

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

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:
«Формування науково-обґрунтованого механізму
моніторингу енергоспоживання житлових та громадських
будівель»

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи *ЕНМ-23МЗ*

ОПП «Енергетичний менеджмент»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,

_____ Катерина КОЗКА

« _____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Катерина ПЕТРОВА

« _____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет ЦЗДО

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 ПЛЕСХОВ

« 02 » 09 2024 р.

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

Козки Катерини Віталіївни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Формування науково-обґрунтованого механізму моніторингу енергоспоживання житлових та громадських будівель

Development of a science-based mechanism for monitoring energy consumption in residential and public buildings

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 дослідження можливостей формування науково-обґрунтованого механізму моніторингу рівня енергоспоживання для будівель житлового та громадського призначення. Досягнення поставленої мети було забезпечене вирішенням наступних завдань: 1) дослідження режимів споживання теплової енергії та характерних особливостей будівель житлового та громадського призначення; 2) розроблення методики ранжування будівель житлового та громадського призначення; 3) дослідження та виокремлення ключових параметрів та показників, що впливають на енергоефективність та формують характерні режими споживання теплової енергії будівлями житлового та громадського призначення; 4) формування методики оцінювання рівня ефективності впровадження заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель.

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 існуючих методів та систем моніторингу споживання енергії в будівлях житлового та громадського призначення	30.09.2024 р.	
3	Дослідження можливостей використання нейронних мереж в задачах моніторингу будівель житлового та громадського призначення	14.10.2024 р.	
4	Побудова математичної моделі споживання ПЕР будівлями житлового та громадського призначення	28.10.2024 р.	
5	Оцінювання ефективності математичної моделі споживання пер будівлями житлового та громадського призначення	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 _____ Катерина КОЗКА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 120 с., 53 рис., 12 табл., 18 джерел

Козка К. В. Формування науково-обґрунтованого механізму моніторингу енергоспоживання житлових та громадських будівель. – 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 кваліфікаційної роботи є дослідження можливостей формування науково-обґрунтованого механізму моніторингу рівня енергоспоживання для будівель житлового та громадського призначення.

У роботі розглянуто дослідження режимів споживання теплової енергії та характерних особливостей будівель житлового та громадського призначення; розроблено методику ранжування будівель житлового та громадського призначення; досліджено та виокремлено ключові параметри та показників, що впливають на енергоефективність та формують характерні режими споживання теплової енергії будівлями житлового та громадського призначення; здійснено формування методики оцінювання рівня ефективності впровадження заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель.

Результати досліджень можуть бути використані для формування систем моніторингу будівель житлового та громадського призначення, а також як підґрунття для впровадження систем мотивації ефективного використання теплової енергії.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ЖИТЛОВІ ТА ГРОМАДСЬКІ БУДІВЛІ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

ABSTRACT

Qualification work: 120 p.; 53 fig.; 12 tables; 18 source

Kozka K. V. Development of a science-based mechanism for monitoring energy consumption in residential and public buildings. - 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 purpose of the qualification work is to research the possibilities of forming a scientifically based mechanism for monitoring the level of energy consumption for residential and public buildings.

The paper examines the study of thermal energy consumption modes and characteristic features of residential and public buildings; a methodology for ranking residential and public buildings was developed; the key parameters and indicators affecting energy efficiency and forming characteristic regimes of thermal energy consumption by residential and public buildings were investigated and identified; the formation of the methodology for assessing the level of effectiveness of the implementation of measures aimed at increasing the energy efficiency of buildings was carried out.

Research results can be used to form monitoring systems for residential and public buildings, as well as as a basis for implementing motivation systems for efficient use of thermal energy.

ENERGY CONSUMPTION MONITORING SYSTEM, RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS, NEURAL NETWORK, FUEL AND ENERGY RESOURCES

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В БУДІВЛЯХ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	11
1.1. Огляд поточного стану енергетичного сектору в Україні.....	11
1.2. Аналіз методів моніторингу споживання енергії в будівлях житлового та громадського призначення.....	26
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	35
2.1. Моніторинг енергоспоживання в системах енергетичного менеджменту	35
2.2. Методи ранжування об'єктів для впровадження системи моніторингу споживання ПЕР будівель житлового та громадського призначення	38
2.3. Аналізування рівня енергоспоживання будівель із застосуванням нейронних мереж Кохонена	58
Висновки до розділу 2	63
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ПЕР БУДІВЛЯМИ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	64
3.1. Аналізування режимів споживання теплової енергії будівлями житлового та громадського призначення.....	64
3.2. Математичне моделювання споживання ПЕР будівлями житлового та громадського призначення.....	70
Висновки до розділу 3	92

РОЗДІЛ 4. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ПЕР БУДІВЛЯМИ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	93
Висновки до розділу 4	107
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
ДОДАТКИ.....	113
ДОДАТОК А. Охорона праці.....	114

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БНМ	– багатошарові нейронні мережі
ВДЕ	– відновлювальні джерела енергії
ПЕР	– паливно-енергетичні ресурси
СЕМ	– системи енергетичного моніторингу
ІТП	– індивідуальний тепловий пункт
ТЕ	– теплова енергія
РБНМ	– радіально-базисні нейронні мережі

ВСТУП

Актуальність теми. Проблеми підвищення рівня ефективності використання ПЕР для будівель житлового та громадського призначення наразі мають одне із провідних значень для нашої країни. Надзвичайної актуальності це питання набуває у зв'язку з перманентним зростанням вартості енергоносіїв, істотного фізичного та морального зношення енергоспоживаючого устаткування.

Будівлі житлового та громадського призначення становлять ліву частку в загальному енергоспоживанні України, що робить їх роль ключовою у питанні впровадження систем моніторингу та енергоефективних заходів.

Проблема підвищення рівня енергоефективності будівель є комплексною та потребує системного підходу до її вирішення. На сьогодні, існуючі методи моніторингу часто характеризуються фрагментарністю та відсутністю науково-обґрунтованого методологічного підґрунтя. Це призводить, по-перше, до неефективного використання енергоресурсів, а, по-друге, значно ускладнює процес прийняття управлінських рішень щодо оптимізації енергоспоживання.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження можливостей формування науково-обґрунтованого механізму моніторингу рівня енергоспоживання для будівель житлового та громадського призначення.

Досягнення мети забезпечено за рахунок вирішення наступних завдань:

- дослідження режимів споживання теплової енергії та характерних особливостей будівель житлового та громадського призначення;
- розроблення методики ранжування будівель житлового та громадського призначення;
- дослідження та виокремлення ключових параметрів та показників, що впливають на енергоефективність та формують характерні режими споживання теплової енергії будівлями житлового та громадського призначення;

– формування методики оцінювання рівня ефективності впровадження заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель.

Об’єктом дослідження є процеси споживання теплової енергії (ТЕ) будівлями житлового та громадського призначення.

Предметом дослідження є механізми та методи моніторингу рівня ефективності споживання ТЕ будівлями житлового та громадського призначення.

Основні тези за результатами кваліфікаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві», 13-14 листопада 2024 року (Центральноукраїнський національний технічний університет).

Результати досліджень можуть бути використані для формування систем моніторингу будівель житлового та громадського призначення, а також як підґрунття для впровадження систем мотивації ефективного використання ТЕ.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В БУДІВЛЯХ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1. Огляд поточного стану енергетичного сектору в Україні

Енергетичний сектор України є однією з найважливіших складових національної економіки та підґрунтям для забезпечення енергетичної безпеки країни в цілому. Після здобуття незалежності наша країна пройшла численні етапи реформування, зокрема структури енергетики, наприклад, диверсифікації джерел енергії та модернізації енергетичної інфраструктури. На сьогоднішній день до основних джерел виробництва електричної енергії належать вугілля, ядерна енергетика та газ, тоді як відсоток відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) поступово зростає. У той же час, незважаючи на позитивні зрушення, енергетичному сектору притаманні численні виклики, які потребують нагального рішення.

Впровадження енергоефективних рішень у секторі енергопостачання є одним з ключових аспектів енергетичної та економічної політики України.

Сектор теплопостачання в Україні займає провідне місце в загальній структурі енергоспоживання, крім того йому характерна висока ресурсоемність. У переважній кількості великих міст понад 80% теплової енергії виробляється з газоподібного пального, причому понад 40% - використовується безпосередньо для опалення будівель житлового та адміністративного призначення. Така тенденція та превалююча залежність від газоподібного пального обумовлює хитку ситуацію з енергетичною безпекою країни, тим паче в умовах війни та загальної нестабільності на світовому ринку енергоносіїв.

На сьогодні, енергоспоживання нашої країни зосереджене на трьох головних секторах, зокрема: житловому, транспортному та промисловому. Відповідно до статистичних даних за 2019 року, ці сектори сумарно

становили понад 80% загального кінцевого рівня енергоспоживання (див. рис. 1.1). У той же час, промисловість та житловий сектор споживають понад 60% ЕЕ, виробленої в нашій країні. Вочевидь, оптимізація енергоспоживання в цих галузях є критично важливою для підвищення енергоефективності та зниження залежності від імпортованих енергоресурсів.

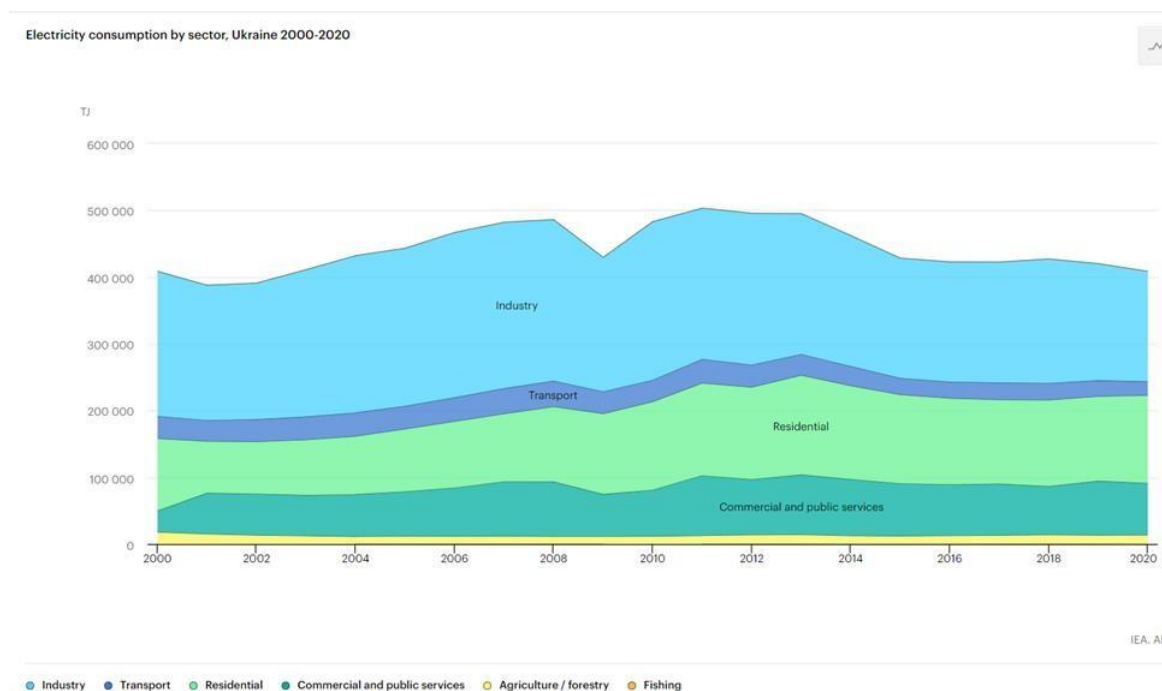


Рисунок 1.1. Секторальний розподіл споживання ЕЕ (впродовж 2000-2020 рр.)

Необхідність дотримання вимог нормативів та зростання вимог мешканців до комфортності перебування у приміщеннях будівлі споживання ЕЕ перманентно зростає (рис.1.2). У цей же час, забезпечення достатнього рівня потужності електромережі є достатньо важким завданням, особливо в години пікових та напівпікових навантажень впродовж доби. Вочевидь, вирішення цієї проблеми можна забезпечити двома шляхами. Зокрема, попереднім плануванням та розподілом енергетичних ресурсів мережами або безпосереднім впровадженням ефективної системи управління енергоспоживанням (створення систем типу "розумної" будівлі).



Рисунок 1.2. Різниця між нормативним та фактичним споживанням ЕЕ (у випадку невідповідності теплового режиму)

Наприклад, для міст з централізованою системою теплопостачання (м. Київ), сектор громадських будівель становить до 5 % в балансі теплової енергії. У той же час, сектор будівель громадського призначення (рис.1.3), є одним із найкерованіших з точки зору можливостей впровадження систем контролю за теплоспоживанням та впливу на значення рівня енергоспоживання

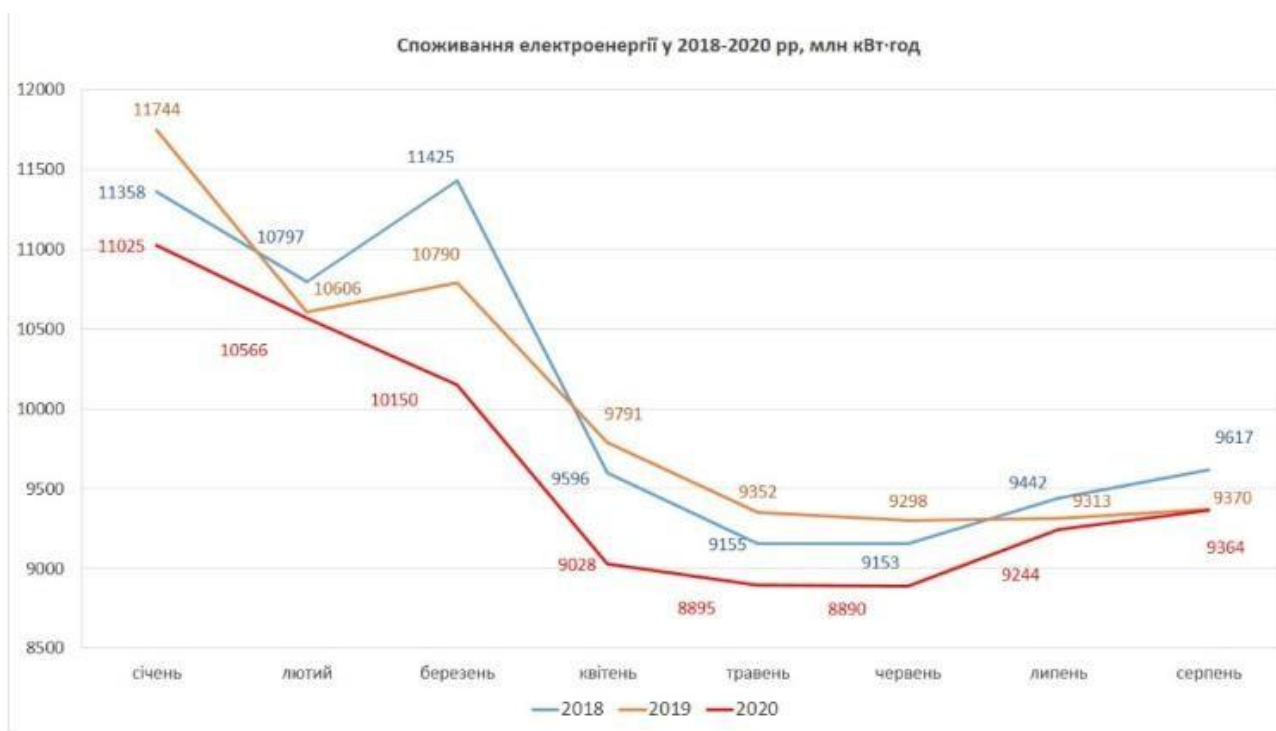


Рисунок 1.3. Графік споживання ЕЕ впродовж 2018-2020 рр.

Аналізуючи графіки на рис. 1.2 є характерна особливість - зростання споживання групою населення (на 5,6 %). Відсоток ТЕ на потреби системи опалення для будівель житлового та громадського призначення становить орієнтовно 90 – 95%, на потреби ГВП – до 10% (див. табл. 1.1 – 1.2).

Таблиця 1.1. Розподіл споживання ТЕ за групами споживачів

№ з/п	Найменування групи споживачів	Значення теплового навантаження, Гкал/год	Відсоток, %
1	Населення	7833,26	72,286
2	Бюджетні організації	1664,87	15,363
3	Ін. споживачі	1338,3	12,351
	Загалом	10836,42	

Таблиця 1.2. Структура балансу спожитої ТЕ (для м. Києва)

№ з/п	Найменування групи споживачів	Значення спожитої ТЕ, Гкал	
		2019	2020
1	Промисловість	53993	51181
2	ОСББ, ЖБК	1514557	1627489
3	Будівлі житлового призначення	7549304	8220935
4	Теплично-парникові г-ва	207	275
5	Підприємства ЖКГ	913	884
6	ГБК, майстерні	5829	6557
7	Організації державного бюджету	644121	693619
8	Організації місцевого бюджету	245762	257095
9	Організації районного підпорядкування	573315	616652
10	Ін. гр. споживачі	967823	1022625
	Всього	11555824	12497312

На разі, енергетичний сектор нашої країни характеризується превалюючою залежністю від природного газу, яким власне і покривається орієнтовно до 67% потреб теплопостачання. Так, наприклад, у 2022 році на централізоване теплопостачання житлового сектору споживалося близько 80% природного газу, з якого понад 40% використовувалося для опалення власне будівель. Окрім того, відповідно до статистичних даних Міністерства енергетики, орієнтовно 40% житлового фонду в Україні було побудовано та введено в експлуатацію до 1990 року, що пояснює значні енерговитрати через недостатню теплову ізоляцію та використання застарілого обладнання.

Повномасштабна військова агресія РФ, розпочата ще 24 лютого 2022 року, має надзвичайно руйнівний вплив на стан української енергетики. Перший звіт про оцінювання збитків для енергетичного сектору України, котрий було висвітлено у серпні 2022 року, результати досліджень охоплювали 6 місяців війни.

Так, відповідно до звіту, станом на 20 грудня 2022 року було окуповано, пошкоджено та знищено орієнтовно 50% встановлених потужностей країни, десятки тисяч кілометрів електричних, газових та теплових мереж, обладнання трансформаторних підстанцій, теплових котелень та інших об'єктів енергетичної інфраструктури. Загальне споживання ЕЕ та природного газу зменшилося орієнтовно на 35% у порівнянні з аналогічним періодом 2021 року. Після масштабного ракетного обстрілу енергосистеми України, котрий було здійснено агресором 10 жовтня 2022 року, мільйони споживачів ЕЕ були відєднані від системи електропостачання [2].

Тож, орієнтовні збитки в енергетиці нашої країни на кінець листопада 2022 року становили близько \$9 млрд, на сьогоднішній день, вочевидь, ці цифри стали більшими удекілька разів. У той же час, зрозуміло, що загальні суми реальних збитків набагато більші, оскільки відсутня повна інформації щодо об'єктів енергетики, що залишились на тимчасово окупованих територіях тощо.

Війна значно вплинула й на зниження споживання ЕЕ на 30-35% у порівнянні зі споживанням у 2021 р., відповідно, змінився й профіль споживання. Крім того, вартість ЕЕ та палива значно збільшилась, що значно ускладнює не лише реагування на аварійні чи ситуації надзвичайного характеру, а й перманентно забезпечення попиту впродовж дня. У той же час, фактично ціни на енергоносії та тарифи для переважної частини споживачів залишаються на нижчому рівні, що ще більше посилює фінансовий дисбаланс енергосистеми (рис.1.4).

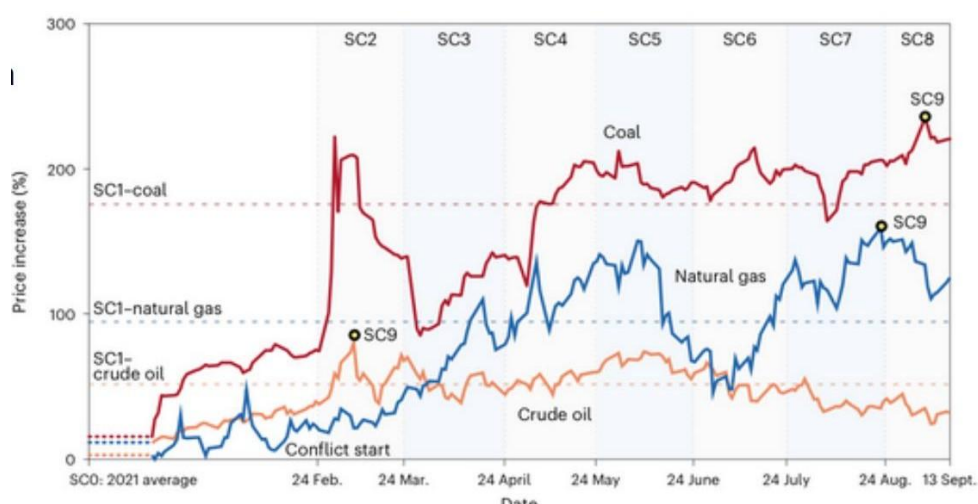


Рисунок 1.4. Підвищення цін на викопне паливо у порівнянні з 2021 р.

В умовах сьогодення енергетичний сектор відчутно страждає від дефіциту інвестицій у модернізацію. Наприклад, відповідно до статистичних даних НАК "Нафтогаз", у 2021 році значення втрат теплової енергії через недостатній рівень ефективності мереж сягли 30%. У 2023 році ж загальний показник втрат у теплових мережах хоч трохи і зменшився, проте залишається високим, що підтверджує необхідність глибокої модернізації.

Відповідно до результатів досліджень, виконаних Міжнародним енергетичним агентством (IEA), понад 60% кінцевого енергоспоживання припадає на житловий та промисловий сектори, які є найбільшими споживачами ЕЕ. Треба наголосити й на тому, що громадські будівлі (лікарні,

школи та адміністративні установи тощо), є надзвичайно потужними споживачами ТЕ, особливо в холодний період року. Крім того, у 2023 році спостерігалось зростання рівня споживання енергії громадськими установами, що було обумовлено нестабільністю централізованих систем опалення та відповідно виникнення додаткової потреби в опаленні приміщень.

Вочевидь, за таких умов, інтенсифікація впровадження систем моніторингу енергоспоживання є одним із головних напрямів реформування всієї енергетичної системи. Так, у 2022 році в українських містах встановили орієнтовно близько 50 тисяч «інтелектуальних» лічильників, що дозволяє забезпечити здійснення точного обліку ЕЕ та її витрати. Така модернізація систем обліку допомагає зменшити рівень перевитрат ресурсів, а також значно підвищити рівень прозорості управління енергоспоживанням.

