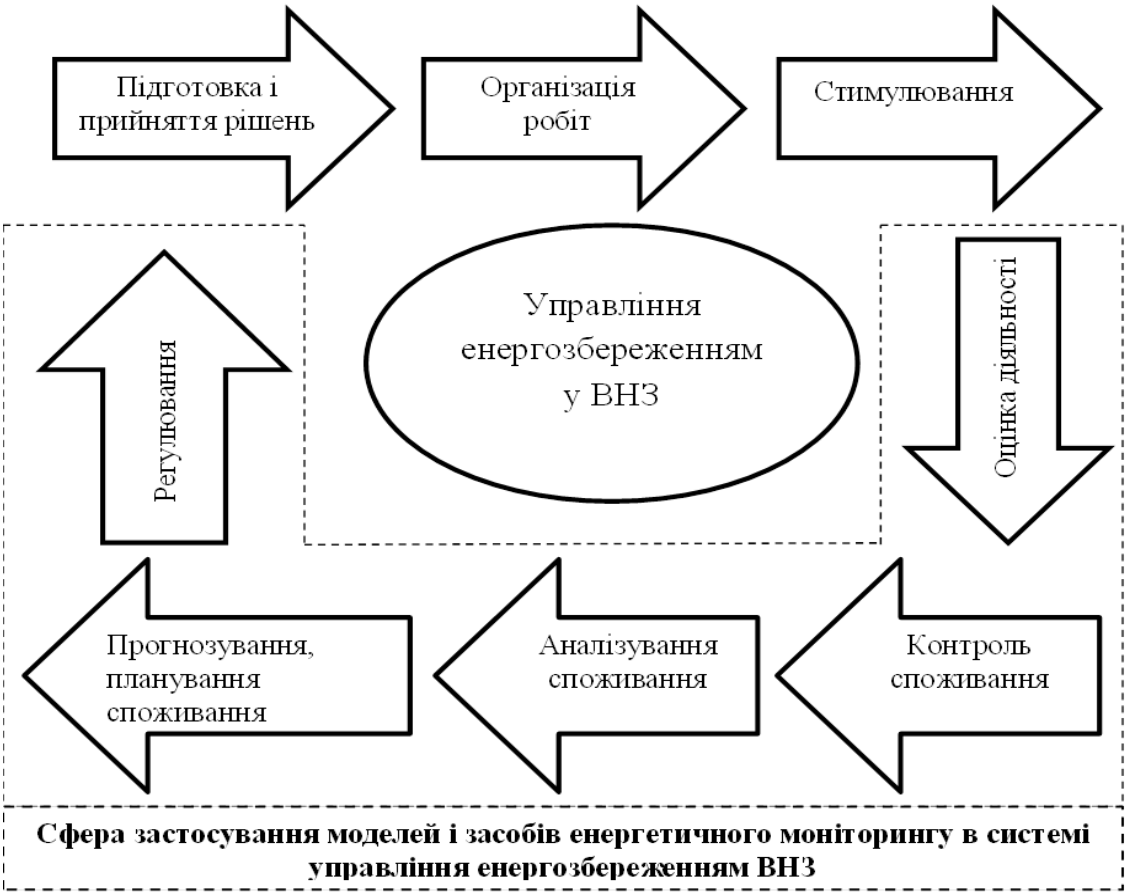


Рис. 4.10. Структурна схема загального циклу управління енергозбереженням у ВНЗ

Таким чином, енергетичний моніторинг на основі науково обґрунтованих засобів дозволяє отримувати готові управлінські рішення, які дозволять істотно скоротити витрат на споживання ЕЕ та ТЕ в установі.