Більшість програми з підвищення енергоефективності отримують підтримку з боку міжнародних організацій, наприклад ЄС та Світового банку. Так, у 2022 році орієнтовно 1 млрд \$ було надано на реалізацію проєктів підвищення рівня енергетичної ефективності, у тому числі спрямованих на термомодернізацію будівель житлового та громадського призначення. Такий підхід дозволяє підвищити рівень теплоізоляції та відчутно зменшити споживання енергії на систему опалення, що є досить важливим кроком на шляху до сталого розвитку та скорочення викидів CO₂.

У 2023 році продовжилось державне фінансування, спрямоване на встановлення систем управління енергетичними ресурсами, які дозволяють відстежувати витрати в режимі реального часу, зокрема для будівель житлового та громадського призначення. До прикладу, реалізація подібних систем для шкіл та лікарень дозволила зменшити витрати на споживання енергії до 20% впродовж перших місяців впровадження, що додатково підтверджує високий рівень ефективності подібних рішень та підкреслює особливу важливість їх впровадження.

До того ж, саме у 2023 році Україна взяла на себе зобов'язання відповідати стандартам Європейського Союзу щодо необхідного рівня

енергетичної ефективності. Такий підхід обумовлює необхідність залучення та впровадження передових технологій моніторингу рівня енергоспоживання та термомодернізацію будівель житлового та громадського призначення. За результатами попереднього оцінювання експертами, такі зусилля мають сприяти зменшенню загального споживання рівня енергії в країні на 15-20% до 2030 року, що, у свою чергу, дозволить значно поліпшити рівень енергетичної безпеки та загальної екологічної ситуації.

Поточний стан енергетичного сектору в Україні підтверджує, що значних зусиль потребує забезпечення стійкості та відповідного рівня її ефективності. Розвиток та впровадження систем моніторингу та обліку енергоресурсів, зокрема для будівель житлового та громадського призначення, є підґрунтям для досягнення необхідного рівня енергетичної незалежності країни. Вочевидь, впровадження ефективних моніторингових систем дозволить зменшити понаднормові втрати та стимулювати загальне ощадливе використання енергетичних ресурсів.

Формування сучасної організаційної та нормативно-правової бази енергоефективності є критично важливим аспектом для сталого розвитку, енергетичної незалежності та екологічної безпеки нашої країни. Впродовж останніх років наша країна зробила значні та однозначні кроки для створення законодавства, що відповідає європейським стандартам енергоефективності. Так, одним із головних нормативних документів є Закон України «Про енергетичну ефективність», який є важливим підґрунтям для впровадження комплексної державної політики у сфері енергоефективності.

Ще однією важливою складовою складовою нормативної бази є Закон України «Про енергозбереження», що є основою для регулювання взаємовідносин у сфері енергоефективності між суб'єктами господарювання та державою. Даний закон надає розуміння головних принципів та напрямів реалізації державної політики, спрямованих на зменшення енергоспоживання, стимулювання інтенсифікації впровадження енергоефективних технологій та

обладнання, а також популяризацію заощадливого підходу до використання енергоресурсів, зокрема для такої групи споживачів, як населення.

Додатковим важливим аспектом є впровадження Державної стратегії енергоефективності до 2030 року, яка покликана стимулювати зменшення енергетичних втрат та максимального скорочення залежності від імпортованих енергоносіїв. Такий стратегічний підхід визначає конкретні цілі та заходи для підвищення рівня ефективності для різних секторів економіки, особливо для будівель житлового призначення, а також промислового сектору.



Рисунок 1.5. Цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act) під час впровадження енергоефективних заходів

Останніми роками Україна активно співпрацює з Європейським Союзом у сфері гармонізації законодавства в галузі енергоефективності. Одним із ключових інструментів у цьому напрямку є Угода про асоціацію між Україною та ЄС, яка передбачає імплементацію положень європейського законодавства в українське право. Наприклад, Україна зобов'язалася імплементувати Директиву 2012/27/ЄС «Про енергоефективність», що регламентує впровадження енергоефективних заходів для будівель житлового та громадського призначення.



Рисунок 1.6. Етапи впровадження проєктів з підвищення енергоефективності

Особливе місце у формуванні організаційної бази займає й створення Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, яке здійснює координацію та контроль за впровадженням державної політики у сфері енергоефективності. Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України займається розробленням нових програм з енергоефективності, підтриманням проєктів з енергоефективності, а також залученням додаткових інвестицій для їх реалізації.

Нормативно-правова база також охоплює створення інструментів для підтримки енергоефективних проєктів у комунальній сфері. Одним із таких інструментів є Фонд енергоефективності, що був створений у 2018 році за підтримки ЄС та уряду Німеччини. Фонд надає фінансову та технічну допомогу для модернізації житлових будівель, що допомагає зменшити витрати на опалення та скоротити рівень енергоспоживання.

Закони та підзаконні акти в сфері енергозбереження передбачають також підтримку розвитку відновлюваних джерел енергії. Зокрема, існують програми стимулювання встановлення сонячних батарей, вітрових станцій та інших установок на основі відновлюваних енергетичних ресурсів. Такий

підхід не лише сприяє зменшенню залежності від традиційних енергоносіїв, а й покращує екологічний стан країни загалом.

Щоб підвищити прозорість і контроль за споживанням енергії, в Україні запроваджено систему обліку енергоспоживання у будівлях громадського та житлового призначення. Встановлення інтелектуальних лічильників дозволяє точно вимірювати витрати енергії та визначати рівень ефективності впроваджених енергоефективних заходів, що є важливою умовою для подальшого розвитку сектору.

Крім того, державні програми додатково заохочують впровадження енергоефективних стандартів у будівництві нових об'єктів. Наразі вже введені в дію нормативи, що зобов'язують забудовників дотримуватися визначених стандартів енергоефективності, які відповідають європейським нормам. Така вимога дозволить зменшити витрати енергії на опалення та кондиціонування в майбутньому.

Для оцінювання повноти формування організаційної та нормативно-правової бази енергозбереження в Україні дослідимо статистичні дані та ключові показники, що демонструють фактичну ситуацію в енергетичному секторі та рівень енергоефективності.

Енергоємність ВВП України: У 2022 році енергоємність ВВП України залишалась високою порівняно з середньоєвропейським рівнем. Згідно з даними Світового банку, енергоємність української економіки становила понад 0.2 кг нафтового еквівалента на 1 долар ВВП, що майже вдвічі перевищує середні показники ЄС. Це вказує на високий потенціал для заходів енергозбереження.

Споживання енергії у житловому секторі: У 2021-2022 роках житловий сектор України споживав понад 30% всієї енергії, а з огляду на інтенсивне споживання тепла у зимовий період, потенціал для енергозбереження є надзвичайно великим. Близько 70% будівель мають низькі показники енергоефективності, що вказує на потребу в модернізації інфраструктури.

Обсяги імпорту енергоносіїв: Україна зменшила імпорт природного газу з 27 млрд куб. м у 2013 році до приблизно 15 млрд куб. м у 2022 році завдяки впровадженню енергоощадних технологій та збільшенню внутрішнього видобутку. Це значне зниження сприяє зменшенню залежності від іноземних ресурсів.

Фонд енергоефективності: З 2018 року Фонд енергоефективності України профінансував понад 10 тисяч проектів з енергомодернізації багатоквартирних будинків. За даними Фонду, ці проекти дозволяють скоротити енергоспоживання до 30-50% у будівлях, що беруть участь у програмах фінансування.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ): У 2023 році частка відновлюваних джерел енергії у загальному енергетичному балансі України зросла до 12%, тоді як у 2017 році цей показник становив лише 3%. Основний внесок у цей приріст зробили сонячні та вітрові електростанції, що відповідає європейським тенденціям і знижує навантаження на традиційні види енергетики.

Підтримка міжнародних партнерів: У 2022 році Європейський Союз та інші міжнародні донори надали Україні понад 150 млн євро на проекти з енергоефективності та розвиток ВДЕ. Це фінансування спрямоване на підтримку екологічно чистих технологій, зниження викидів парникових газів та розвиток національної енергетичної інфраструктури.

Законодавчі ініціативи: З ухваленням Закону «Про енергетичну ефективність» у 2021 році Україна зобов'язалась скоротити споживання енергії на 15% до 2030 року. Закон також передбачає заходи для стимулювання модернізації комунальної інфраструктури, що включає впровадження технологій обліку енергоресурсів та оновлення теплових мереж.

Стан теплових мереж: Близько 60% теплових мереж в Україні потребують капітального ремонту або модернізації. Це призводить до значних втрат тепла – до 20-30% при транспортуванні енергії. Для зниження втрат та

підвищення ефективності теплопостачання вкрай необхідне фінансування модернізації.

Споживання енергії в громадських будівлях: Близько 15% енергії в Україні споживається громадськими будівлями, які часто не відповідають сучасним стандартам енергоефективності. За оцінками Міністерства енергетики, модернізація цих будівель дозволить скоротити витрати на опалення та електроенергію на 30-40%.

Економічний ефект від енергоефективних заходів: Впровадження комплексних програм з енергозбереження у житловому секторі щорічно може зменшувати загальне енергоспоживання країни на 5-7%, що дозволяє економити до 1 млрд куб. м природного газу щороку. Це, у свою чергу, сприяє стабілізації економіки та зниженню витрат на енергоносії.

Ці дані допомагають оцінити прогрес України у створенні надійної нормативно-правової бази для розвитку енергозбереження та енергоефективності, а також підкреслюють важливість продовження реформ у цій сфері для сталого економічного розвитку

Створення системи енергетичного менеджменту в будівлях бюджетної та житлової сфери в Україні є важливим кроком на шляху до зниження енергоспоживання та підвищення енергоефективності. В умовах значної енергоємності житлового сектору та бюджетних установ, комплексний підхід до енергоменеджменту може значно знизити витрати на комунальні послуги та поліпшити екологічні показники. Така система передбачає створення механізмів для відстеження, аналізу та оптимізації енергоспоживання, а також підтримку нормативних та технічних стандартів.

На сьогодні одним з провідних інструментів енергетичного менеджменту в Україні є впровадження міжнародного стандарту ISO 50001, який визначає основні принципи ефективного управління енергоспоживанням. Бюджетні організації, зокрема лікарні та школи, активно впроваджують цей стандарт для забезпечення відповідності сучасним

вимогам. Завдяки цій системі можна контролювати енерговитрати, виявляти джерела втрат і вживати заходів для їх скорочення.

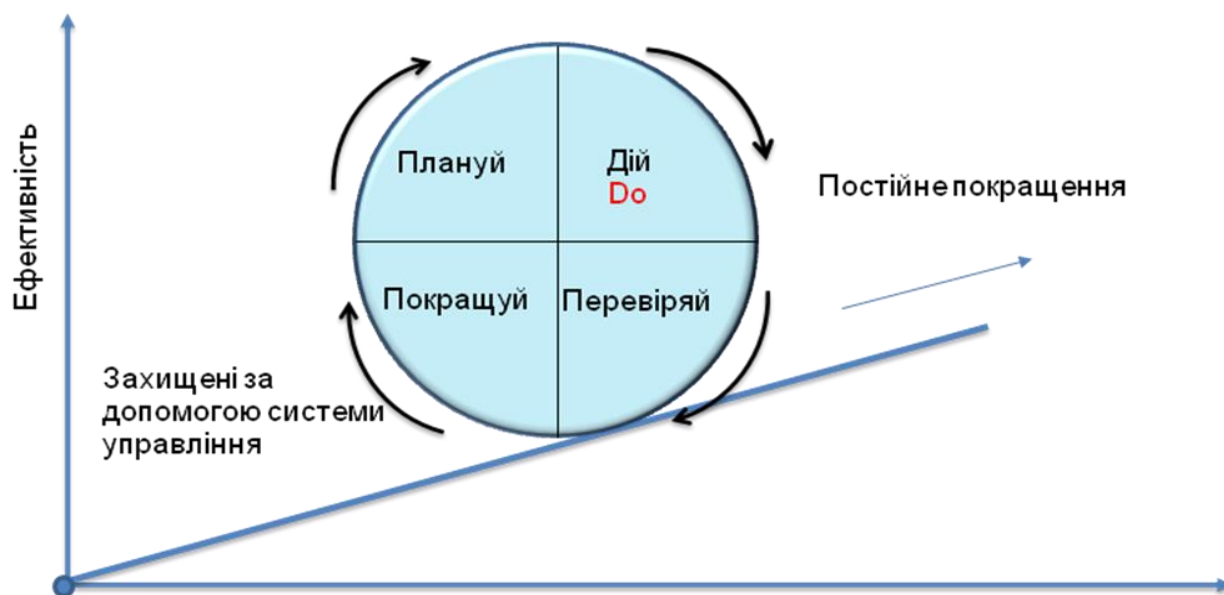


Рисунок 1.7. Системний підхід до впровадження СЕМ



Рисунок 1.8. Впровадження СЕМ відповідно до ISO 50001 (Постанова КМУ 1460)

Досвід реалізації енергетичного менеджменту у бюджетній сфері часто включає впровадження енергомоніторингових систем. Наприклад, у багатьох містах було встановлено автоматизовані системи обліку теплової енергії, що дозволяють контролювати споживання в режимі реального часу. Цей підхід дозволив зменшити енергоспоживання в деяких об'єктах до 15-20% шляхом своєчасного виявлення перевитрат і оперативного реагування на зміни.

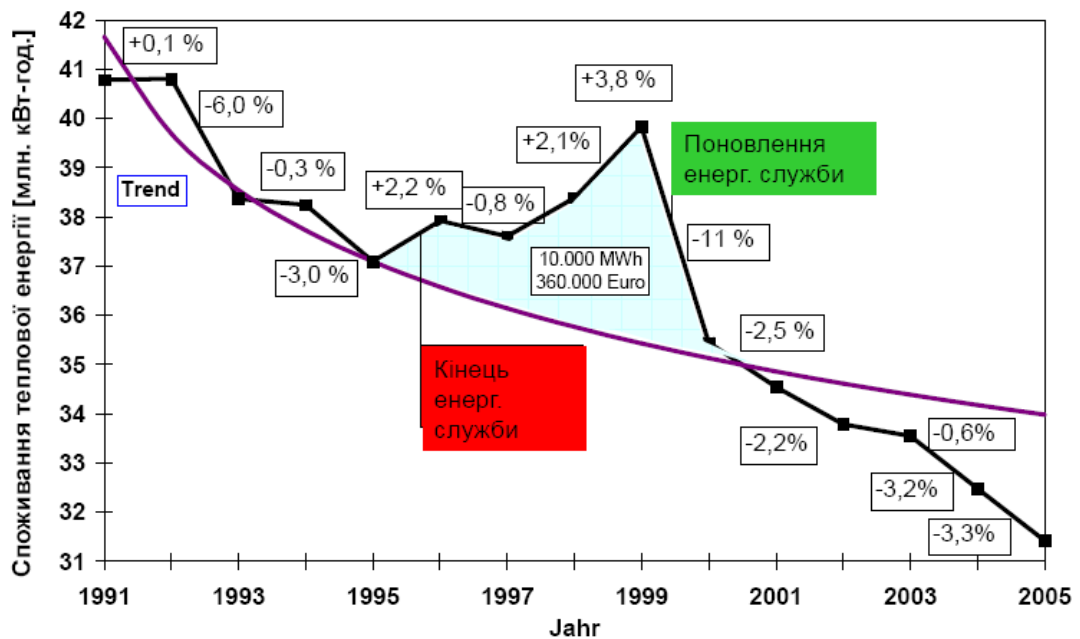


Рисунок 1.9. Приклад результативності впровадження СЕМ (Німеччина)

Серед житлових будівель в Україні також відбувається впровадження систем енергетичного менеджменту, зокрема через участь у програмах модернізації. Проект «Енергоефективність в житлових будинках» за підтримки міжнародних організацій надає співфінансування для енергомодернізації багатоквартирних будинків. Результати показують, що завдяки встановленню нових систем опалення та утеплення фасадів рівень енергозбереження може сягати до 30%.

Ще одним важливим компонентом енергетичного менеджменту є впровадження систем обліку енергоспоживання в будівлях. Наприклад, встановлення лічильників теплової енергії та систем дистанційного зчитування даних дозволяє не лише об'єктивно оцінювати споживання, але й

уникати перевитрат та несправедливих нарахувань для мешканців житлових будинків.

Унікальний досвід було здобуто в рамках проекту GIZ «Енергоефективність у громадах», де українські міста отримували фінансову та технічну підтримку для впровадження енергоменеджменту у бюджетних будівлях. Завдяки цьому проекту вдалося створити навчальні програми для працівників, що забезпечують енергоефективність, а також розробити інструкції з проведення енергоаудиту.

Важливим аспектом успішного енергоменеджменту є навчання кадрів та їхня відповідальність за виконання заходів. Багато муніципалітетів та ОСББ залучають до цього процесу енергоменеджерів, які не лише контролюють витрати, а й організовують заходи для підвищення обізнаності мешканців про способи економії енергії. Наприклад, через роз'яснювальні кампанії можна досягти скорочення споживання енергії до 10%.

Попри досягнення, сфера енергетичного менеджменту в Україні стикається з певними труднощами. Одним із головних викликів є необхідність значного фінансування для модернізації будівель та встановлення нових систем обліку. Однак зростаюча підтримка міжнародних організацій, таких як ЄС та Світовий банк, дає змогу отримати необхідні ресурси.

Отже, впровадження системи енергетичного менеджменту в будівлях бюджетної та житлової сфери в Україні має позитивний вплив на ефективність споживання енергії. Зменшення витрат на комунальні послуги та оптимізація енергоспоживання підвищують якість життя громадян і наближають Україну до європейських стандартів у сфері енергоефективності.

1.2. Аналіз методів моніторингу споживання енергії в будівлях житлового та громадського призначення

Значення моніторингу енергоспоживання в умовах сучасних економічних і екологічних викликів є надзвичайно важливим для досягнення

цілей енергоефективності та стійкого розвитку. Підвищення енергоефективності в будівлях є одним із ключових факторів у зменшенні витрат енергії, зниженні викидів вуглецю та економії ресурсів, що в свою чергу сприяє зниженню впливу на довкілля та підвищенню конкурентоспроможності.

Моніторинг енергоспоживання дозволяє детально відстежувати витрати енергії в будівлях, що є основою для аналізу та оптимізації енергоспоживчих процесів. За допомогою систем моніторингу можна отримати точні дані щодо того, як, де і коли витрачається енергія, що дозволяє зменшити енергетичні втрати, виявити неефективні ділянки та оптимізувати систему споживання енергії в будівлях. Це особливо важливо у контексті виконання державних та міжнародних стандартів енергоефективності, таких як директиви Європейського Союзу, де однією з вимог є забезпечення постійного контролю за енергоспоживанням і дотримання певних енергетичних лімітів.

Враховуючи зростаючий попит на енергоефективні технології, моніторинг енергоспоживання дозволяє забезпечити більш ефективне використання енергоресурсів, що особливо важливо в умовах обмежених ресурсів та необхідності зниження викидів парникових газів. Завдяки системам моніторингу можна оперативно коригувати параметри роботи будівельних систем (від опалення до освітлення) і впроваджувати заходи для зменшення витрат енергії.

Одним із важливих аспектів моніторингу є його екологічний ефект. Зменшення енергоспоживання в будівлях безпосередньо сприяє скороченню викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин у атмосферу, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку. Враховуючи високі темпи урбанізації та зростаючу кількість енергетичних потреб у містах, ефективний моніторинг стає незамінним інструментом для збереження екологічної рівноваги.

Система моніторингу дає можливість побудувати довгострокові стратегії, спрямовані на зниження енергетичних витрат та викидів. Система

збору та аналізу даних про споживання енергії на всіх етапах життєвого циклу будівлі (від проєктування до експлуатації) дозволяє зменшити вплив будівель на навколишнє середовище та досягти стійкості в енергетичній політиці.

Моніторинг енергоспоживання також дає змогу полегшити процес управління енергетичними ресурсами. Відомості, отримані через моніторинг, дозволяють оперативно виявляти проблеми в енергетичних системах і реагувати на них до того, як вони стануть критичними. Це дозволяє не тільки знизити витрати, а й підвищити надійність систем. У поєднанні з автоматизованими системами управління (BMS) дані моніторингу дозволяють здійснювати налаштування параметрів енергоспоживання в режимі реального часу, забезпечуючи баланс між комфортом і економічною ефективністю.

Енергоспоживання в будівлях може суттєво відрізнятися в залежності від їх призначення, що накладає особливі вимоги на системи моніторингу для кожного типу будівель. Житлові та громадські будівлі мають різні особливості в організації енергоспоживання, тому системи моніторингу повинні бути адаптовані до цих відмінностей.

У житлових будівлях енергоспоживання переважно залежить від потреб домогосподарств у теплі, воді, освітленні та побутовій техніці. Оскільки мешканці житлових будинків самостійно контролюють рівень споживання енергії, основною метою моніторингу є надання їм можливості оцінювати витрати на енергію та ефективно управляти ними:

1. Енергоспоживання в житлових будівлях (рис.1.10): Споживання енергії в таких будівлях переважно включає обігрів, охолодження, освітлення та побутові потреби. Однією з основних проблем є те, що часто не існує чіткої регламентації щодо мінімальних стандартів енергоефективності, що призводить до перевитрат енергії.

2. Моніторинг у житлових будівлях: Для житлових будинків важливими є системи моніторингу, які дозволяють зібрати точні дані про споживання енергії в кожному квартирному комплексі. Системи автоматичного збору даних через розумні лічильники або мобільні додатки

дозволяють мешканцям в реальному часі контролювати свої витрати на енергію та вжити заходів для їх скорочення. Ці системи можуть також включати інформацію про температуру в приміщеннях, що дає можливість налаштовувати опалення для збереження енергетичних ресурсів.



Рисунок 1.10. Основні параметри, що впливають на рівень енергоспоживання

У громадських будівлях, таких як офісні центри, торгові комплекси, навчальні та медичні установи, енергоспоживання значно різноманітніше, оскільки включає не тільки побутові потреби, а й потреби великих груп людей, таких як освітлення великих площ, кондиціювання повітря, електричні пристрої для обслуговування та інші комунікаційні системи:

1. **Енергоспоживання в громадських будівлях:** Тут споживання енергії набагато інтенсивніше, що зумовлено постійним освітленням, кондиціюванням повітря, вентиляцією, а також використанням спеціалізованого обладнання. Враховуючи великий потік людей, а також складність і масштаб інфраструктури, моніторинг енергоспоживання в громадських будівлях має бути комплексним і здатним обробляти великі обсяги даних.

2. **Моніторинг у громадських будівлях:** Для таких об'єктів необхідно впроваджувати централізовані системи моніторингу, що дозволяють здійснювати контроль за енергоспоживанням на різних рівнях: від окремих кімнат до цілих поверхів або будівель. Такі системи дають змогу не лише виявляти проблеми в енергоспоживанні, а й адаптувати систему до поточних потреб, знижуючи витрати на енергію без втрати комфорту. Наприклад, для великих торгових центрів можна впроваджувати моніторинг освітлення та температури в залежності від кількості відвідувачів і погодних умов, що дозволить зменшити витрати енергії в непікові години.

Таблиця 1.1. Методи моніторингу енерговитрат: класифікація та детальний аналіз

Метод моніторингу	Опис методу	Основні компоненти	Приклади реалізації	Переваги	Недоліки
Автоматизовані	Сучасне технологічне рішення, що базується на використанні інтелектуальних технологій та систем дистанційного збору даних.	1) Смарт-лічильники; 2) Давачі споживання енергії; 3) Системи збору та передачі даних; 4) Програмне забезпечення для аналізу	1) SCADA-системи 2) Розумні мережі (Smart Grid) (двостороння комунікація між постачальником та споживачем; ; оптимізація навантаження в реальному часі; автоматичне керування тарифами)	1) Висока точність даних; 2) Мінімізація людського фактору 3) Можливість швидкого реагування 4) Формування детальної аналітики	1) Висока вартість впровадження 2) Необхідність технічного обслуговування 3) Залежність від якості інтернет-з'єднання

Продовження таблиці 1.1.

Метод моніторингу	Опис методу	Основні компоненти	Приклади реалізації	Переваги	Недоліки
Ручні	Традиційні методи збору даних, що базуються на безпосередньому зчитуванні показників з приладів обліку та ручному записі даних.	1) Механічні лічильники 2) Журнали обліку 3) Персонал для збору даних 4) Форми звітності	1. Щоденний облік (регулярне зняття показників лічильників; заповнення журналів обліку; розрахунок споживання вручну) 2. Періодичний контроль (щомісячні перевірки, складання актів споживання; порівняння з нормативами)	1) Низька вартість впровадження 2) Простота використання 3) Незалежність від технічних засобів 4) Можливість візуальної перевірки обладнання	1) Велика ймовірність помилок 2) Затрати часу на збір даних 3) Складність аналізу великих масивів даних 4) Затримка у виявленні проблем
Гібридні	Комбіновані системи, що поєднують елементи автоматизованого та ручного збору даних для досягнення оптимального балансу між точністю та вартістю.	1) Автоматизовані вузли обліку на критичних ділянках 2) Ручний облік на менш важливих об'єктах 3) Змішані системи звітності 4) Комбіноване програмне забезпечення	1) Частково автоматизована система (автоматичний збір даних з основних споживачів; ручний облік додаткових параметрів; комбінована система аналізу) 2) Поетапна автоматизація	1) Оптимальне співвідношення ціна/якість 2) Гнучкість системи 3) Можливість поетапного впровадження 4) Резервування даних	1) Складність координації різних методів 2) Необхідність додаткового навчання персоналу 3) Можливі розбіжності в даних з різних джерел

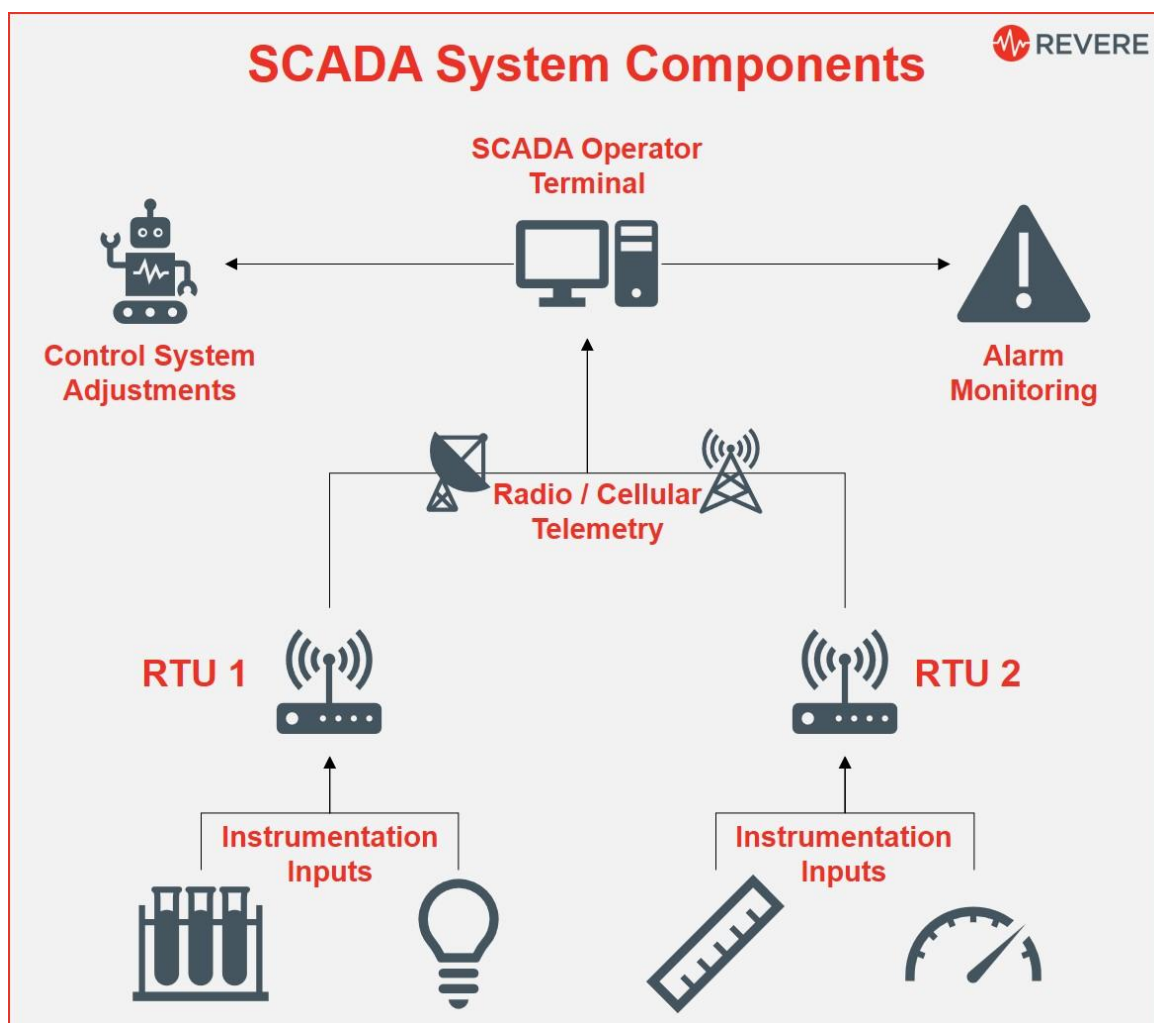


Рисунок 1.11. Схема SCADA системи

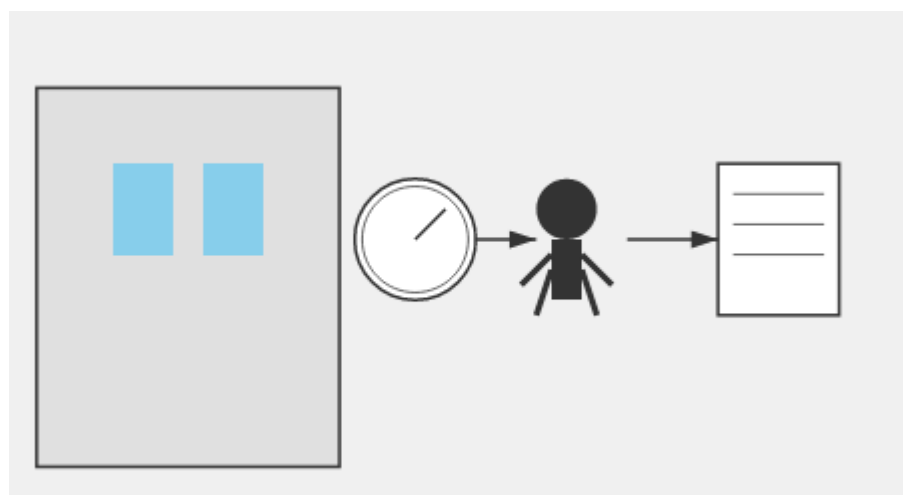


Рисунок 1.12. Схема ручної системи моніторингу

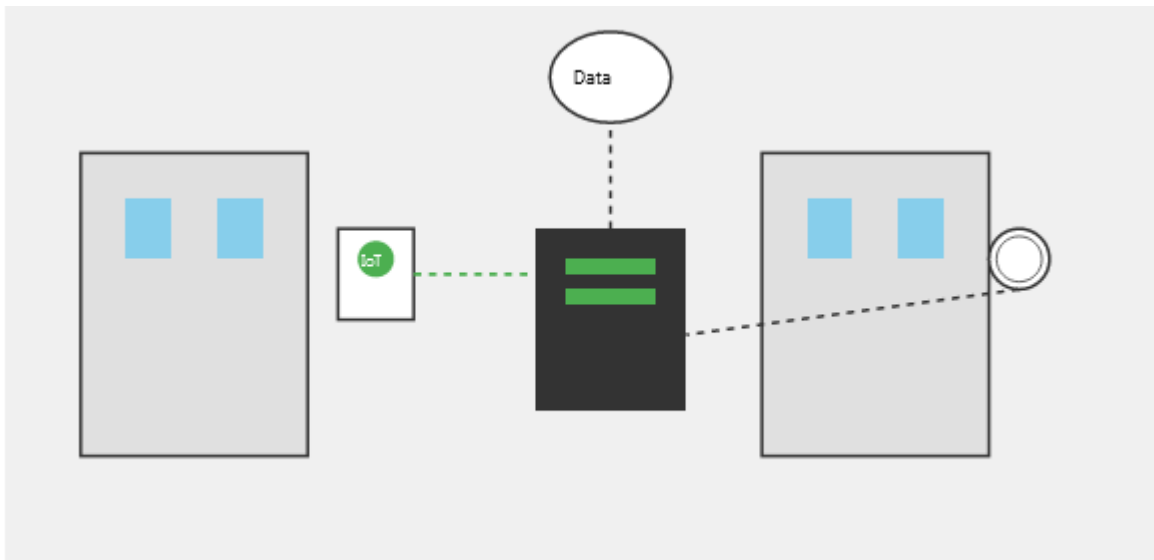


Рисунок 1.13. Гібридна система моніторингу (поєднання автоматизованих та ручних елементів)

Висновок до розділу 1

1. Енергетичний сектор є важливою складовою економіки України, що забезпечує енергетичну безпеку держави. З моменту здобуття незалежності країна пройшла низку реформ, серед яких диверсифікація джерел енергії та модернізація інфраструктури. Основними джерелами енергії залишаються вугілля, ядерна енергетика та газ, хоча частка відновлюваних джерел поступово зростає. Однак, енергосектор стикається з численними викликами, які потребують вирішення.

2. Особливу роль у структурі енергоспоживання відіграє теплопостачання, яке залишається ресурсоємним і переважно залежить від природного газу. Близько 80% тепла виробляється з газу, що створює вразливість в умовах війни та нестабільності на ринку. Промисловий, житловий та транспортний сектори споживають понад 80% енергії, і оптимізація їхнього споживання є критично важливою для енергоефективності.

3. Війна значно вплинула на енергетику України: близько 50% потужностей були пошкоджені або знищені, а споживання енергії

скоротилося на 35% порівняно з 2021 роком. Попри це, держава активно впроваджує системи моніторингу енергоспоживання та розвиває програми енергоефективності за підтримки міжнародних партнерів, що допомагає зменшувати втрати та підвищувати прозорість управління ресурсами.

4. Для забезпечення енергетичної незалежності та сталого розвитку Україна адаптує свою нормативну базу до європейських стандартів, зокрема через законодавчі акти, що сприяють енергоефективності та енергозбереженню. Програми термомодернізації будівель і впровадження передових технологій моніторингу споживання енергії є ключовими кроками до зниження залежності від імпортованих енергоносіїв.

5. Ефективний моніторинг споживання енергії в будівлях є необхідною умовою для оптимізації енергетичних витрат, зниження екологічного навантаження та дотримання вимог міжнародних стандартів у сфері енергоефективності. Завдяки використанню сучасних систем моніторингу можливий детальний аналіз і регулювання витрат енергії, що дає змогу зменшити енергетичні втрати й досягти значного економічного ефекту. Це дозволяє не лише знижувати витрати на утримання будівель, а й сприяє покращенню екологічної ситуації через зниження викидів парникових газів.

6. Системи моніторингу споживання енергії мають бути адаптованими до специфіки різних типів будівель — житлових та громадських. У житлових будинках акцент робиться на забезпеченні можливостей для самостійного контролю енергоспоживання мешканцями, що дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення щодо ефективного використання ресурсів. У громадських будівлях, де енергоспоживання набагато інтенсивніше, необхідні централізовані системи, здатні обробляти великі обсяги даних і забезпечувати комплексний контроль за витратами енергії на різних рівнях. Такі системи сприяють економії ресурсів без втрати комфорту для користувачів і з урахуванням змін у використанні об'єкта залежно від часу дня та погодних умов.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Моніторинг енергоспоживання в системах енергетичного менеджменту

Структурно СЕМ містить комплекс функцій, а саме: облік, контроль та аналізування стану об'єкту та є важливим та інформативним джерелом (рис. 2.2).

У вигляді функції результат моніторингу енергоспоживання подамо:

$$R_m = f(Q, Q_b, E_f, I_f), \quad (2.1)$$

де R_m – результат, отриманий системою моніторингу; Q – кількість спожитої ЕЕ; Q_b – рівень споживання енергії (базовий); E_f ; I_f – зовнішні та внутрішні фактори, що можуть вплинути на рівень споживання ПЕР.

Доцільно наголосити, що складність об'єкту та перелік поставлених задач й обумовлюють сукупність параметрів, які, відповідно будуть варіюватись в залежності від цих особливостей.

Функціональний вираз типу (2.1) може бути реалізована з використанням будь-якого зручного математичного апарату. Одним з найперспективніших та найзручнішим способом розв'язку подібних задач є застосування нейронних мереж.

Для прикладу розглянемо створення СЕМ теплоспоживання на прикладі об'єктів (будівлі житлового та громадського призначення, розташованих у м. Києві), для яких було впроваджено перелік енергоефективних заходів. СЕМ була впроваджена з метою контролю та

аналізу реального рівня ефективності від впроваджених заходів на об'єктах. Структура СЕМ подана на рис. 2.1 - 2.2.

Під об'єктом дослідження (O_m^i) мається на увазі будівля чи група будівель, де була впроваджено перелік енергоефективних заходів (EZ_i). Вихідна інформація щодо об'єкту дослідження містить наступні дані:

- нарахування за теплоспоживання (Q_T);
- відхилення в роботі обладнання (S^I);
- параметри навколишнього середовища, зокрема температура повітря (t).

СЕМ організована таким чином, що після збирання та аналізування отриманої інформації сформовані звіти передаються на вищий рівень управління (адміністрація міська чи районні в залежності від типу підпорядкування).

Процес аналізування даних полягає у наступних діях:

- верифікація даних;
- визначення обсягів заощадженої теплової енергії;
- порівняння обсягів споживання теплової енергії за поточний місяць з аналогічним періодом за минулі роки;
- порівняння споживання теплової енергії з аналогічними будівлями;
- ідентифікація відхилень в споживання теплової енергії та виявлення причин, які до цього призвели.

Функціональну залежність, яка б описувала стан об'єкту, що на якому функціонує СЕМ можна подати у вигляді:

$$R_m = f(Q, Q_b, T_e, S), \quad (2.2)$$

де Q – обсяг фактично спожитих ПЕР на об'єкті; Q_b – рівень базового споживання ПЕР на об'єкті; T_e – значення температури навколишнього

середовища; S – фактичний стан обладнання на досліджуваному об’єкті; R_m – результуючий показник, наданий СЕМ (стан обладнання та рівень заощадженої ТЕ).

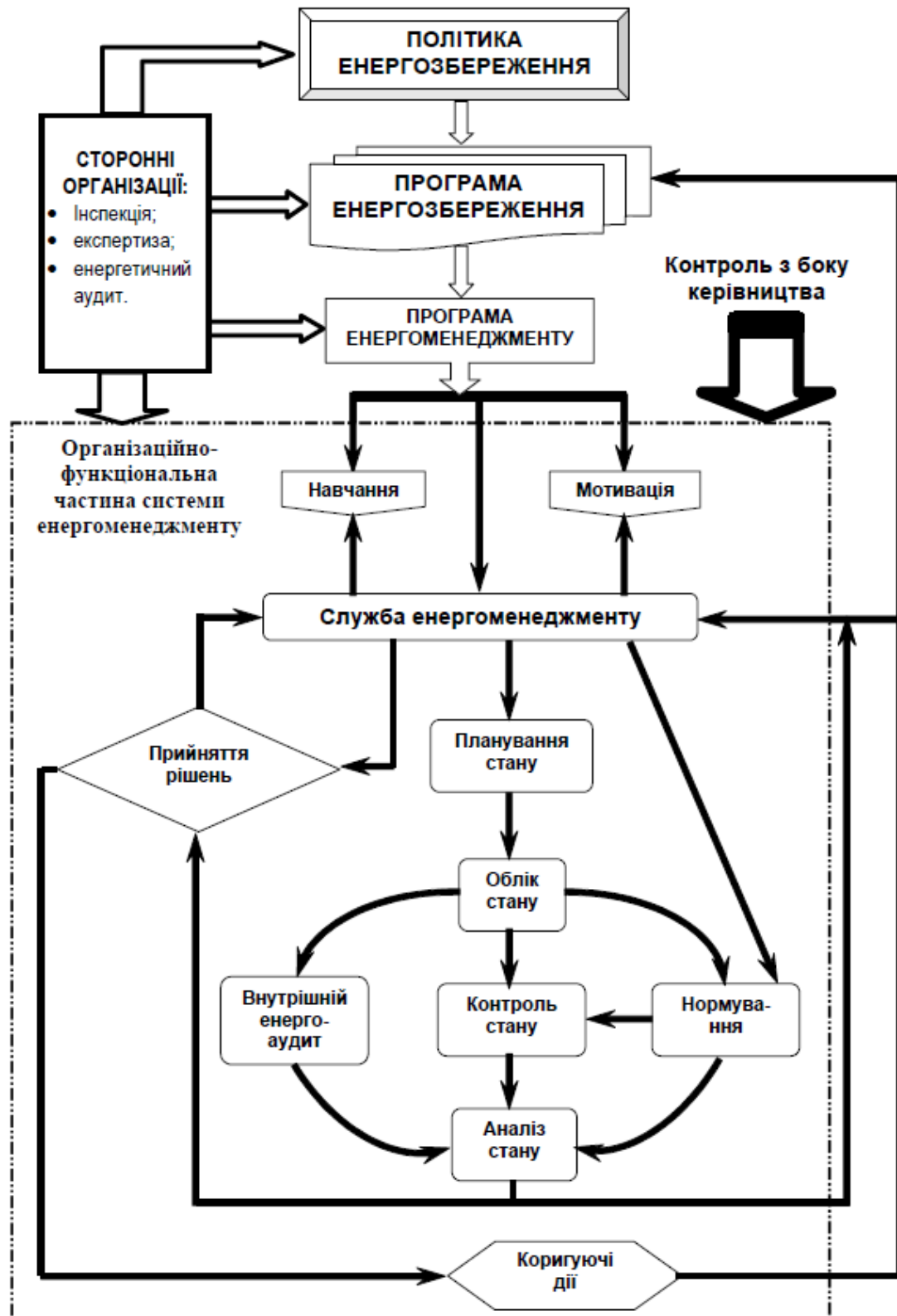


Рисунок 2.1. Схема СЕМ

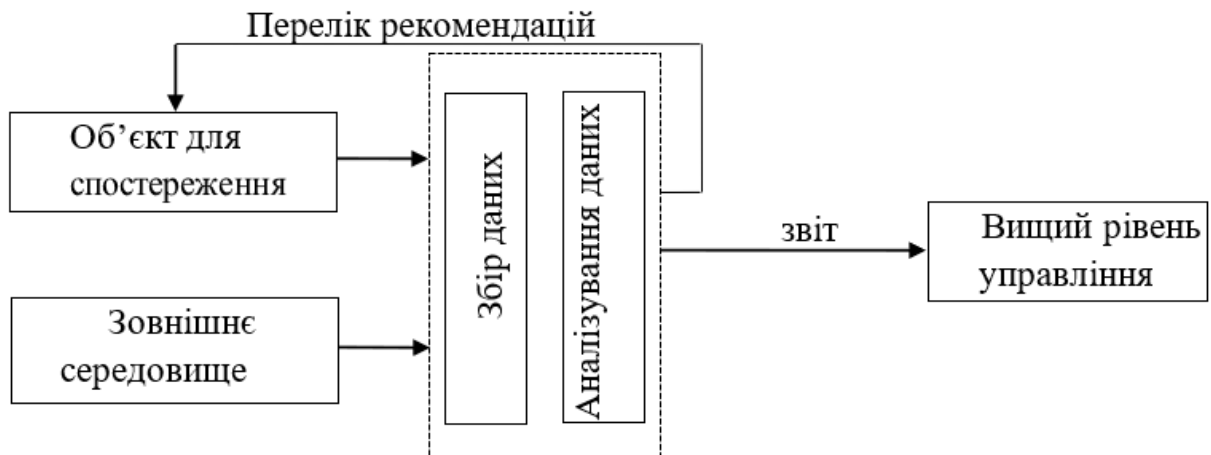


Рисунок 2.2. Спрощена СЕМ теплоспоживання

Удосконалення класичного підходу можливе шляхом використання додаткового математичного апарату, що дозволить розширити можливості функціонування та значно підвищити рівень ефективності СЕМ. З цією метою доцільно:

- створити математичну модель, котра відкрила б можливості до порівняння режимів енергоспоживання схожих об'єктів;
- проаналізувати сукупність параметрів, що мають безпосередній вплив на рівень енергоспоживання досліджуваних об'єктів;
- створити математичну модель, котра б найбільш повно характеризувала режим енергоспоживання досліджуваних об'єктів;
- скоротити тривалість циклу моніторингу шляхом впровадження автоматизованих систем збору даних на об'єкті, що досліджується.

2.2. Методи ранжування об'єктів для впровадження системи моніторингу споживання ПЕР будівель житлового та громадського призначення

Основним завданням ранжування об'єктів – це є створення окремих кластерів, підґрунтям для поділу на які є вектор параметрів досліджуваного об'єкту. Об'єкти, які згруповані в один кластер, вважатимемо подібними та еквівалентними з точки зору критерію розбиття.