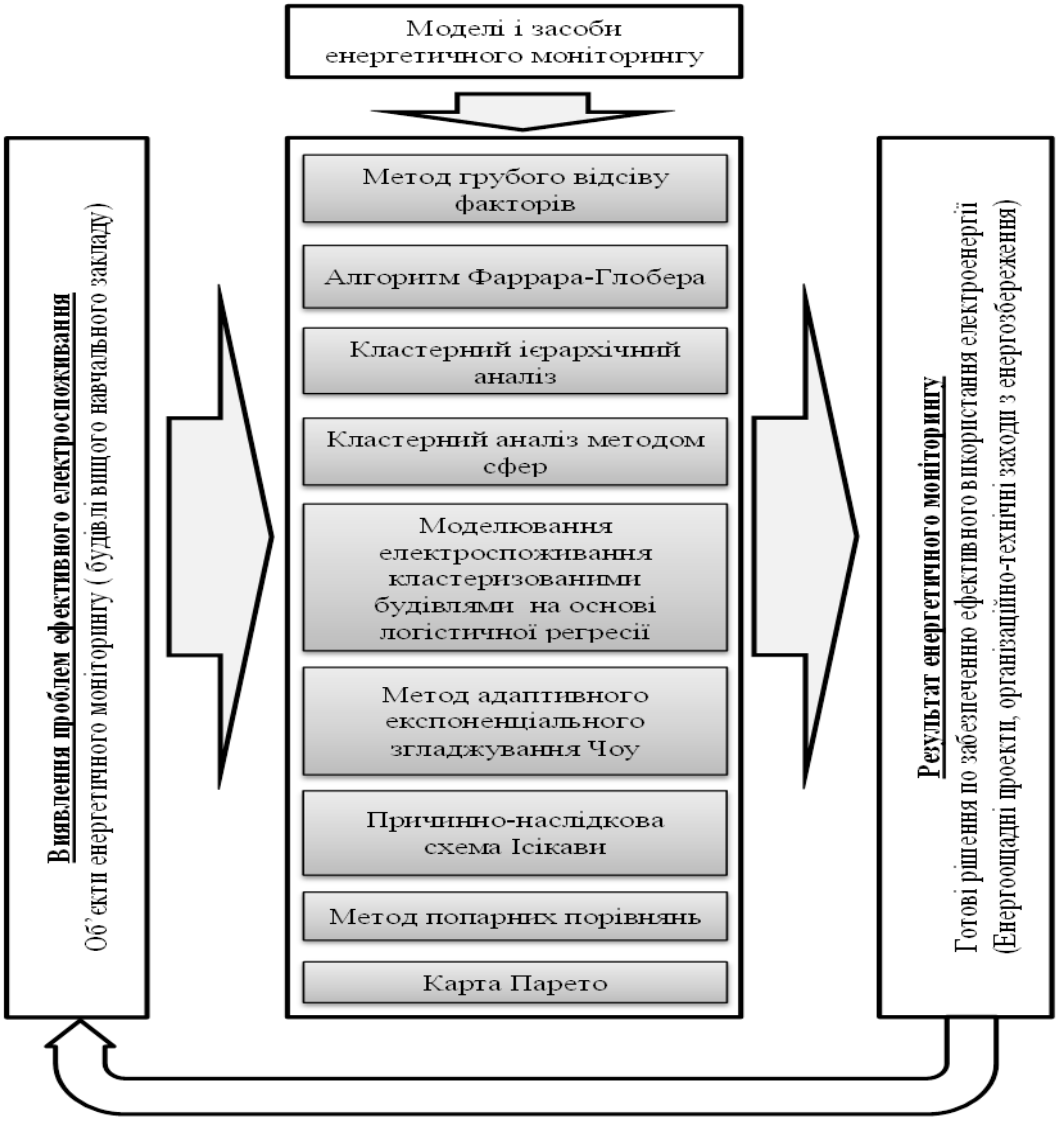


Рис. 4.11. Область застосування моделей і засобів енергетичного моніторингу

Висновки до розділу 4.

1. Для ефективного планування витрат електроенергії в закладах вищої освіти оптимально підходить метод експоненціального згладжування. Цей підхід має низку переваг, серед яких: можливість використовувати навіть обмежений обсяг вхідних даних, зрозумілий економічний сенс, простота розрахунків і висока точність отриманих результатів.

2. Ефективність методу Чоу залежить від правильного вибору коефіцієнта згладжування (α). Для досягнення максимальної точності параметр необхідно налаштовувати якомога ближче до оптимального значення. Зокрема, чим вище α, тим краще модель адаптується до змін у даних, а зниження коефіцієнта сприяє відображенню довгострокових тенденцій.