Досліджувані об'єкти, що підлягають ранжування, характеризуватимемо вектором параметрів $x^p \in X$, що містить N компонент:

$$x^p = (x_1^p, \dots, x_N^p)$$

Множина кластерів набуде вигляду: $C^1, \dots, C^M = \{C^M\}$ у просторі класів C :

$$(C^1 \cup C^2 \dots \cup C^M) \in C. \quad (2.3)$$

У випадку, якщо простори кластерів та об'єктів співпадають, то $X = C$, а кластери належать областям простору X , і об'єкт x^p буде віднесений до одного з кластерів: m_0 , для $x^p \in C^{m_0}$ для інших випадків можливо, що: X і C різні.

Близькість об'єкту до ядра кластеру доцільно оцінювати у чисельному вигляді.

Позначимо як міру близькості до ядра кластеру $d(x^p, c^m)$ - це скалярна функція, що характеризуватиме відстань. Тобто, чим менше значення цієї відстані, тим більше об'єкт подібний до визначеного ядра у певному кластері.

Визначимо додаткові міри для визначення відстані між 2 об'єктами одного кластеру: $d(x^{p1}, x^{p2})$, і для двох ядер класів, $d(c^{m1}, c^{m2})$.

Найчастіше з цією метою використовують евклідову міру [2]:

$$d(x, y) = \sum_i (x_i - c_i)^2 \quad (2.4)$$

та/чи

$$d(x, y) = \sum_i |x_i - c_i| \quad (2.5)$$

c_i - значення i -го параметру, що характеризує кластер,

R - відстань від поточного об'єкту до центру кластеру.

Функція вигляду $m(p)$, що характеризує номер кластеру множини об'єктів $\{x^p\}$ дозволяє виконати розбиття на кластери та є розв'язком задачі кластеризації.

У загальному випадку $X = C$, масив об'єктів X поділяється на області $\{C^m\}$, і якщо $x^{p_0} \in C^{m_0}$, то $m(p_0) = m_0$, а об'єкт належатиме m_0 .

На разі найгнучкішим підходом під час кластеризації є застосування нейронних мереж типу Кохонена.

Основними перевагами застосування підходу із використанням нейронних мереж:

Застосування нейронних мереж Кохонена (самоорганізовувальних карт, SOM) для кластеризації об'єктів має кілька важливих переваг:

1) Можливість візуалізації багатовимірних даних: карти Кохонена здатні зменшувати розмірність даних, що дозволяє відображати багатовимірні об'єкти на двовимірних картах. Це робить дані більш зрозумілими для аналізу та візуалізації кластерів.

2) Адаптивність до складних структур даних: нейронні мережі Кохонена ефективно виявляють та розрізняють нелінійні зв'язки між об'єктами, що особливо корисно при кластеризації даних із нерегулярною або складною структурою.

3) Відсутність необхідності в попередньому знанні кількості кластерів: На відміну від багатьох традиційних методів кластеризації, які вимагають заздалегідь знати кількість кластерів (наприклад, метод k-середніх), SOM самостійно формує структуру кластерів під час навчання, динамічно підлаштовуючись під дані.

4) Зменшення чутливості до шуму: карти Кохонена, як правило, менш чутливі до шумових даних завдяки процесу самоорганізації, що допомагає отримувати стабільні та узгоджені кластери навіть при наявності аномальних даних.

5) Паралельне оброблення даних: нейронні мережі здатні до ефективної обробки великих обсягів даних паралельно, що значно прискорює

процес кластеризації порівняно з іншими методами, особливо при роботі з великими наборами даних.

б) Легкість інтерпретації та аналізу результатів: карта Кохонена забезпечує наочне розташування кластерів, що спрощує їх інтерпретацію та подальший аналіз, дозволяючи зрозуміти, які об'єкти подібні та як вони згруповані.

Завдяки цим перевагам нейронні мережі типу Кохонена є гнучким інструментом для кластеризації, особливо під час роботи з великими, складними та багатовимірними даними.

Тож, розглянемо об'єкти дослідження детальніше. Позначимо множиною Ω - множину будівель житлового та громадського призначення. Ґрунтуючись на різних режимах роботи $R(t)$, а також, враховуючи різне призначення будівель з множини Ω можна виокремити окремі підмножини Ω_i , зокрема 6 підмножин.

Під час виконання досліджень було виокремлено наступні підмножини та їх головні особливості (табл. 2.1)

Таблиця 2.1. Розподіл об'єктів за підмножинами та їх характеристики

№з\п	Найменування підмножини	Характерні особливості
1	Будівлі житлового призначення	Режим роботи – безперервний впродовж року
2	Дитячі навчальні заклади	Режим роботи - 8-годинний 5-ти денний; Відсутність перерв в роботі впродовж осіннього-весняного періоду, у той же час - зменшення кількості відвідувачів в літній період. Основними споживачами енергоресурсів є: системи опалення та освітлення, ГВП, а також енергоємне обладнання для приготування їжі.

№з\п	Найменування підмножини	Характерні особливості
3	Навчальні заклади (школи)	Режим роботи – 7-8-годинний 5-ти денний; Наявність перерв у роботі впродовж канікул (весняних, зимових та літніх); Основними споживачами енергоресурсів є: системи опалення та освітлення, ГВП, обладнання для приготування їжі, комп'ютерна та ін. техніка.
4	Заклади лікувального типу (поліклініки)	Режим роботи – 12-ти годинний 2-во змінний 6,7-ми денний робочий тиждень (з урахуванням зменшення відвідувачів у вихідні дні); Відсутність перерв в роботі впродовж року; Основними споживачами енергоресурсів є: системи опалення та освітлення, ГВП, спеціалізоване медичне обладнання, комп'ютерна та ін. техніка.
5	Заклади лікувального типу (лікарні)	Режим роботи – безперервний; Характерні незначні сезонні коливання кількості пацієнтів; Основними споживачами енергоресурсів є: системи опалення та освітлення, медичне (лабораторне, діагностичне та лікувальне) обладнання, комп'ютерну та ін. техніку.

Додатково можна виокремити й інші характерні підмножини, зокрема: кінотеатри, бібліотеки, заклади громадського харчування тощо. У той же час, кількість таких будівель незначна, тому у першому наближенні, вони вже можуть бути виокремлені до найближчої за параметрами групи.

Для порівняння режимів роботи різних об'єктів наведемо річні графіки споживання теплової енергії.

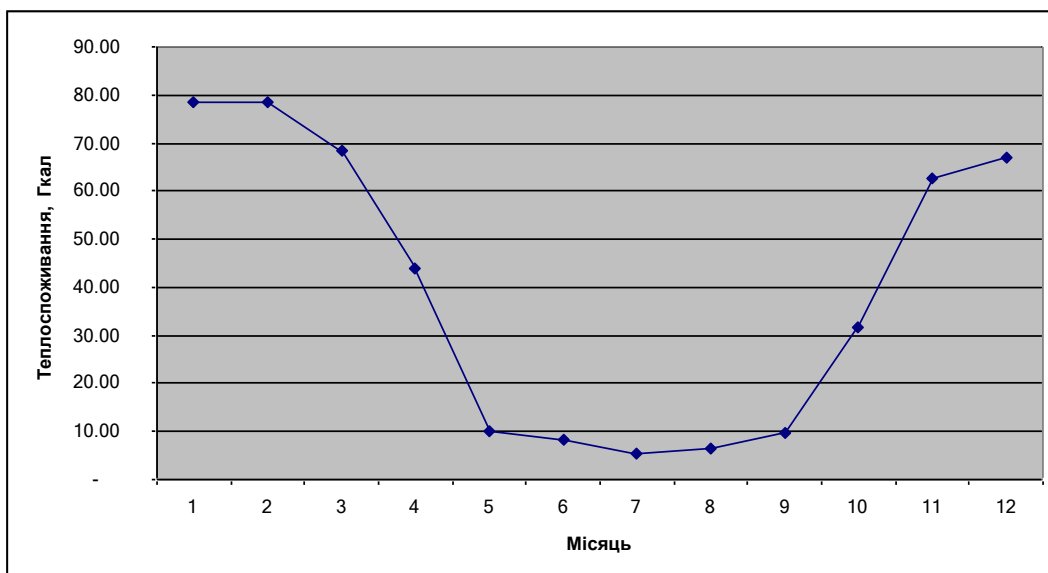


Рисунок 2.3. Річний усереднений графік споживання ТЕ (дошкільні дитячі навчальні заклади м. Київ)

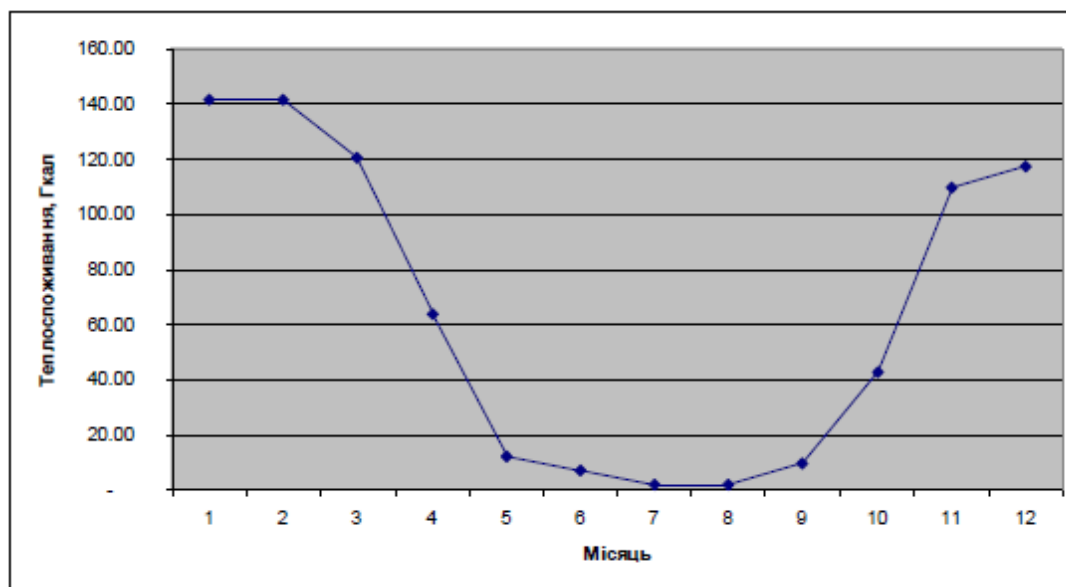


Рисунок 2.4. Річний усереднений графік споживання ТЕ (навчальні заклади – школи, м. Київ)

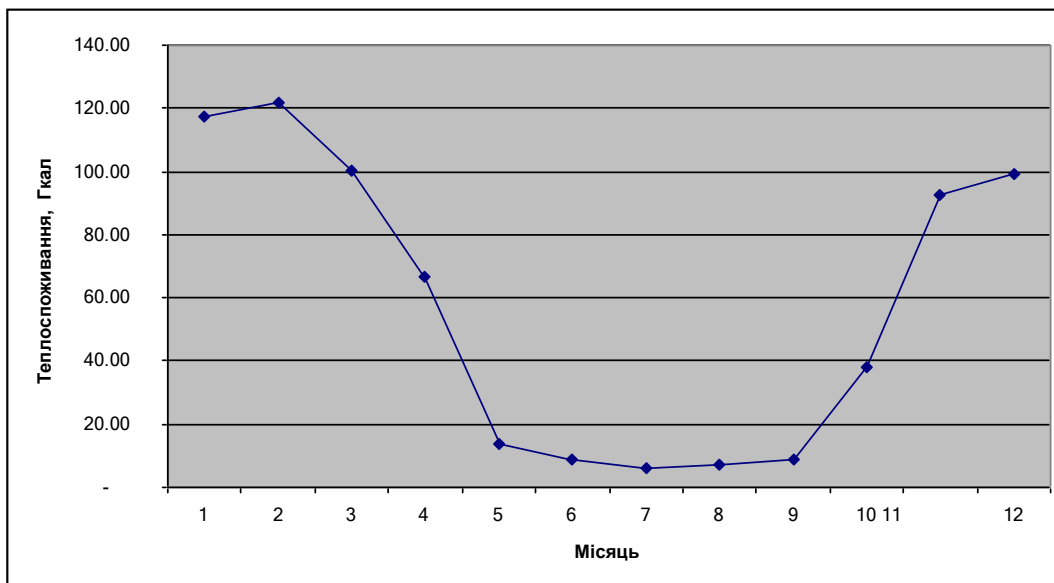


Рисунок 2.5. Річний усереднений графік споживання ТЕ (лікувальні заклади поліклінічного типу, м. Київ)

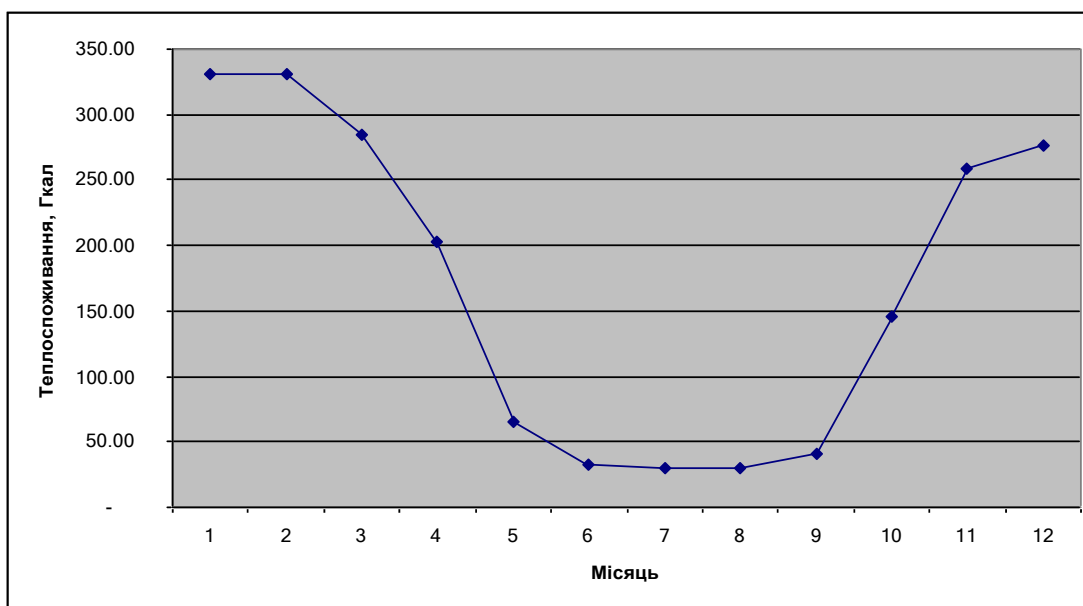


Рисунок 2.6. Річний усереднений графік споживання ТЕ (для лікувальних закладів лікарняного типу, м. Київ)

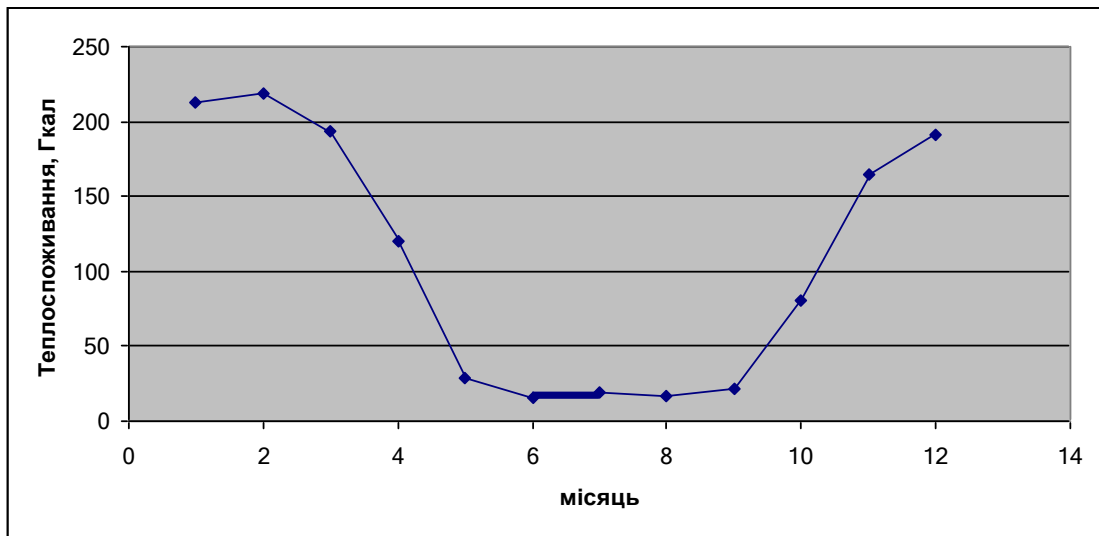


Рисунок 2.7. Річний усереднений графік споживання ТЕ (будівлі адміністративного призначення, м. Київ)

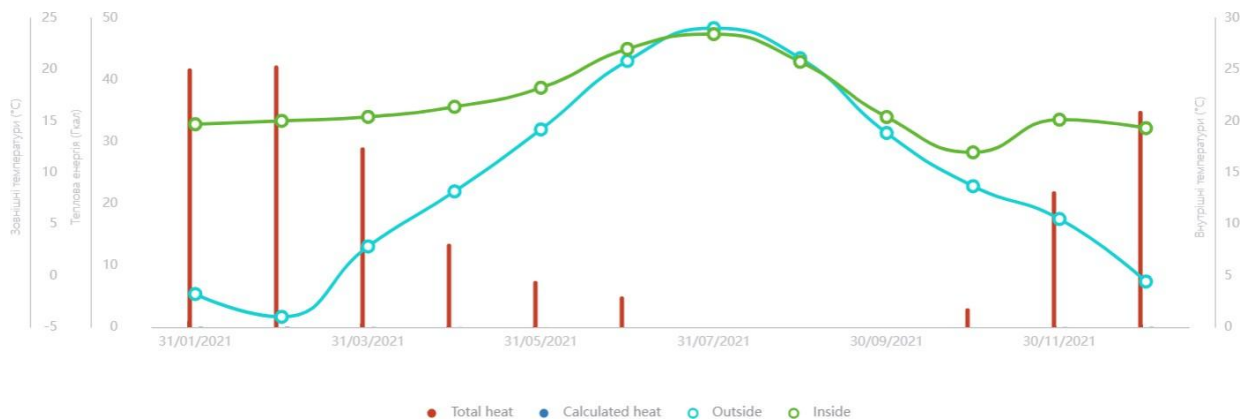


Рисунок 2.8. Річний усереднений графік споживання ТЕ (будівлі житлового призначення, м. Київ)

Розглянемо ключові типи муніципальних об'єктів м. Києва – навчальні заклади. Значна частка енергетичних витрат у цих спорудах припадає на теплозабезпечення та підігрівання води (рис. 2.9), тому особливу увагу зосередимо на аналізі теплоспоживання.

Оцінимо параметри (X_i), що визначають рівень використання теплоресурсів. У дослідженні зосередимося на внутрішніх характеристиках (X^{int}), що дозволить класифікувати схожі будівлі за категоріями.

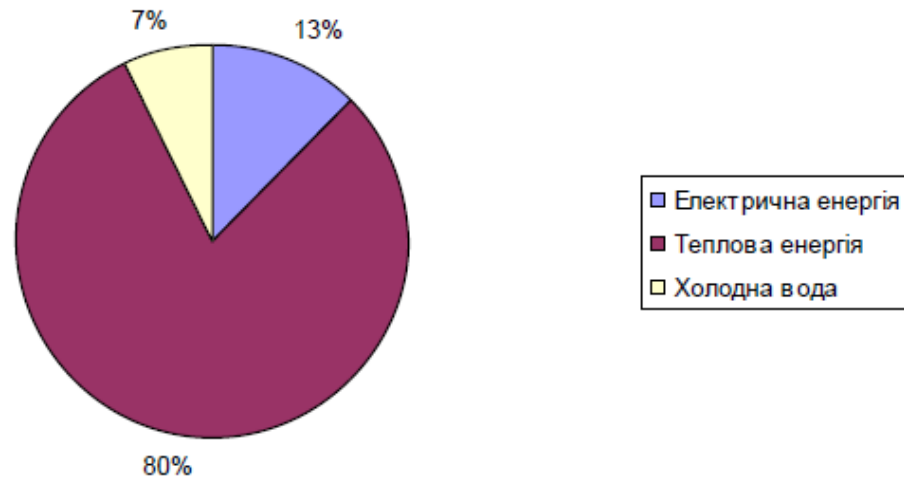


Рисунок.2.9. Співвідношення між вартістю різних видів енергоносіїв для дитячих закладів

За результатами експертного опитування, серед чинників впливу на споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у житловому та громадському секторі виділяють такі категорії:

- метеорологічні умови;
- платоспроможність споживачів;
- технічні можливості постачальників щодо безперервного енергозабезпечення;
- специфіка будівель (архітектурні параметри, чисельність персоналу й відвідувачів, будівельні матеріали, інженерне оснащення тощо).

Детальний перелік внутрішніх характеристик, що впливають на теплоспоживання, наведено в табл. 2.2.

Покращення досягнуто завдяки:

1. Використанню більш специфічних термінів
2. Реструктуризації речень

3. Заміні повторюваних слів синонімами
4. Логічному впорядкуванню інформації
5. Додаванню уточнюючих деталей

Таблиця 2.2. Комплекс внутрішніх характеристик об'єкта моніторингу

№ з\п	Категорія параметрів	Категорія параметрів
1	Архітектурні параметри	☐ Площа приміщень ☐ Загальний об'єм споруди ☐ Поверховість будівлі ☐ Метраж зовнішніх конструктивних елементів ☐ Геометрична форма та розташування відносно сторін горизонту
2	Функціональне призначення	Цільове призначення об'єкта
3	Завантаженість об'єкта	☐ Штатна чисельність працівників ☐ Потік відвідувачів
4	Технічні характеристики конструкцій	☐ Параметри зовнішніх стін ☐ Специфікація покрівлі ☐ Конструктивні особливості підлоги ☐ Віконні характеристики ☐ Характеристики зовнішніх дверей
5	Стандарти мікроклімату	☐ Термічний режим приміщень ☐ Рівень вологості ☐ Інтенсивність повітрообміну ☐ Якість повітряного середовища
6	Теплотехнічне оснащення	☐ Тип опалювальної системи ☐ Наявність автоматизації системи регулювання ☐ Технічний стан обладнання
7	Вентиляційні системи	☐ Комплектація ☐ Експлуатаційні показники
8	Додаткові теплоспоживачі	☐ Енергетична потужність ☐ Експлуатаційний графік
9	Режим роботи об'єкту	☐ Щотижневе навантаження ☐ Добовий розподіл ☐ Сезонні варіації

Сукупність розглянутих параметрів відображається у підсумкових теплотехнічних розрахунках (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Екзогенні чинники функціонування об'єкту дослідження

№з\п	Категорія впливових чинників	Характеристики (X_{exti})
1	Метеорологічні умови	☐ Атмосферна температура ☐ Рівень зволоження повітря ☐ Інтенсивність повітряних потоків ☐ Стан небосхилу ☐ Температурний показник водопровідної води
2	Сезонність	Календарний період
3	Специфікація теплогенерації	☐ Значення температури теплоносія ☐ Гідравлічний режим (тиск) ☐ Експлуатаційний цикл (графік роботи)

Узагальнені дані візуалізовано у формі причинно-наслідкової діаграми Ісікави (рис. 2.10), що демонструє взаємозв'язки між параметрами теплоспоживання. З множини Θ різноманітних характеристик (X_i) виокремимо підгрупу q параметрів, які доступні у відкритих джерелах та не потребують спеціальних вимірювань чи досліджень:

- корисна площа будівлі;
- будівельний об'єм споруди;
- поверховість об'єкта;
- сумарне розрахункове теплонавантаження;
- проектна потужність системи опалення;

- розрахункова потужність системи гарячого водопостачання;
- усереднене квартальне теплоспоживання (I-IV квартали).

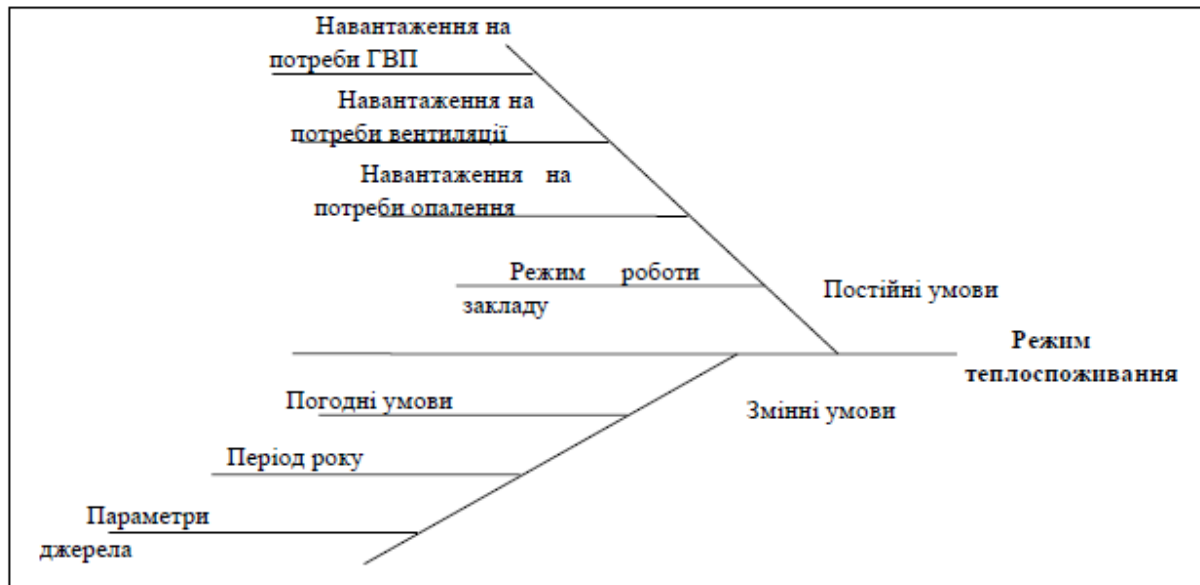


Рисунок 2.10. Модель Ісікави: комплексний аналіз параметрів впливу на енергетичний баланс будівлі

Статистичний аналіз охоплює дані 53 дошкільних установ та 39 загальноосвітніх закладів. Ключові статистичні індикатори для кожної категорії об'єктів за визначеними параметрами представлені в таблицях 2.4 та 2.5.

Методологія кластеризації об'єктів житлово-комунального фонду

Зафіксовані суттєві варіації показників енергоспоживання у межах кожної категорії будівель. Це унеможлиблює коректне зіставлення об'єктів без попередньої систематизації та розподілу за підгрупами.

Для реалізації кластерного аналізу застосовано самоорганізаційну карту Кохонена [9]. Ключовою перевагою цього інструменту є автоматичне визначення оптимальної кількості кластерів та здатність до самонавчання без залучення експертної оцінки, що забезпечує об'єктивну класифікацію.

Таблиця 2.4. Комплекс статистичних показників для аналізування внутрішніх характеристик об'єктів моніторингу

1	Показники статистичного аналізу	К-ть пов.	Площа, м ²	Об'єм, м ³	Qсум, Гка л/год	Qоп, Гкал /год	Qгвп, Гкал /год	Теплоспоживання, Гкал		
								I	II	III
2	Середнє арифметичне	3,000	7441,180	27282,050	1,160	0,900	0,260	748,510	199,970	51,850
3	Значення ст. похибки	0,080	433,150	1582,670	0,070	0,060	0,020	49,980	18,300	7,870
4	Медіанне значення	3,000	7094,000	25300,000	1,290	0,990	0,250	727,000	167,000	34,000
5	Модальний показник	3,000	5251,000	20254,000	1,650	1,130	0,130	-	138,000	24,000
6	Стандартна девіація	0,520	2705,000	9883,780	0,430	0,400	0,090	312,130	114,260	49,140
7	Дисперсійний коефіцієнт	0,270	7317032,8	97689119,7	0,180	0,160	0,010	97426,940	13055,820	2415,01
8	Коефіцієнт ексцесу	0,68	-0,140	-0,3900	-1,490	-1,590	3,190	2,150	6,570	7,910
9	Показник асиметрії	0,18	0,340	0,110	-0,140	-0,100	1,240	1,270	2,470	2,700
10	Довірчий інтервал	2	11943,000	37272,000	1,290	1,140	0,470	1411,000	539,000	248,000
11	MIN	2	2491,000	7921,000	0,470	0,320	0,120	343,000	96,000	0,000
12	MAX	4	14434,000	45193,000	1,760	1,460	0,590	1754,000	635,000	248,000
13	Сума	122,00	290206,000	1064000,000	45,150	35,030	10,120	29192,000	7799,00	2022
14	К-ть	39,00	39,000	39,000	39,000	39,000	39,000	39,000	39,000	39,000
15	Рівень надійності	0,17	876,860	3203,950	0,140	0,130	0,030	101,180	37,040	15,930

Таблиця 2.5. Комплекс статистичних показників для аналізування внутрішніх характеристик об'єктів моніторингу

1	Показники статистичного аналізу	К-ть пов.	Площа, м ²	Об'єм, м ³	Qсум, Гкал/год	Qоп, Гкал/год	Qгвп, Гкал/год	Теплоспоживання, Гкал		
								I	II	III
2	Середнє арифметичне	2,250	2760,740	9411,320	0,570	0,350	0,220	432,660	146,090	84,810
3	Значення ст. похибки	0,060	98,820	386,510	0,020	0,010	0,010	14,210	6,180	4,500
4	Медіанне значення	2,000	2693,000	10670,000	0,600	0,360	0,200	436,000	152,000	89,0000
5	Модальний показник	2,000	2491,000	14045,000	0,730	0,400	0,200	316,000	161,000	84,000
6	Стандартна девіація	0,430	719,430	2813,810	0,130	0,070	0,080	103,430	45,000	32,730
7	Дисперсійний коефіцієнт	0,190	517583,310	7917516,570	0,020	0,010	0,010	10698,650	2024,860	1071,310
8	Коефіцієнт ексцесу	-0,540	-0,690	-1,200	-0,890	0,840	-1,130	0,150	-0,7700	-1,040
9	Показник асиметрії	1,220	0,260	0,030	-0,270	-0,740	-0,030	-0,040	-0,020	-0,220
10	Довірчий інтервал	1,0	2755,000	9449,000	0,500	0,360	0,270	519,000	184,000	120,000
11	MIN	2,0	1175,000	4596,0000	0,310	0,140	0,080	161,000	61,000	26,000
12	MAX	3,0	3930,000	14045,000	0,810	0,500	0,360	680,000	245,000	146,000
13	Сума	119,000	146319,200	498800,000	30,40	18,560	11,860	22931,000	7743,000	4495,000
14	К-ть	53,000	53,000	53,000	53,000	53,000	53,000	53,000	53,000	53,000
15	Рівень надійності	0,120	198,300	775,580	0,040	0,020	0,020	28,510	12,400	9,020

Принцип категоризації базується на векторі характеристик споруди, який подається на вхід нейромережі. Результуючим показником є індикатор приналежності до певного кластера. У нейромережевих системах застосовується кодування через номер активованого каналу. Відповідно, архітектура мережі включає N вихідних нейронів (за кількістю можливих класів). Рівень активації конкретного виходу m відображає ступінь відповідності вхідного об'єкта характеристикам відповідного класу.

Оцінювання належності об'єкту дослідження до класу здійснюється з використанням евклідової міри близькості:

$$c^{m_0} = \frac{1}{N(m_0)} \sum_{p: m(p)=m_0} x^p \quad (2.6)$$

де $N(m_0)$ - досліджувані об'єкти x^p у кластері m_0 .

Ключовим принципом кластеризації має бути мінімізація сукупної міри близькості між усіма елементами множини вхідних об'єктів:

$$D = \sum_n \sum_i (x_i^p - c_i^{m(p)})^2 = \sum_n [(X^p, X^p) - 2(X^p, C^{m(p)}) + (C^{m(p)}, C^{m(p)})] \quad (2.7)$$

Отже, оптимізація завдання кластеризації шляхом мінімізації сукупної близькості еквівалентна пошуку максимуму наступного виразу:

$$\min D \rightarrow \max \sum_p \sum_i x_i^p c_i^{m(p)} \quad (2.8)$$

Дана методика ефективно впроваджується через нейромережеву архітектуру. Реалізація потребує M обчислювальних елементів для розрахунку всіх $D^{m,p}$ та аналізатора, який визначає елемент із найбільшим результатом.

Для класифікації об'єкта необхідно виявити серед усіх нейронів відповідного рівня той, що має максимальне вихідне значення - це завдання виконує аналізатор.

Описана нейронна структура, що застосовує евклідові метрики для категоризації об'єктів, відома як архітектура Кохонена (рис.2.12.).

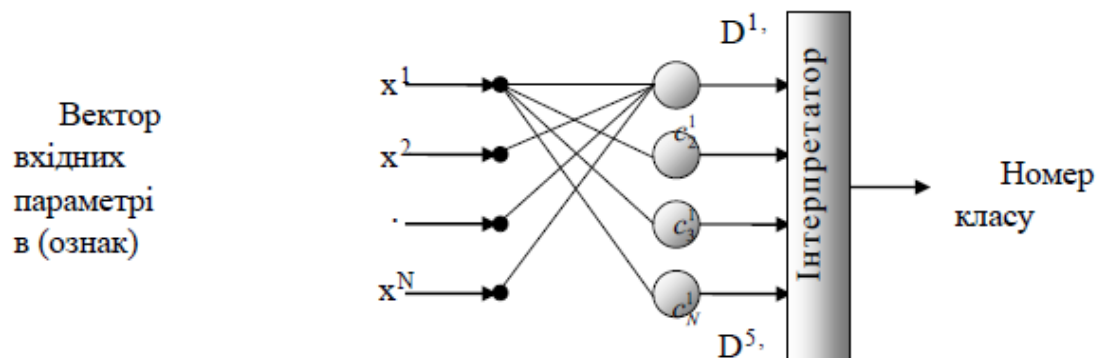


Рисунок.2.12. Елементи шару Кохонена

Елементи шару Кохонена (зображено на рис.2.12) формують вихідні значення $D^{m,p}$. Аналізуючий модуль визначає найвищий показник у цьому шарі та присвоює індекс класу, який відображає позицію входу з максимальною активацією. Цей індекс співвідноситься з категорією об'єкта, представленого вхідним вектором x^p .

Центроїди c^m функціонують як синаптичні коефіцієнти нейронних елементів. Кожен обчислювальний елемент мережі Кохонена зберігає унікальний центроїд категорії та відповідає за ідентифікацію об'єктів відповідного класу. При цьому амплітуда вихідного сигналу зростає пропорційно до близькості вхідного об'єкта відносно збереженого центроїда.

Кількісний показник категорій безпосередньо корелює з числом обчислювальних елементів у мережі. Архітектура дозволяє гнучко модифікувати число класів через регулювання кількості нейронних елементів.

Послідовність навчання мережі включає наступні етапи:

1. Ініціалізація синаптичних коефіцієнтів початковими значеннями.
2. Подача навчального вектора x^p на вхідний шар.

3. Обчислення активацій нейронів шару Кохонена $D^{m,p}$ та визначення переможця - нейронного елемента з найвищим показником активації:
 $m_0 : \max_m D^{m,p}$

4. Модифікація вагових параметрів нейрона-переможця m_c за формулою:

$$w_{m_0} = w_{m_0} + \alpha(x^p - w_{m_0}) \quad (2.9)$$

де α - позначає коефіцієнт швидкості навчання.

Процес навчання передбачає коригування вагових коефіцієнтів таким чином, щоб синаптичний вектор поступово наближався до поточного вхідного образу. Параметр швидкості навчання регулює інтенсивність адаптації центроїда класу відносно вхідного вектора x^p . Ітерації продовжуються до досягнення стабільності вагових коефіцієнтів.

Класифікація об'єктів за допомогою мережі з архітектурою Кохонена

На основі показників, поданих у табл. 2.2 та 2.3, сформовано наступні групи характеристик:

1. Архітектурні параметри:

- Поверховість будівлі
- Загальна площа

2. Фактичне енергоспоживання:

- Квартальні показники теплової енергії

3. Проектні теплові характеристики:

- Розрахункове навантаження опалення
- Параметри гарячого водопостачання (ГВП)

Особливості наборів даних:

- Групи 1 та 3 відображаються у двовимірному просторі та описують проектні енергетичні параметри

- Група 2 представлена чотиривимірним простором, де кожна розмірність відповідає середньому споживанню за окремий квартал року

Для реалізації кластеризації використовується вищеописаний алгоритм. Важливим етапом попередньої обробки є нормалізація вхідних параметрів через їх різну розмірність. Для цього застосовується спеціальна функція перетворення:

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2.10)$$

де x та x' - вхідна змінна та її нормалізоване значення;

$x_{\max}$ та $x_{\min}$ - максимальне та мінімальне значення змінної;

Перед навчанням нейронної мережі були задані випадкові початкові значення для вагових коефіцієнтів.

Аналізуючи розподіл об'єктів за групами, варто зазначити, що групи №7 та №9 практично ідентичні, тому можуть бути об'єднані. Така ситуація виникла через нерівномірну попередню ініціалізацію нейронів мережі випадковими числами. Для запобігання цього ефекту коригуємо алгоритм групування, задаючи попередні центри кластерів (груп) шляхом рівномірного поділу вхідного інтервалу.

Кількість нейронів (попередня кількість класів) визначаємо за співвідношенням:

$$N_n = \prod_{i=1}^{IV_3} n_i, \quad (2.11)$$

де N_n - кількість нейронів, n_i - попередня кількість станів за кожною змінною.

Щоб уникнути ситуації, коли подібні вхідні дані активують різні нейрони, використовуємо такий алгоритм для визначення початкових вагових коефіцієнтів:

Попередня кількість інтервалів для кожної змінної розраховується за формулою:

$$N = \text{Int}\left(\frac{\Delta x}{\sigma} + 1\right), \quad (2.12)$$

де N - кількість інтервалів, на які ділиться простір вхідної змінної, Δx - різниця між максимальним і мінімальним значенням змінної x , σ стандартне відхилення змінної x .

1. Розраховуємо кількість та ширину інтервалів за формулою:

$$\Delta = \frac{\Delta x}{N}, \quad (2.13)$$

де Δ - власне значення ширини інтервалу.

2. Визначаємо частку нейронів, котрі потраплять у визначений інтервал:

$$d_i = \frac{\Delta x_i}{\sum \Delta x_i} \quad (2.14)$$

3. Кількість попередніх значень змінної в кожному інтервалі визначається за формулою:

$$n_i = \text{Int}(2N \cdot d_i) + 1. \quad (2.15)$$

4. Загальна кількість попередніх значень для кожної змінної розраховується як:

$$n_x = \sum n_i. \quad (2.16)$$

5. Загальна кількість нейронів у мережі визначається як добуток кількості попередніх значень по кожній змінній:

$$N_{n\Sigma} = \prod n_{xi} \quad (2.17)$$

Таким чином, ми рівномірно розподіляємо початкові значення параметрів по всьому діапазону, щоб уникнути скупчення нейронів у певних областях N -вимірного простору.

У результаті створення попередньої структури мережі кількість нейронів може перевищувати кількість об'єктів, що підлягають сортуванню. Після навчання мережі частина нейронів залишається неактивованими. Тому після навчання такі незадіяні нейрони можна видалити з мережі. Альтернативно, ці неактивні нейрони можна зберегти для перевірки належності нових об'єктів до існуючих класів, оскільки вони можуть стати центрами нових класів, якщо нові об'єкти суттєво відрізняються від наявних.

Такий підхід вимагає більше часу на навчання та попередню обробку даних, але дозволяє уникнути ситуацій, коли схожі об'єкти потрапляють до різних груп, а різні об'єкти - до однієї групи.

Найбільш доречним для групування об'єктів є розподіл за середнім квартальним споживанням тепла та за договірними навантаженнями на опалення і гаряче водопостачання. Перший набір характеризує фактичний стан об'єкта, а другий -, хоча й враховує такі параметри як площа та кількість відвідувачів, може суттєво відрізнитися від реальної ситуації через зміни в тепломережі, погодних умовах, внутрішній температурі тощо.

Результати групування шкіл Києва наведено в Таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 - Модельні параметри для різних наборів вхідних даних

№ набору вхідних даних	Назва набору вхідних даних	Кількість вхідних змінних	Загальна кількість нейронів	Кількість задіяних нейронів
1	Опалювальна площа	1	10	10
2	Договірні теплові навантаження	2	20	14
3	Поквартальне теплоспоживання	4	81	12

Графічне зображення розподілу №2 наведене на рисунку 2.13.

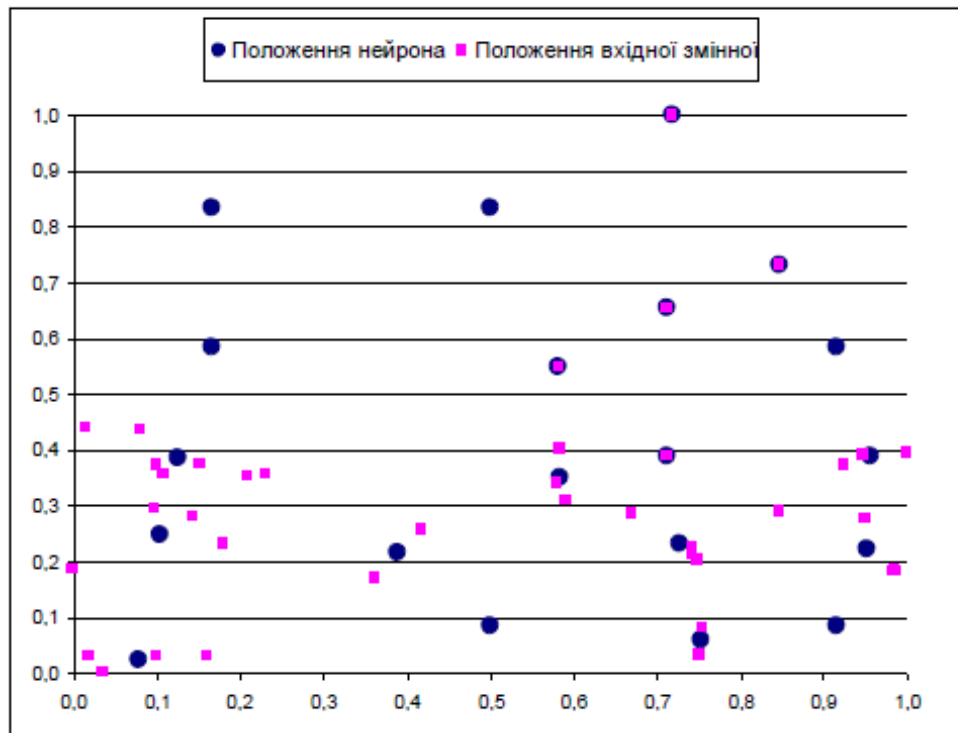


Рисунок 2.13. Розподіл об'єктів за показниками довірливого теплового навантаження

З рис. 2.13 видно, що деякі нейрони не брали участі у групуванні, що дозволяє їх виключити з подальшого розгляду, якщо не передбачається збільшення кількості об'єктів.

2.3. Аналізування рівня енергоспоживання будівель із застосуванням нейронних мереж Кохонена

Інформація, отримана в результаті групування об'єктів за різними характеристиками, може слугувати для оцінки енергоефективності цих об'єктів. Розглянемо три основних розподіли: перший відображає різницю в геометричних розмірах закладів, другий — довірливе теплове навантаження, враховуючи розміри будівлі, кількість відвідувачів і обсяг теплоспоживаючого обладнання. Третій розподіл демонструє фактичне теплоспоживання за рік.

Цілком логічно, що між цими розподілами повинен простежуватися певний взаємозв'язок, що підтверджується високими коефіцієнтами кореляції між змінними, які використовуються при групуванні. Так, якщо об'єкти, наприклад, школи, потрапили в однакові або суміжні групи за одним з критеріїв, то очікується, що при іншому групуванні вони залишаться в межах цих самих або суміжних груп. Однак, на практиці, це не завжди так, що може бути викликано різними як об'єктивними, так і суб'єктивними чинниками. Розглянемо можливі комбінації випадків:

1. Об'єкти опинилися в однакових підгрупах за всіма трьома критеріями. Це означає повну відповідність зазначених об'єктів, що дозволяє проводити пряме порівняння параметрів їхнього енергоспоживання.

2. Під час групування за площею об'єкти потрапили до однієї підгрупи, але при групуванні за тепловим навантаженням і фактичним споживанням тепла — до різних підгруп. Це вказує на значний вплив інших факторів на споживання теплової енергії, крім площі об'єкта.

3. При групуванні за тепловим навантаженням і площею об'єкти потрапили до однієї підгрупи, але за фактичним теплоспоживанням — до різних. Це може свідчити про неефективну роботу теплоспоживаючого обладнання (надмірне споживання або дефіцит теплової енергії) та/або про потребу в коригуванні договірної навантаження.