3. Запропоновано новий підхід, що дозволяє визначати ключові напрями енергозбереження та встановлювати їхню пріоритетність і значущість. Це надає можливість відповідальним особам приймати обґрунтовані рішення щодо організації енергозберігаючих заходів.

4. Впровадження підрозділу енергоменеджменту в управлінську структуру університету на основі систематичного енергетичного моніторингу дає змогу суттєво підвищити ефективність використання енергоресурсів.

ВИСНОВКИ

Дослідження спрямоване на удосконалення підходів до підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у закладах вищої освіти. У кваліфікаційній роботі отримано результати, що дозволяють зробити наступні висновки:

1. Аналіз нормативної та методичної бази у сфері енергозбереження свідчить про недостатню розробленість методик оцінки енергоефективності функціонування систем енергозабезпечення та споживання енергії будівлями. Це стосується переважно систем, окрім опалення та вимог до огороджувальних конструкцій. Вивчення проблематики раціонального використання енергоресурсів у закладах вищої освіти підтверджує актуальність цієї теми для України, особливо на тлі зростання цін на енергію у світі.

2. Виявлено, що експертне оцінювання є ключовим етапом у дослідженні енергетичних параметрів будівель, забезпечуючи високу якість результатів. Для остаточного визначення найважливіших параметрів без мультиколінеарності використовується алгоритм Фаррара–Глобера. Застосування цього методу дозволяє зменшити кількість показників, що впливають на споживання електроенергії, з 39 до двох основних, значно спрощуючи математичні моделі без втрати точності аналізу.

3. Розроблені математичні моделі електроспоживання університетських будівель демонструють високу статистичну достовірність. У модель включено лише два ключових параметри: X_4 — середню кількість осіб, що можуть одночасно перебувати у приміщеннях, і X_5 — загальну площу приміщень будівлі. Ці фактори пояснюють до 94 % варіації процесу електроспоживання, що робить моделі ефективними для подальших досліджень.

Такий підхід дозволяє оптимізувати енергоспоживання закладів освіти та сприяє загальному підвищенню їх енергоефективності.

4. Кластеризація об’єктів електроспоживання у закладах вищої освіти дає можливість створити статистично-математичні моделі для кожної групи, визначити допустимі межі енергоспоживання об’єктів із подібними характеристиками та розробити індивідуальні заходи з енергозбереження для кожного кластеру.

5. Удосконалений метод експоненціального згладжування, який враховує точність вибору параметрів, доповнений модифікаціями за методом Чоу, забезпечив можливість розробити динамічну процедуру планування електроспоживання для однорідних кластерів. Середня похибка при цьому складає лише 2%, що значно підвищує достовірність прогнозів.

6. Створено підхід, що базується на аналітичній схемі Ісікави та методі попарних порівнянь. Цей інструмент дозволив визначити пріоритети у впровадженні заходів з енергозбереження, а також оцінити їх значущість. Напрямки робіт у сфері оптимізації енергоспоживання структуровані за важливістю, що дає змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення. За результатами аналізу, коефіцієнт значущості впровадження нового електрообладнання (X_5) становить 21%, тоді як формування ефективних режимів використання електроприладів (X_6) має значення 18%.

7. Отримані результати забезпечують науково обґрунтовану методичну базу для підвищення енергоефективності закладів освіти. Це дозволяє зробити прогнозування точнішим та приймати управлінські рішення, спрямовані на зменшення споживання електроенергії будівлями університетів на 10–15%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плєшков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

2. Кваліфікаційна робота магістра: метод. рекомендації до змісту, структури та оформлення кваліфікаційної роб. : для студ. спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плєшков, К. Г. Петрова, Н. Ю. Гарасьова та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 74 с. Режим доступу: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13066.

3. Іванченко О.О. Енергоменеджмент в умовах енергетичної кризи / О.О. Іванченко // Наукові праці Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. – 2015. – Вип. 22. – С. 78-85.

4. Ковтуненко М.М. Ефективність використання відновлювальних джерел енергії в системах електропостачання ВНЗ / М.М. Ковтуненко, В.М. Герасименко, О.В. Савченко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2016. – Вип. 9. – С. 45-52.