Використання нейронних мереж Кохонена для моніторингу енергоефективності

1. Об'єкти групуються залежно від їхнього енергоспоживання протягом контрольного періоду. Це визначає групу R_i , до якої належить кожен об'єкт.

2. У наступному контрольному періоді групування повторюється з використанням нейронної мережі, отриманої на попередньому етапі.

3. Якщо об'єкт перейшов до групи з більшим енергоспоживанням ($R_i \neq R_i'$), де $E(R_i) < E(R_i')$, його слід помістити до "групи ризику" для детального вивчення.

Цей алгоритм дозволяє проводити експрес-аналіз енергоспоживання для швидкого виявлення та усунення причин перевитрат.

Ключовими аспектами є:

- Групування об'єктів за їхнім енергоспоживанням у контрольному періоді
- Повторне групування в наступному періоді з використанням попередньої нейронної мережі
- Позначення об'єктів, що перейшли до групи з більшим енергоспоживанням

Це дозволяє оперативно виявляти та вирішувати проблеми енергоефективності. Підхід зосереджується на виявленні відхилень та винятків, а не на всеосяжному аналізі всіх об'єктів.

Оцінка ефективності використання енергоресурсів у житлових і громадських будівлях потребує створення типових моделей енергоспоживання, які слугуватимуть орієнтиром для аналізу. Для цього пропонується застосування нейронних мереж Кохонена, що дозволяють ефективно групувати дані і будувати графіки споживання енергії. Як зазначено в джерелі [12], при побудові типових графіків електричного навантаження доцільно враховувати призначення об'єктів. Цей підхід можливо адаптувати і для формування графіків теплового навантаження, особливо якщо йдеться про групи однотипних будівель, залучених до дослідження.

Для побудови моделей використовуються історичні дані про теплоспоживання, проте обов'язково враховується лише інформація, отримана після впровадження заходів енергозбереження. Важливо зауважити, що в досліджуваних періодах могли мати місце аномалії, спричинені,

наприклад, перерахунками, аварійними ситуаціями або некоректними нарахуваннями. Щоб мінімізувати вплив таких факторів, із розрахунків виключаються періоди з нетиповими нарахуваннями, а також узагальнюються дані для групи схожих будівель. Завдяки цьому випадкові відхилення в одній будівлі частково компенсуються загальною тенденцією групи.

Першим кроком у процесі аналізу є класифікація об'єктів за їх основним призначенням, наприклад:

- навчальні заклади,
- дитячі садки,
- медичні установи,
- адміністративні будівлі,
- житлові споруди,
- інші організації.

Однак навіть у межах однієї категорії будівлі можуть демонструвати суттєво різний рівень енергоспоживання через специфічні фактори. Це може бути пов'язано з кількістю відвідувачів, частковим використанням будівлі не за цільовим призначенням, різними масштабами впроваджених енергозберігаючих заходів тощо. Тому подальше групування здійснюється за додатковими критеріями, які допомагають врахувати ці відмінності.

На завершальному етапі типові графіки формуються на основі даних середньоквартального споживання енергії. Такий підхід забезпечує більш точне уявлення про характер навантаження, враховуючи особливості кожної групи об'єктів.

Методика побудови типових графіків споживання ТЕ

Загальний підхід побудови типових графіків споживання ТЕ полягає у наступних кроках:

1. Множину об'єктів Ω поділяємо на кластери Ω_i у відповідності до призначення будівлі (наприклад, навчальний заклад, заклад охорони здоров'я, будівля житлового та громадського призначення тощо).
2. Кластеризація (об'єднання об'єктів у групи відбувається за

значенням квартального споживання енергетичних ресурсів).

3. Для кожної виокремленої групи визначають значення споживання теплової енергії Q_m , за період впродовж якого працює обладнання. У підсумку отримаємо результуючий річний графік споживання ТЕ для кожного кластеру Ω_i :

$$Q_i = f(Q_m).$$

Результати моделювання типових графіків теплоспоживання для закладів Деснянського району міста Києва.

Застосування описаного алгоритму кластеризації дозволило розподілити бюджетні установи на 2 основні групи: дошкільні заклади та загальноосвітні школи. При цьому кожен із цих категорій було розділено на підгрупи залежно від поквартального теплоспоживання. Для кожної виокремленої підгрупи об'єктів було побудовано усереднений помісячний графік теплоенергетичних витрат.

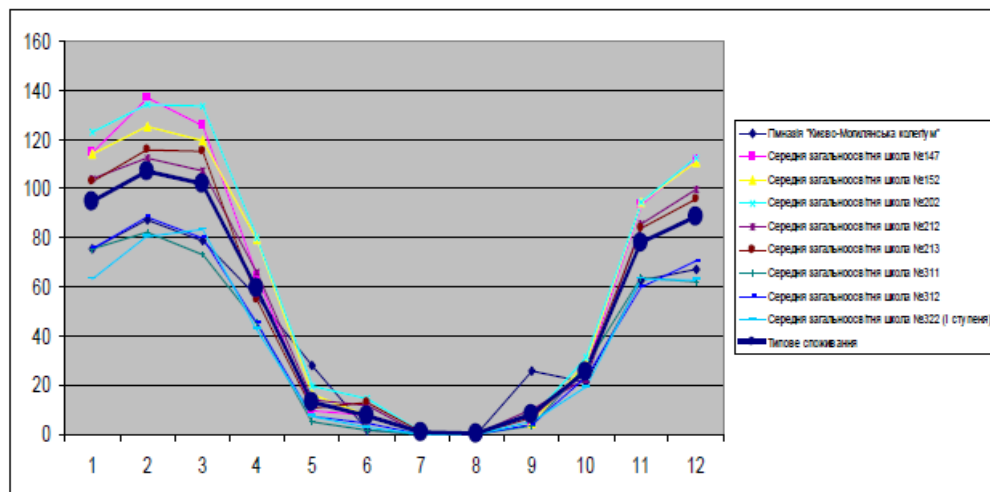


Рисунок.2.14. Графік споживання ТЕ та фактичні показники енергоспоживання загальноосвітніх навчальних закладів

Як видно з графічної візуалізації (рис. 2.14), для кожної ідентифікованої підкатегорії можна сформулювати типовий профіль теплоспоживання. Водночас значні розбіжності між усередненим графіком та даними про фактичне теплоспоживання дозволяють стверджувати про необхідність врахування

додаткових визначальних чинників для уточнення моделі енергетичного балансу.

Висновок до розділу 2

1. Виявлення об'єктів-аналогів є ключовим елементом аналізу енергоспоживання будівель житлового та громадського призначення. Це дозволяє відстежувати зміни у структурі енергетичних витрат та оперативно реагувати на відхилення у роботі енергогенеруючого обладнання.

2. Самоорганізаційна карта Кохонена уможлиблює ідентифікацію подібних моделей енергоспоживання серед сукупності досліджуваних споруд. Крім того, ця техніка пропонує практично невичерпні можливості для агрегації на базі різноманітних параметрів, кількість яких практично не обмежена. Варто зазначити, що навчання нейромережевої моделі не потребує наявності контрольних прикладів, відбувається виключно на основі вхідних характеристик об'єктів. З метою уникнення проблемних ситуацій, коли подібні об'єкти відносяться до різних кластерів, а відмінні - до одного, запропоновано алгоритм попередньої ініціалізації вагових коефіцієнтів нейронів шару Кохонена з урахуванням статистичного розподілу вхідних змінних.

3. Найбільш інформативними показниками режиму теплоспоживання будівлі є середньоквартальні обсяги споживання теплоенергії протягом року та договірні теплові навантаження на опалення та гаряче водопостачання. При цьому суттєва невідповідність між розподілами, отриманими в процесі кластеризації за наведеними вище параметрами, може бути ознакою невідповідності договірних навантажень і фактичного споживання.

4. Застосування нейронних мереж Кохонена для кластеризації створює передумови для розроблення типових графіків теплоспоживання для певних груп житлових і громадських будівель. Однак для підвищення точності таких нормативів необхідно враховувати вплив зовнішніх та внутрішніх чинників.

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ПЕР БУДІВЛЯМИ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1. Аналізування режимів споживання теплової енергії будівлями житлового та громадського призначення

У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів і необхідності зниження викидів вуглецю особливу увагу приділяють ефективності енергоспоживання будівель. Витрати теплової енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання значно впливають на загальну енергетичну ефективність будівель житлового та громадського призначення. Визначення оптимальних режимів споживання тепла є актуальним питанням для забезпечення комфортних умов і мінімізації енергетичних витрат.

Житлові будівлі мають змінний характер споживання тепла в залежності від сезону, часу доби та погодних умов. Споживання теплової енергії в житлових будинках визначається індивідуальними потребами мешканців, поведінковими факторами та конструктивними характеристиками будівель. Для оптимізації споживання тепла необхідно враховувати ці чинники та здійснювати відповідні корегування теплового режиму.

Громадські будівлі, такі як офіси, школи, лікарні, мають відмінний характер споживання тепла, що визначається інтенсивністю використання та кількістю людей в приміщеннях. Наприклад, опалення та вентиляція в офісах працюють здебільшого у робочий час, а школи потребують підтримання температурного режиму тільки під час навчальних годин. Такий режим роботи дає можливість знизити витрати на опалення та зменшити втрати тепла.

Однією із головних задач СЕМ є отримання первинного пулу та перманентне оновлення бази даних для прийняття управлінських рішень з раціоналізації фактичного енергоспоживання. Крім того, необхідним є

наявність механізму для аналізування вхідної інформації, зокрема створення моделі об'єкту дослідження для оцінювання рівня ефективності енергоспоживання, враховуючи варіативність зовнішніх та внутрішніх факторів впливу.

Так, головні фактори впливу на розподіл споживання ТЕ впродовж року:

1) початок опалювального сезону розпочинається зазвичай в осінній період, коли впродовж 3 днів температура зовнішнього повітря не перевищує 8°C (орієнтовно – 15.10), а завершується у весняний період - коли впродовж 3 днів температура зовнішнього повітря перевищує значення у 8°C (орієнтовно – 15.04). Треба враховувати, що конкретна дата початку (закінчення) опалювального сезону встановлюється відповідною постановою місцевого органу самоврядування, а для деяких об'єктів (заклади охорони здоров'я, дитячі установи) відповідно до письмового звернення керівництва закладу. Отже, треба враховувати, що режим теплоспоживання залежить від тривалості опалювального (неопалювального) періоду;

2) для специфічних об'єктів досліджень, наприклад, для навчальних закладів (шкіл), враховуючи їх режим необхідно враховувати рівень зниження споживання ТЕ на потреби ГВП, наприклад, під час періоду канікул.

3) під час моделювання доцільно враховувати, що, на сьогодні, фактичний температурний графік не відповідає проєктному.

4) переважна більшість будівель житлового та громадського призначення обладнана САР теплоспоживання, що надає змогу корегувати кількість спожитої енергії на потреби опалення та ГВП у відповідності до значення температури зовнішнього повітря, години доби та дня тижня.

5) різноманітні джерела ТЕ генерують теплову енергію у вигляді теплоносія та/або гарячої води з різними параметрами, зокрема й температурою.

6) на переважній більшості об'єктів встановлено загальний облік ТЕ на потреби ГВП (облік холодної води здійснюється окремо) та системи

опалення.

Відповідно до виконаних енергетичних обстежень досліджуваних об'єктів виявлено наявність вагомого взаємного впливу значень споживання різних видів енергоресурсів для будівель житлового та громадського призначення.

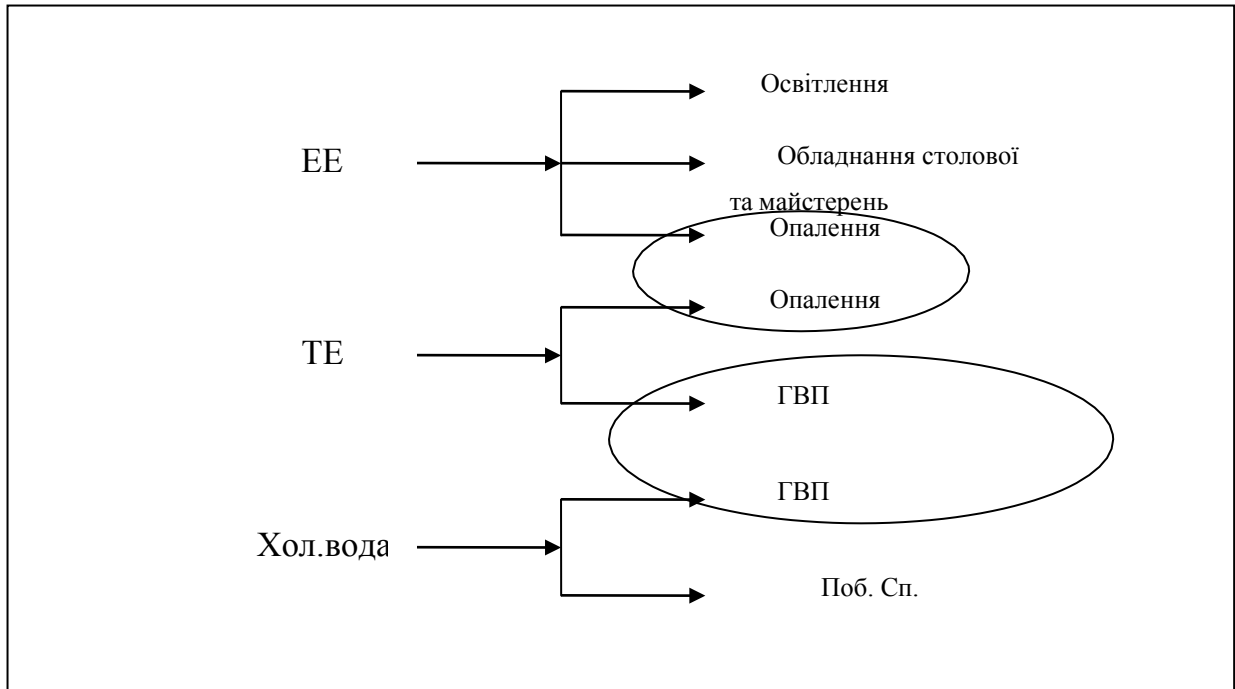


Рисунок.3.1. Основні енергоресурси та їх споживачі

Отже, аналізуючи рис. 3.1. очевидним стає той факт, що споживання ЕЕ корелює зі споживання ТЕ на потреби системи опалення, що обумовлюється компенсацією недоотриманої кількості ТЕ. Співвідношення споживання холодної та гарячої води впродовж року майже не варіюється.

Тож, наголосимо на тому, що внаслідок недоотримання ТЕ з системи централізованого теплопостачання споживачі намагаються якось компенсувати цей дефіцит за рахунок обігріву приміщень засобами, що використовують ЕЕ. Величина споживання холодної та гарячої води теж мають досить тісний зв'язок, виходячи з потреб споживача.

Наприклад, виконаємо аналізування даних, отриманих СЕМ для групи об'єктів – загальноосвітніх навчальних закладів (шкіл). Вихідною інформацією вважатимемо режим їх роботи – 5 днів на тиждень (8 год\добу).

Режими тепло- та електроспоживання подано у вигляді графіків на рис. 3.2 - 3.5.

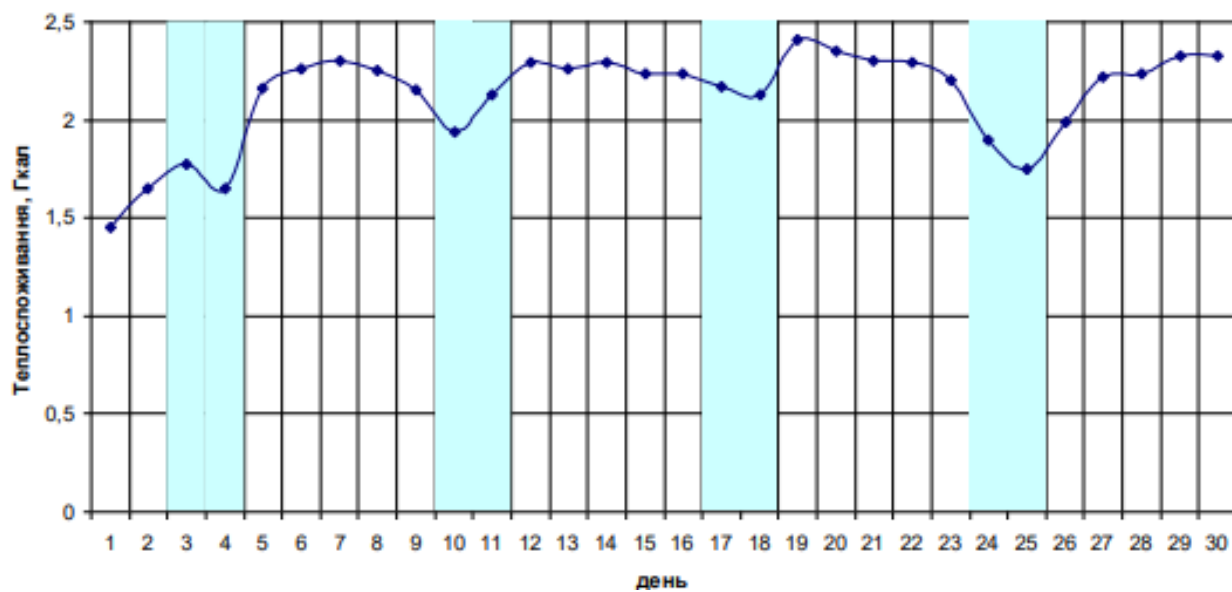


Рисунок.3.2. Графік теплоспоживання ЗОШ впродовж місяця

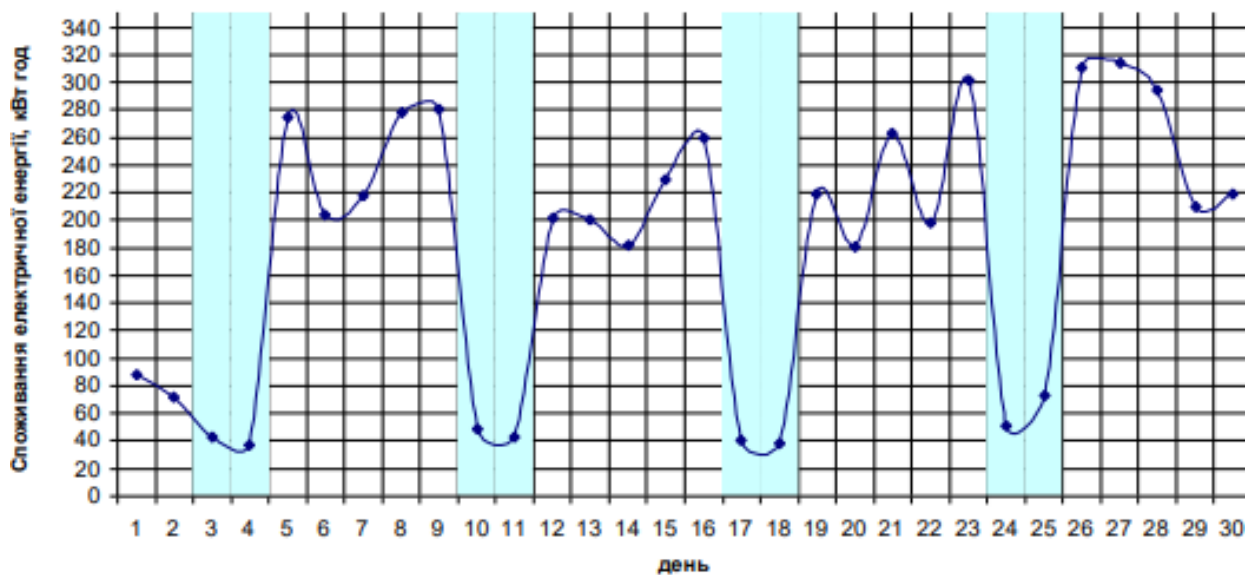


Рисунок.3.3. Графік споживання ЕЕ ЗОШ впродовж місяця

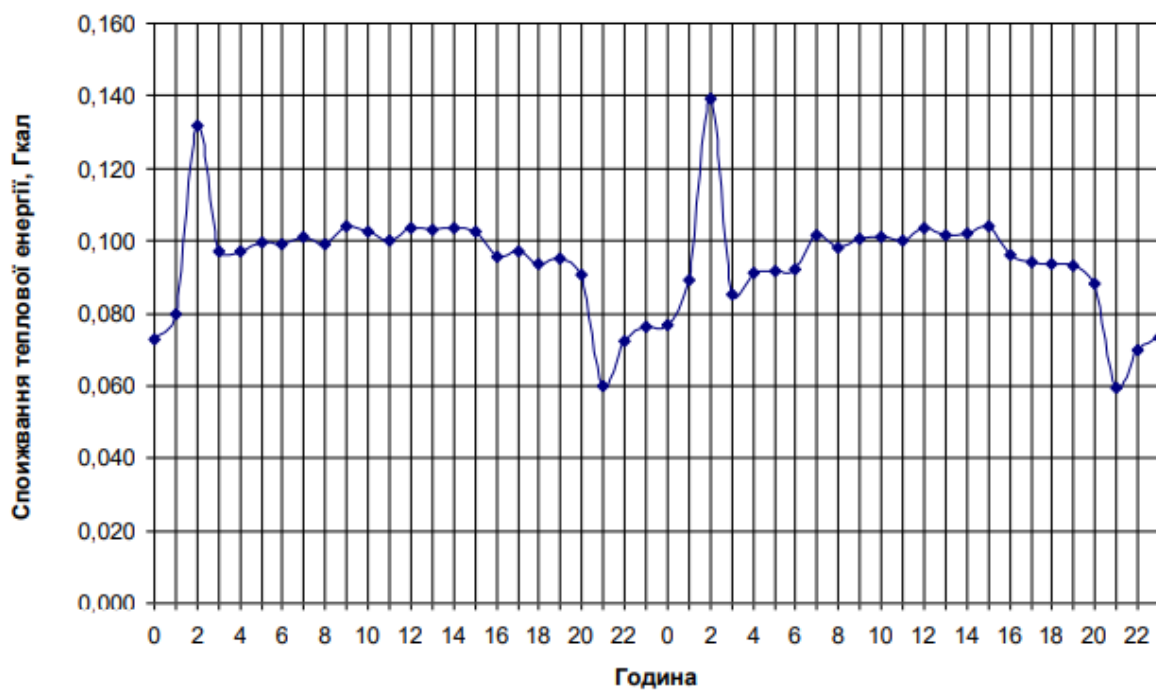


Рисунок.3.4. Графік споживання ТЕ ЗОШ впродовж доби

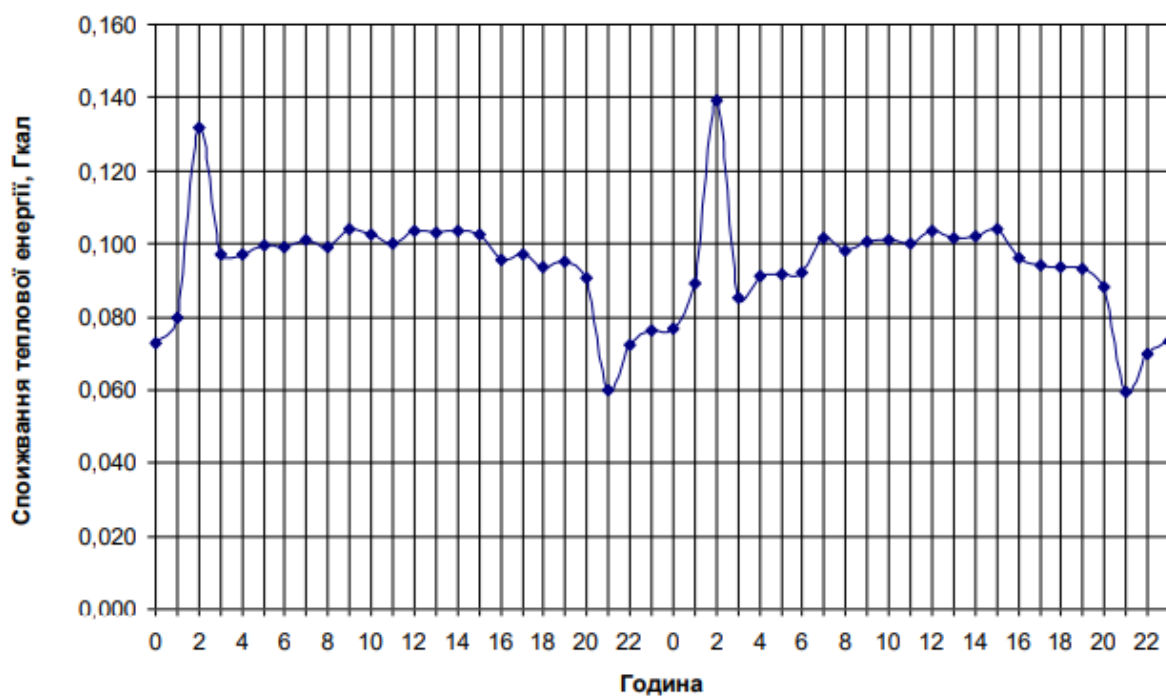


Рисунок.3.5. Графік споживання ЕЕ ЗОШ впродовж доби

Важливим аспектом є й коректний підхід до визначення періодичності збирання даних СЕМ з цією метою доцільно використовувати такі підходи:

1. Період моніторингу збігається з міжзвітним періодом, тобто з періодом, за який у підприємстві або установі готуються звіти за різними показниками (економічними, фінансовими тощо). Зазвичай цей період становить один квартал.

Перевагою такого підходу є відносно невисока вартість моніторингу, оскільки дані про енергоспоживання збираються одночасно з іншими показниками діяльності, що не потребує додаткових приладів обліку чи залучення додаткового персоналу.

Недоліки підходу включають: відсутність можливості швидко реагувати на відхилення в енергоспоживанні та невідповідність періоду моніторингу циклам споживання енергоносіїв.

2. Період моніторингу відповідає періоду між розрахунками за енергоносії, що зазвичай становить один місяць. Основною перевагою цього підходу є те, що організовувати збір даних окремо не потрібно — показники енергоспоживання збираються безпосередньо для розрахунків.

До недоліків належить недостатня оперативність у прийнятті рішень: якщо несправність у роботі обладнання трапляється на початку місяця, то про це стане відомо лише наприкінці місяця.

Період моніторингу встановлюється на основі співвідношення між витратами на моніторинг і потенційними втратами від надмірного споживання енергії через невчасно виявлені відхилення. Основна мета — мінімізувати сукупні витрати на моніторинг та енергоресурси:

$$T = f(C_m, C_e, f), \quad (3.1)$$

де T – період циклу моніторингу,

C_m – вартість виконання моніторингу;

C_e – вартість перевитрат енергоносіїв;

f – ймовірність виникнення перевитрат енергії.

Основна перевага цього підходу — можливість економічно обґрунтувати доцільність впровадження СЕМ. У той же час, головним недоліком є складність визначення ймовірності позаштатних ситуацій для обладнання, щодо якого бракує набору статистичних даних. Крім того, через технічні та організаційні обмеження ремонт чи заміни обладнання не завжди можуть бути виконані негайно після виявлення проблем. Це впливає на вибір періоду фіксації даних СЕМ, що має бути враховано у формулі (3.1).

3. Період фіксації даних СЕМ визначається окремо для кожного виду енергоресурсів, з урахуванням характерних циклів енергоспоживання. Відомо, що для певних підприємств енергоспоживання є циклічним, з періодами в один день, тиждень тощо. На рис. 3.2-3.5 відображено характерні місячні та добові цикли споживання електричної та теплової енергій, а також добові цикли.

Графік погодинного споживання може бути побудований для потреб СЕМ лише за наявності автоматизованих систем збору даних.

3.2. Математичне моделювання споживання ПЕР будівлями житлового та громадського призначення

Створення математичної моделі, яка здатна точно відображати режими споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), дає змогу вирішувати такі завдання:

- порівнювати фактичне споживання ПЕР із типовою моделлю для виявлення відхилень і швидкого усунення їх причин;
- використовувати модель для визначення найефективніших режимів споживання ПЕР;
- оцінювати обсяги фактичної економії енергоресурсів за зміни факторів, що впливають на споживання;
- створити об'єктивну базу для системи стимулювання ефективного використання ПЕР.

Основним завданням при створенні моделі споживання теплової енергії є вибір факторів (вхідних змінних), що впливають на режим теплоспоживання.

Під час визначення масиву вхідних змінних для моделі важливо врахувати такі критерії:

1) якщо модель спирається на статистичні дані, вхідні змінні потрібно обирати з-поміж факторів, які традиційно фіксуються для об'єкта дослідження. Зазвичай ці фактори мають документовану історію спостережень і є релевантними для конкретних умов;

2) серед доступних факторів слід визначити й відібрати ті, що найбільше впливають на споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Для визначення найбільш значущих факторів можуть бути використані різні методи, зокрема:

1) Методи експертних оцінок: фахівці галузі можуть надати свої оцінки та судження щодо факторів, які, на їхню думку, мають значний вплив на споживання ПЕР, спираючись на власні знання та досвід.

2) Кореляційний аналіз: За допомогою статистичних методів можна проаналізувати зв'язки між різними факторами і споживанням ПЕР. Вивчення сили та напрямку кореляцій дозволяє виділити змінні, найбільш тісно пов'язані зі споживанням.

3) Методи, засновані на побудові регресійної моделі: Для оцінки важливості різних факторів можна розробити попередню модель, яка дозволить визначити ступінь впливу кожного фактора на зміну споживання ПЕР.

Для наочного пояснення процесу розглянемо приклад аналізування залежності між споживанням теплової енергії в опалювальні сезони 2017–2019 років і потенційними факторами впливу, які спостерігалися протягом тривалого часу. Рис. 3.4–3.12 ілюструють ці залежності, а апроксимуючі криві побудовано з використанням методу найменших квадратів. Метод найменших квадратів дозволяє зменшити різницю між фактичними і розрахунковими

значеннями, обчислюючи криву, яка максимально наближено описує залежність між споживанням теплової енергії та впливовими факторами.

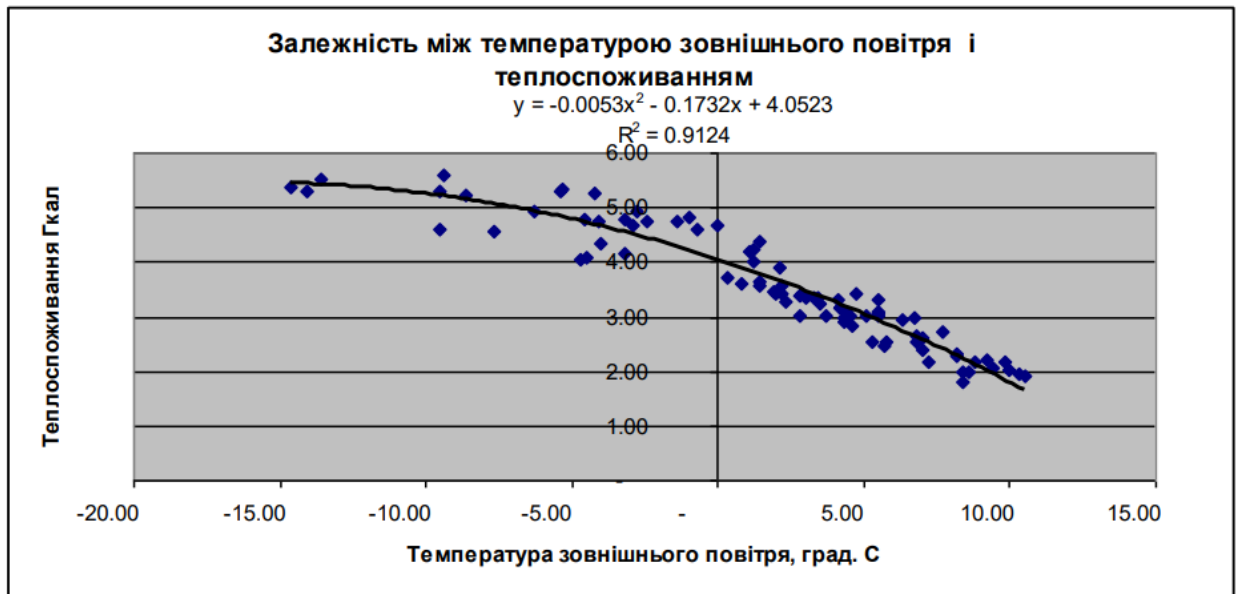


Рисунок.3.6. Графік для аналізування залежності між температурою зовнішнього повітря та рівнем споживання ТЕ

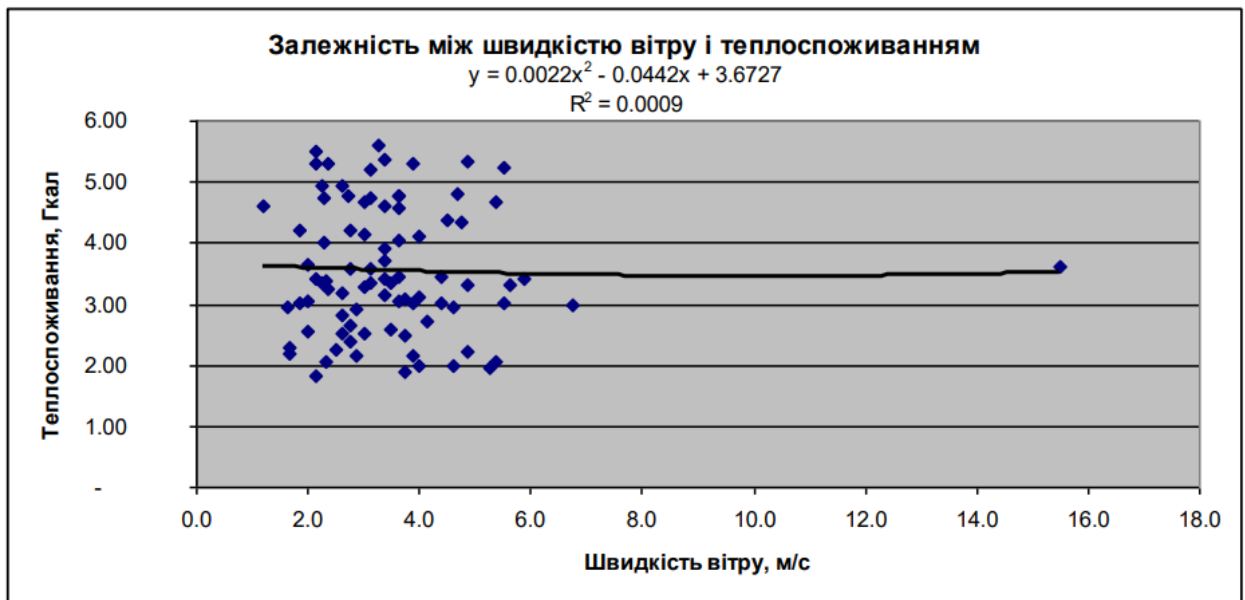


Рисунок.3.7. Графік для аналізування залежності між швидкістю вітру та рівнем споживання ТЕ

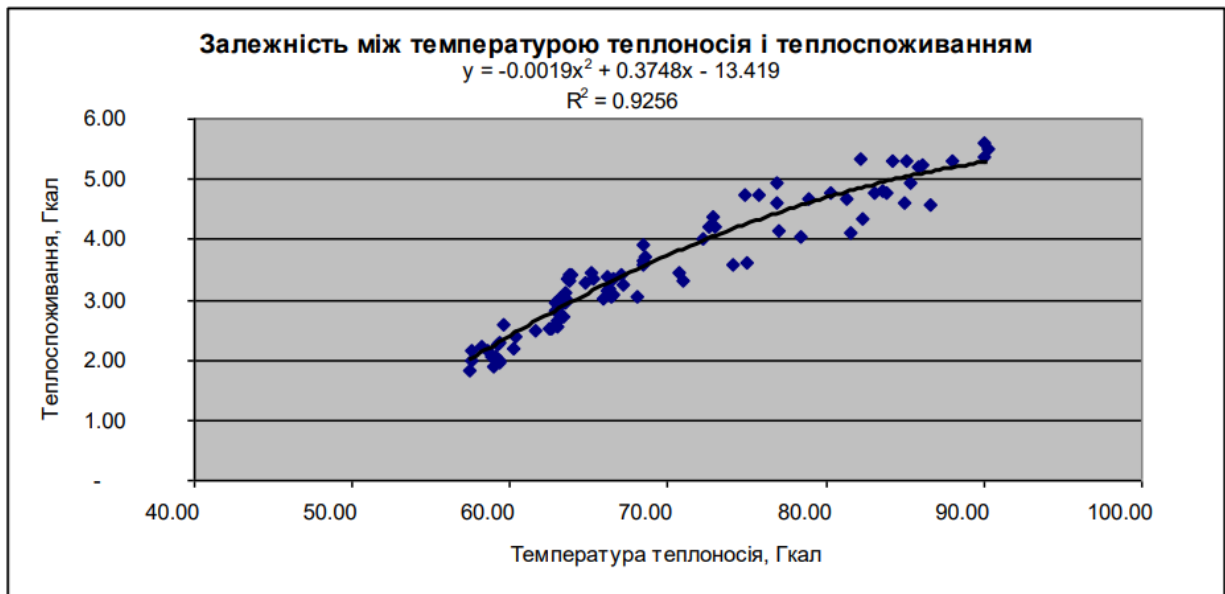


Рисунок.3.8. Графік для аналізування залежності між температурою теплоносія і споживанням ТЕ

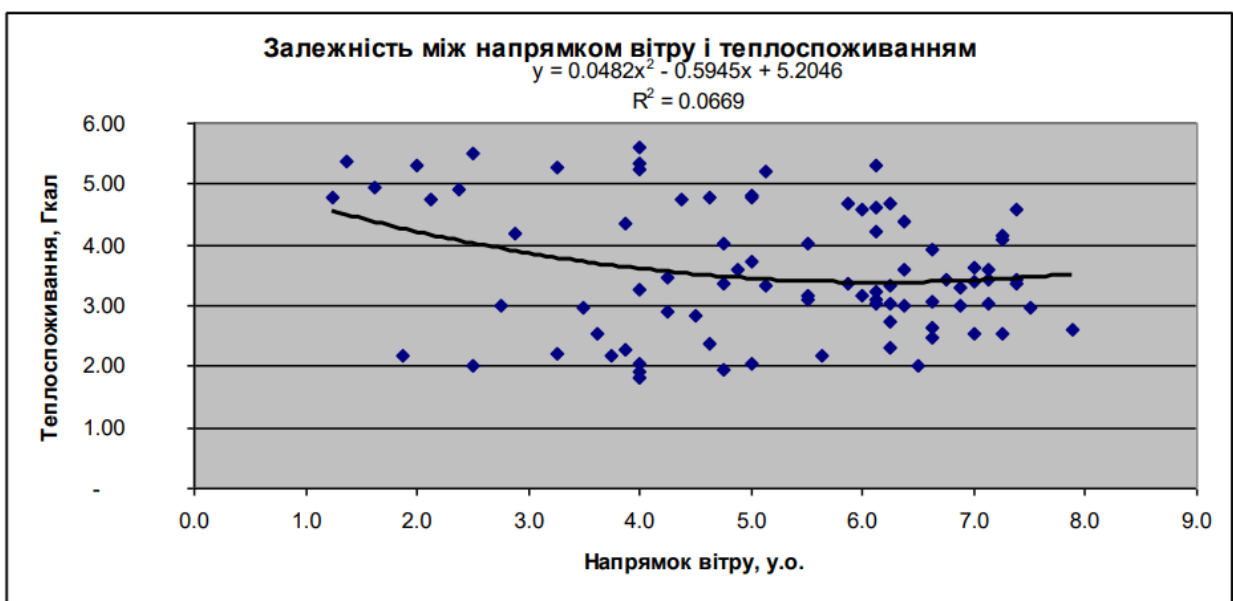


Рисунок.3.9. Графік для аналізування залежності між напрямком вітру і споживанням ТЕ

Рис. 3.6–3.7 ілюструють співвідношення між споживанням ТЕ та двома важливими факторами: температурою зовнішнього повітря та швидкістю вітру. На основі аналізування рис. 3.6–3.7 можна зробити наступні висновки:

1. Температура зовнішнього повітря: Виявлена значна кореляція між температурою зовнішнього повітря та споживанням тепла. Як і очікувалося,

зниження температури зовнішнього повітря веде до збільшення потреби в опаленні для підтримки комфортних температур в приміщеннях. Така залежність є типовою для більшості будівельних об'єктів, де системи опалення працюють активніше при зниженні температури.

2. Швидкість вітру: Відсутність очевидної кореляції між швидкістю вітру та споживанням тепла є важливим спостереженням. Це може свідчити про те, що вітрові умови в даному конкретному випадку не мають суттєвого впливу на теплові навантаження, що може бути зумовлено характеристиками будівлі, її теплоізоляцією або наявністю інших факторів, які компенсують вплив вітру.

Ці результати підкреслюють важливість ретельного підходу до вибору змінних при побудові математичних моделей для прогнозування споживання енергії. Врахування температури зовнішнього повітря є необхідним для точних оцінок, тоді як швидкість вітру в цьому випадку не впливає на споживання тепла в значній мірі.

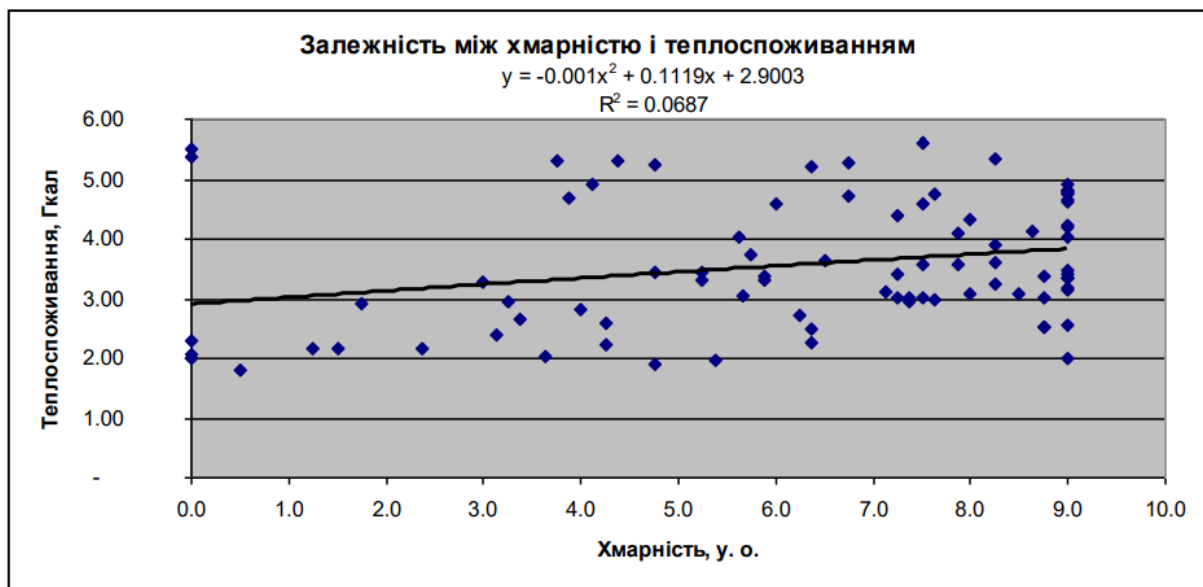


Рисунок.3.10. Графік для аналізування залежності між хмарністю і споживанням ТЕ

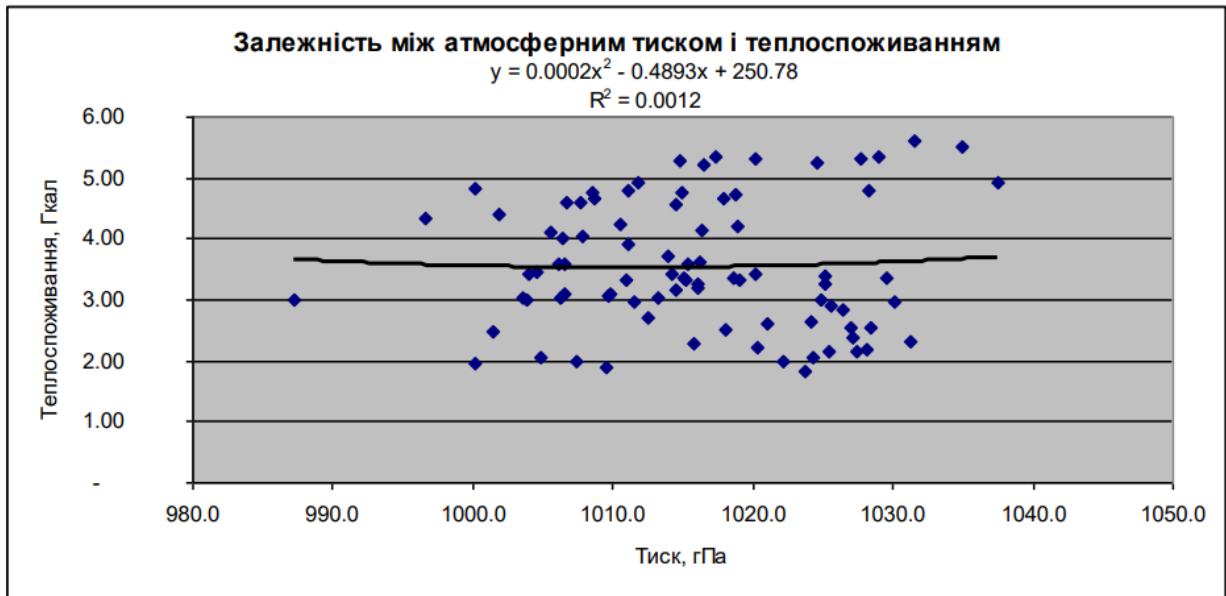


Рисунок.3.11. Графік для аналізування залежності між атмосферним тиском і споживанням ТЕ

Криві на рис. 3.8 - 3.9 ілюструють залежність між споживанням тепла та двома додатковими факторами: температурою теплоносія в подавальному трубопроводі та напрямком вітру. Рисунки 3.10 - 3.11 зображають залежність між споживанням ТЕ, хмарністю та атмосферним тиском. Ось що можна зробити з аналізу цих графіків:

1. Температура теплоносія в подавальному трубопроводі: Спостерігається значна кореляція між температурою теплоносія та споживанням тепла. Як і очікувалося, при підвищенні температури теплоносія споживання тепла збільшується. Це підтверджує, що більша температура теплоносія є ознакою підвищеного попиту на опалення, оскільки більша кількість тепла передається в систему опалення.