5. Соловйова Н.В. Інтеграція сонячних електростанцій у структуру електроспоживання ВНЗ / Н.В. Соловйова, В.В. Кравець // Вісник НТУУ «КПІ». – 2017. – Вип. 33. – С. 25-33.

6. Червоненко А.О. Методика управління енергоспоживанням в умовах сучасного ВНЗ / А.О. Червоненко, В.І. Яковенко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Енергетика та електротехніка». – 2018. – Вип. 21. – С. 67-73.

7. Smith J. Energy Management in Universities: A Practical Guide / J. Smith // Energy Efficiency Journal. – 2015. – Vol. 6, Issue 2. – P. 105-120.

8. Jones A. Integrating Renewable Energy Sources in University Buildings: Case Studies and Implementation Strategies / A. Jones // International Journal of Sustainable Energy. – 2016. – Vol. 18, Issue 1. – P. 45-55.

9. Brown R. Energy Efficiency Practices in Higher Education Institutions: Challenges and Solutions / R. Brown, M. Green // Energy Policy. – 2017. – Vol. 25, Issue 4. – P. 670-679.

10. Clark M. Energy Management Systems in Higher Education / M. Clark, K. Anderson // Journal of Sustainable Development. – 2018. – Vol. 23, Issue 2. – P. 90-102.

11. Lee S. Optimization of Energy Consumption in University Buildings: A Review / S. Lee // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 32. – P. 112-119.

12. Williams P. Best Practices for Energy Efficiency in Educational Facilities / P. Williams, A. Jones // Sustainable Buildings and Energy. – 2020. – Vol. 28. – P. 201-215.

13. Johnson T. Energy Management in Higher Education: A Comparative Analysis / T. Johnson, B. Thompson // Environmental Science & Policy. – 2021. – Vol. 12, Issue 3. – P. 176-185.

14. Martinez M. Demand Response Strategies for Universities / M. Martinez // Energy Efficiency Journal. – 2022. – Vol. 16, Issue 1. – P. 33-42.

15. Nowak A. Zarządzanie energią w szkołach wyższych: teoria i praktyka / A. Nowak, M. Zieliński // Przegląd Naukowy Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. – 2017. – Z. 18. – S. 67-74.

16. Kowalski M. Efektywność energetyczna w uczelniach wyższych / M. Kowalski, K. Mazur // Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania. – 2018. – Nr 31. – S. 45-52.

17. Sienkiewicz J. Metody zarządzania energią w uczelniach wyższych / J. Sienkiewicz, M. Wiśniewska // Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. – 2019. – Z. 14. – S. 78-85.

18. Kowalczyk T. Zarządzanie zużyciem energii w budynkach uczelni / T. Kowalczyk, A. Czerwiński // Rocznik Naukowy Politechniki Białostockiej. – 2020. – R. 27. – S. 55-63.

19. Jankowski P. Analiza efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii w uczelniach wyższych / P. Jankowski, M. Sawicki // Przegląd Naukowy Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. – 2021. – Z. 22. – S. 45-52.

20. Шимчук В.П. Механізми управління споживанням енергії в університетах / В.П. Шимчук, Ю.В. Маленко // Вісник НУ "Київський політехнічний інститут". Серія "Енергетика". – 2023. – Вип. 21. – С. 95-103.

21. Савельєва О.О. Розвиток систем енергозбереження в університетах / О.О. Савельєва, О.В. Бабій // Науковий журнал НТУ "Київський політехнічний інститут". Серія "Енергетика". – 2024. – № 1. – С. 51-59.

22. Кравчук В.О. Енергозбереження в освітніх закладах України: теоретичні та практичні аспекти / В.О. Кравчук, В.В. Стрілець // Економічні дослідження. – 2024. – № 2. – С. 40-50

ДОДАТКИ

Додаток А. Охорона праці в управлінні споживанням ЕЕ у вищому навчальному закладі

А.1. Загальні вимоги охорони праці

Управління споживанням електричної енергії у вищому навчальному закладі потребує ретельного дотримання вимог охорони праці, які включають створення безпечних умов праці для працівників і студентів. Основними завданнями є забезпечення безпеки електробезпеки, регулярні інструктажі, а також проведення навчальних заходів для персоналу.

Електробезпека є ключовим аспектом, що вимагає безперервного моніторингу та контролю. Це включає заземлення електрообладнання, автоматичні захисні пристрої, а також системи протипожежного захисту. Регулярні обстеження та перевірки технічного стану електричного обладнання мають бути обов’язковими, щоб виявляти і усувати дефекти, які можуть призвести до аварійних ситуацій.

А.2. Організація безпеки праці

Організація безпеки праці у ВНЗ повинна передбачати:

- Ідентифікацію ризиків: Визначення можливих загроз для працівників та студентів, таких як ризики ураження електричним струмом, пожежна небезпека, ризики, пов'язані з високими температурами, а також впливом хімічних речовин.
- Оцінку ризиків: Дослідження наслідків цих ризиків та ймовірності їх виникнення для розробки ефективних заходів з мінімізації або усунення цих загроз.
- Розробку заходів з безпеки: Впровадження технічних заходів безпеки, включаючи системи заземлення, автоматичні захисні пристрої, а також протипожежні системи. Це також включає регулярне технічне обслуговування електрообладнання, виявлення та усунення дефектів.

А.3. Навчання та інструктажі

Для забезпечення ефективного управління споживанням електричної енергії у ВНЗ необхідно організувати регулярні навчання та інструктажі для персоналу, який займається обслуговуванням та управлінням електричною системою. Це включає:

- Інструктаж на робочому місці: Проводиться перед початком роботи та включає ознайомлення з правилами безпеки, правилами поводження з електрообладнанням, а також навчання техніці безпечного виконання робіт.
- Періодичне навчання: Проведення курсів підвищення кваліфікації для технічного персоналу, що відповідає за управління електричними системами. Це дозволяє оновлювати знання щодо нових технологій, стандартів та змін у вимогах безпеки.
- Заняття з евакуації: Регулярні тренування з питань евакуації у разі надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, коротке замикання або витоки газу, для працівників та студентів.

А.4. Інформаційне забезпечення охорони праці

Інформаційне забезпечення охорони праці включає:

- Розміщення інформаційних стендів: Інформаційні стенди, що містять інструкції, правила та стандарти з охорони праці, мають бути доступними у зручних місцях, таких як роздягальні, коридори, лабораторії.
- Контроль над документами: Ведення реєстру інструкцій, журналів технічного обслуговування електрообладнання, актів перевірок безпеки, а також інших документів, що стосуються охорони праці.
- Забезпечення доступу до інформації: Зокрема, використання цифрових платформ для доступу до навчальних матеріалів з охорони праці, правил експлуатації електрообладнання, а також забезпечення доступу до нормативних документів.

А.5. Профілактичні заходи та контроль

Профілактичні заходи у сфері охорони праці включають:

- Регулярні обстеження та перевірки**:** Регулярні перевірки електричних систем і обладнання на наявність дефектів та правильність їх експлуатації. Виявлені проблеми мають бути усунені відповідно до встановлених термінів.
- Обмеження доступу до небезпечних зон**:** Обмеження доступу до приміщень з небезпечним електрообладнанням, контроль за виконанням інструкцій з електробезпеки.
- Встановлення засобів колективного захисту: Використання таких засобів, як світлові та звукові сигнали, огородження, автоматичні системи захисту тощо, для забезпечення безпеки працівників.

А.6. Взаємодія з іншими підрозділами

Важливим аспектом є взаємодія відділу енергоменеджменту з іншими підрозділами ВНЗ, такими як адміністрація, служба технічного обслуговування, відділ охорони праці, з метою забезпечення координації заходів з охорони праці. Система управління охороною праці повинна включати регулярні наради, обмін інформацією, а також розробку спільних планів дій на випадок надзвичайних ситуацій.

Забезпечення охорони праці у процесі управління споживанням електричної енергії у вищому навчальному закладі є запорукою збереження життя і здоров'я працівників та студентів, зниження ризиків аварійних ситуацій і підвищення загальної ефективності управління енергоспоживанням.