2. Напрямок вітру: Немає суттєвої залежності між напрямком вітру та споживанням тепла. Зміна напрямку вітру не має помітного впливу на споживання тепла в даному випадку, що може бути обумовлено тим, що вплив вітру не так відчутний на внутрішньому температурному режимі

приміщень порівняно з іншими факторами, такими як температура теплоносія чи зовнішня температура.

3. Хмарність та атмосферний тиск: Обидва ці фактори також не мають помітного впливу на споживання тепла. Незважаючи на можливі зміни в атмосферних умовах, коливання хмарності та атмосферного тиску не виявили суттєвого зв'язку зі зміною потреби в опаленні. Це може свідчити про те, що на режим теплоспоживання більше впливають температурні фактори, а не атмосферні умови.

Ці висновки підкреслюють важливість правильного вибору змінних для моделювання та аналізу енергоспоживання. У даному контексті найбільший вплив на споживання тепла мають температура теплоносія, а також зовнішня температура, в той час як такі фактори, як напрямок вітру, хмарність та атмосферний тиск, не мають значущого впливу на теплові навантаження.

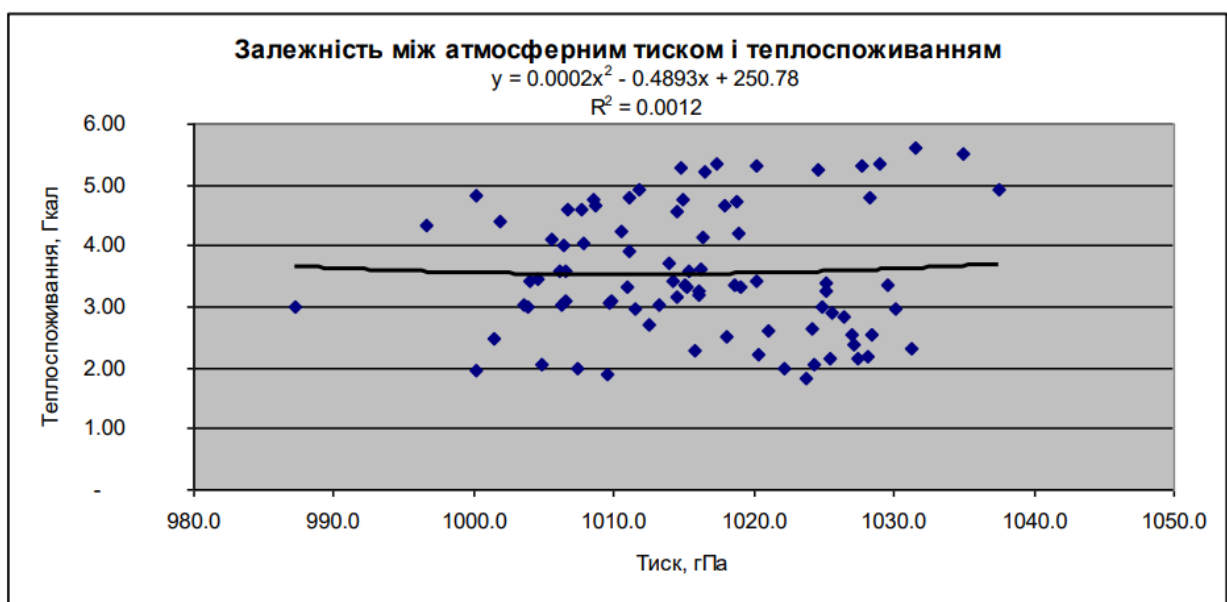


Рисунок.3.12. Графік для аналізування залежності між споживанням гарячої води і ТЕ

Порівняння споживання води на гаряче водопостачання та теплоспоживання вказує на тісну залежність між ними. Це є важливим моментом, оскільки гаряча вода є частиною загального теплоспоживання, і в

опалювальний період її доля складає близько 7%. Така пропорція має значення, особливо при оцінці теплоспоживання в літній та осінньо-весняний період, коли основним фактором є саме споживання гарячої води, а не опалення.

З аналізу графіків видно, що найбільший вплив на споживання тепла мають температура теплоносія в подавальному трубопроводі та температура зовнішнього повітря. Ці фактори безпосередньо впливають на потребу в опаленні та гарячій воді. Вища температура теплоносія свідчить про збільшену потребу в енергії для опалення, а температура зовнішнього повітря визначає, скільки тепла необхідно для підтримки комфортної температури в приміщеннях.

Інші фактори, як, наприклад, швидкість вітру, атмосферний тиск чи хмарність, мають менший вплив і повинні бути оцінені за допомогою методів факторного аналізу для більш точної оцінки їх ролі в системі теплоспоживання. Цей аналіз дозволяє виділити ті фактори, які мають найістотніший вплив, і зробити модель енергоспоживання більш точною для прогнозування та управління ресурсами.

Методика експертного оцінювання впливу факторів на режим теплоспоживання житлових і громадських будівель є важливою складовою при визначенні оптимальних умов для енергоефективного використання ресурсів. Вона дозволяє залучити знання та досвід фахівців для більш точного аналізу і прогнозування енергоспоживання. Формування групи експертів для такої оцінки включає такі ключові етапи:

1. **Формування групи експертів:** Експерти повинні бути компетентними в сфері енергетики, технологій та енергозбереження, зокрема вони можуть бути енергетиками, технологами, виробничими менеджерами, незалежними енергоаудиторами та представниками органів державного контролю у сфері енергетики.

2. **Критерії відбору експертів:**

- **Високий професійний рівень:** Експерт повинен мати досвід роботи в даній галузі та володіти знаннями, які дозволяють йому робити обґрунтовані висновки щодо впливу факторів на режим теплоспоживання.
- **Креативність та здатність перспективно мислити:** Експерт має бути здатним не лише аналізувати наявні дані, але й пропонувати інноваційні рішення для покращення енергоефективності.
- **Об'єктивність та адекватність результатів:** Експерти повинні працювати без суб'єктивних упереджень, щоб результат оцінки був об'єктивним і відповідним реальним умовам.
- **Досвід у подібних заходах:** Наявність досвіду проведення аналогічних оцінок та знання специфіки підприємства чи об'єкта є важливими для правильної інтерпретації результатів і прийняття зважених рішень.

3. Етапи експертної оцінки:

- **Визначення факторів впливу:** На цьому етапі експерти аналізують і відбирають основні фактори, які можуть впливати на споживання енергії в будівлях, наприклад, температура зовнішнього повітря, теплоносія, характер опалення тощо.
- **Оцінка ваги кожного фактору:** За допомогою методу експертних оцінок експерти можуть присвоїти значення або вагу кожному фактору для подальшого включення їх у математичну модель або інші інструменти для прогнозування споживання енергії.
- **Визначення сценаріїв:** Експерти оцінюють різні сценарії та їх вплив на енергоспоживання, включаючи зміни в зовнішніх умовах, технологічних процесах або операціях.

Методика експертного оцінювання є важливою частиною процесу енергетичного аудиту та управління енергоефективністю, оскільки дозволяє отримати професійну оцінку на основі як кількісних, так і якісних даних, що є основою для розробки більш ефективних стратегій та заходів з енергозбереження.

Процес експертного оцінювання впливу факторів на режим споживання ТЕ житлових і громадських будівель є важливим етапом у визначенні основних енергетичних змінних, що впливають на енергоефективність. Ось як цей процес зазвичай виглядає:

1. Кількісний склад групи експертів

Як було зазначено, кількість експертів може коливатися від 10 до 20 осіб. Вибір групи залежить від необхідної точності та відносної похибки вибірки. Чим більше експертів у групі, тим точніші можуть бути результати, але потрібно також зберігати баланс, оскільки надмірна кількість експертів може ускладнити процес обробки інформації.

2. Процес заповнення таблиці

Кожному експерту пропонується оцінити ступінь впливу факторів на споживання тепла в балах від 1 до 100. Крім того, експертам пропонується вказати:

- **Кваліфікацію:** Це може бути рівень досвіду в енергетичній сфері або спеціалізація в конкретних аспектах теплоенергетики.
- **Ступінь знайомства з виробничою системою:** Це важливо, оскільки знання конкретних умов роботи підприємства може впливати на точність оцінки.
- **Джерела аргументації:** Це можуть бути попередні дослідження, внутрішні дані підприємства або літературні джерела, на які експерт спирається.

3. Опитування експертів

Після того, як таблиця була розроблена, 15 експертів, які працюють в теплопостачальних підприємствах, організаціях з обслуговування систем теплопостачання та підприємствах, що займаються енергетичними аудитами, були запрошені для участі в опитуванні.

4. Визначення факторів

Експертам було запропоновано визначити **10 найбільш значущих факторів**, що впливають на режим споживання ТЕ у будівлях житлового і громадськогопризначення. Це можуть бути, наприклад:

- Значення температури зовнішнього повітря
- Значення температури теплоносія
- Вологість повітря
- Вітрові навантаження
- Тип та стан теплообмінних систем
- Характеристика теплоізоляції будівель
- Час доби та сезонність
- Стан теплопостачальних мереж
- Кількість мешканців або користувачів приміщення
- Стан опалювальних приладів

5. Оцінка факторів

Експертам було запропоновано оцінити вплив кожного з цих факторів на режим споживання теплової енергії за шкалою від 1 до 10, де:

- **1** - дуже слабкий вплив,
- **10** - дуже сильний вплив.

Це дозволяє створити більш об'єктивну картину, виходячи з колективної думки експертів, і забезпечити ефективний аналіз впливу різних змінних на енергоспоживання.

6. Аналіз результатів

На основі оцінок, отриманих від експертів, можна провести:

- **Середнє арифметичне значення** для кожного фактора, що дасть загальну картину його впливу.
- **Моделювання** за допомогою отриманих даних для подальших розрахунків та прогнозів.
- **Порівняння результатів** серед різних груп експертів (якщо вони належать до різних категорій фахівців).

Цей метод дозволяє не лише оцінити важливість факторів, а й сприяє глибшому розумінню причинно-наслідкових зв'язків між ними.

У табл. 3.1. наведено перелік факторів та результати їх оцінювання командою експертів.

Таблиця 3.1. Перелік факторів та результати їх оцінювання командою експертів

№ з\п	Фактори у порядку важливості	Сер.оцінка експерта
1	Значення температури навколишнього середовища	95,1
2	Значення температури теплоносія	50,2
3	Сезонність	50,2
4	Площа (об'ємні характеристики) об'єкту	47,3
5	Значення температури в середині приміщення	47,5
6	Факт наявності\відсутності системи регулювання	30,7
7	Фактичний стан огорожуючих конструкцій будівлі	19,9
8	Режим роботи закладу	17,1
9	Швидкість вітру	12,8
10	Кваліфікація технічного персоналу будівлі	11,1

Для аналізування кореляцій між споживанням ТЕ будівель та факторами впливу, як зовнішніми, так і внутрішніми (табл. 3.2) можна використовувати коефіцієнти кореляції, які дозволяють визначити рівень залежності між різними змінними. Коефіцієнт кореляції, зазвичай позначається як r , коливається від -1 до +1, де:

- $r = 1$: ідеальна позитивна кореляція (зміни в одній змінній завжди призводять до змін в іншій в тому ж напрямку),
- $r = -1$: ідеальна негативна кореляція (зміни в одній змінній завжди призводять до зворотних змін в іншій),
- $r = 0$: відсутність кореляції (зміни в одній змінній не мають жодного впливу на іншу).

Доцільно зауважити, що для аналізування обрані фактори, що фіксувалися під час досліджень впродовж тривалого періоду часу.

Таблиця 3.2. Значення коефіцієнтів попарної кореляції для обраних факторів впливу

	T_{MIN}	T_{MAX}	T_{MID}	T_1	ГВП	Тип дня	Місяць	Спож. ТЕ
T_{MIN}	1.000							
T_{MAX}	0.950	1.000						
T_{MID}	0.980	0.990	1.000					
T_1	- 0.850	- 0.860	-0.860	1.000				
ГВП	- 0.130	- 0.120	-0.120	0.120	1.000			
Тип дня	- 0.460	- 0.480	-0.480	0.480	0.280	1.000		
Місяць	0.270	0.200	0.230	- 0.230	0.080	-0.010	1.000	
Спож. ТЕ	- 0.900	- 0.920	-0.920	0.950	0.100	0.470	-0.230	1.000

Аналізування результатів розрахунків (табл.3.2) надає важливу інформацію щодо факторів, що впливають на споживання ТЕ в будівлях. Ось як можна структурувати це:

1. **Температура зовнішнього повітря:** Вона є одним з основних факторів, що безпосередньо впливає на потребу в опаленні, оскільки чим нижча температура зовнішнього повітря, тим більший обсяг теплової енергії необхідний для забезпечення комфортних умов всередині приміщення.

2. **Температура теплоносія в подавальному трубопроводі:** Це ще один ключовий фактор, що безпосередньо пов'язаний із температурним режимом, який встановлюється в системах опалення. З підвищенням

температури теплоносія збільшується потреба в тепловій енергії для підтримки необхідного температурного режиму у приміщеннях.

3. Фактичний режим роботи об'єкту: Режим роботи будівлі (наприклад, заклад в неробочий чи робочий час) також має значний вплив на споживання енергії, оскільки потреба в опаленні або гарячій воді змінюється залежно від рівня завантаження приміщення.

4. Взаємозв'язок між температурою в трубопроводі та температурою зовнішнього повітря: Як ви правильно відзначили, ці два фактори мають значну кореляцію, однак через недотримання температурного графіка в деяких системах централізованого теплопостачання, їх не можна вважати ідентичними. Проблема з підтримкою стабільної температури в системах може створювати невідповідність між запланованими та реальними показниками температури, що потребує додаткового аналізу.

5. Специфіка систем централізованого теплопостачання: Зважаючи на нерідкі випадки недотримання температурних графіків в таких системах, а також наявність автоматизованих систем моніторингу та управління теплоспоживанням, важливо враховувати ці аспекти під час аналізу та моделювання споживання теплової енергії.

Таким чином, важливо враховувати вплив кожного з цих факторів на режим теплоспоживання для точного прогнозування і ефективного управління енергетичними ресурсами в будівлях.

Оскільки метод експертної оцінки вимагає кваліфікованих фахівців, що часто ускладнює проведення аналізу в обмежені терміни, а кореляційний аналіз може ефективно застосовуватися тільки в випадку наявності лінійної залежності між шуканою функцією і факторами, що досліджуються, застосування зазначених методів не завжди дозволяє отримати потрібний результат.

У той же час, використання нейронних мереж для оцінки значимості факторів енергозбереження має кілька переваг перед традиційними методами, такими як експертне оцінювання та кореляційний аналіз:

1. *Оперативність*: Нейронні мережі дозволяють здійснювати аналіз значно швидше, оскільки вони не потребують безпосередньої участі експертів і здатні працювати з великими обсягами даних у реальному часі. Це особливо корисно, коли необхідно здійснити швидку оцінку або прийняття рішення.

2. *Обробка нелінійних зв'язків*: На відміну від кореляційного аналізу, який зазвичай працює лише з лінійними залежностями, нейронні мережі здатні виявляти складні нелінійні зв'язки між факторами та результатами, що робить їх дуже потужним інструментом для аналізу енергетичних процесів.

3. *Інтерпретація ретроспективних даних*: Нейронні мережі, завдяки своїй здатності навчатися на основі історичних даних, можуть використовувати попередній досвід для прогнозування та оцінки значимості факторів впливу. Це схоже на діяльність експерта, який формує свої оцінки на основі попереднього досвіду, що надає більшу гнучкість та адаптивність системи.

4. *Використання багат шарових нейронних мереж (БНМ)*: БНМ дозволяють моделювати складні взаємозв'язки між факторами і результатами за допомогою декількох шарів нейронів, що дозволяє краще вловлювати різні рівні абстракції та взаємозв'язків між факторами.

5. *Використання РБНМ*: РБНМ можуть бути використані для моделювання функцій, де зв'язки між змінними є не лінійними, що може бути особливо корисно в ситуаціях, коли зв'язки між факторами енергоспоживання складні і нелінійні. РБНМ добре справляються з задачами, де необхідно враховувати відстань від центру, що може бути корисним для розпізнавання важливих факторів.

Застосування нейронних мереж для оцінки значимості факторів: У даному випадку нейронні мережі можуть бути використані для автоматичного виявлення важливих факторів, що впливають на енергоспоживання, шляхом обробки історичних даних про температури, енергетичні показники та інші змінні. Це дозволяє створювати більш точні моделі прогнозування

споживання енергії та оптимізації енергетичних ресурсів у реальному часі, що значно підвищує ефективність управління енергоспоживанням у будівлях.

Таким чином, використання нейронних мереж є потужним і ефективним підходом до вирішення задач, пов'язаних з енергозбереженням, і надає можливість створити більш адаптивні та точні моделі, здатні враховувати складні взаємозв'язки між різними факторами. Типова архітектура нейронної мережі подана на рис. 3.13.

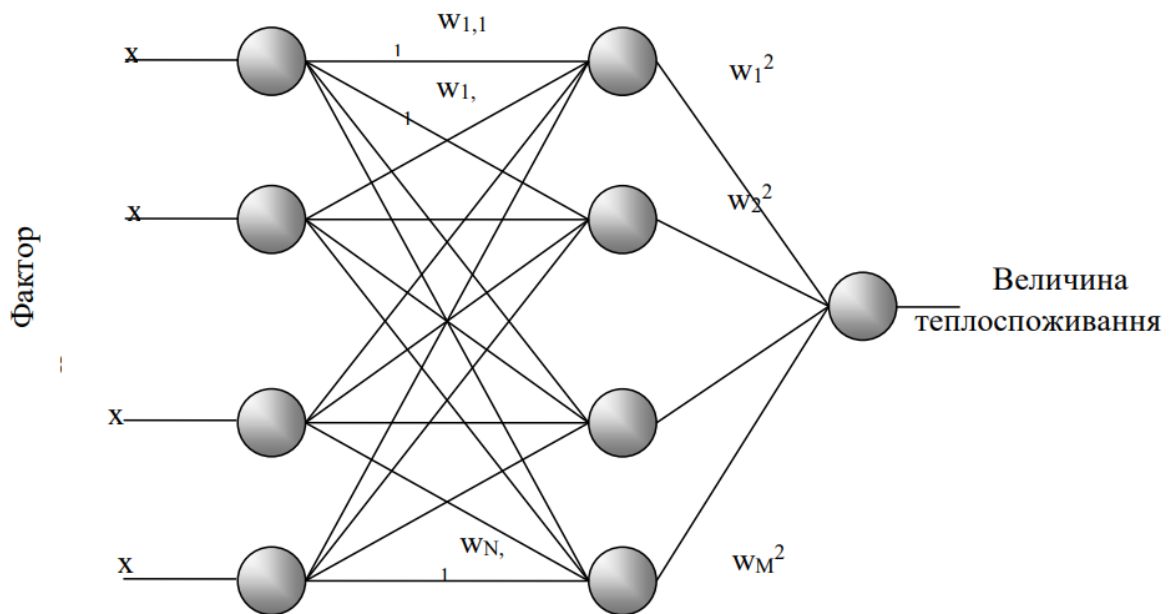


Рисунок.3.13. Типова архітектура нейронної мережі

Багатошарова нейронна мережа, також відома як багатошаровий персептрон (MLP), показана на рисунку 3.11. Вона складається зі з'єднаних між собою нейронів, які формують шарувату структуру. MLP має такі параметри та властивості:

1) Кількість шарів мережі: MLP включає кілька шарів, які зазвичай складаються з вхідного шару, одного або кількох прихованих шарів і вихідного шару. Точна кількість шарів залежить від складності вирішуваної задачі.

2) Кількість нейронів у кожному шарі: У кожному шарі є певна кількість нейронів. Нейрони в межах одного шару не зв'язані між собою. Замість цього нейрони в сусідніх шарах зв'язані між собою.

3) Потік сигналу: Зовнішній векторний сигнал, позначений як x , подається тільки на вхід нейронів першого шару. Виходи нейронів останнього шару формують вектор y , що представляє вихід мережі.

4) Архітектура MLP дозволяє вивчати та обробляти складні закономірності та взаємозв'язки у вхідних даних. Регулюючи ваги та зміщення зв'язків між нейронами, MLP може навчитися апроксимувати нелінійні функції та робити прогнози на основі заданих вхідних даних.

Розглянемо Мережу типу ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System — адаптивна мережева система нечіткого висновку) є специфічною реалізацією моделі нечіткого висновку Сугено. Вона поєднує в собі переваги нечіткої логіки та нейронних мереж для створення потужної системи для моделювання та прийняття рішень. Мережі ANFIS широко використовуються для побудови моделей у різних сферах, зокрема для моделювання теплоспоживання.

Мережа ANFIS складається з кількох взаємопов'язаних компонентів, як показано на блок-схемі рис. 3.14. Вихід мережі для функції двох змінних розраховується як:

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \overline{w}_1 f_1 + \overline{w}_2 f_2, \quad (3.1)$$

де f_1 та f_2 — функції четвертого шару нечіткої мережі:

$$\begin{aligned} f_1 &= a_1 x + b_1 y + r_1 \\ f_2 &= a_2 x + b_2 y + r_2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

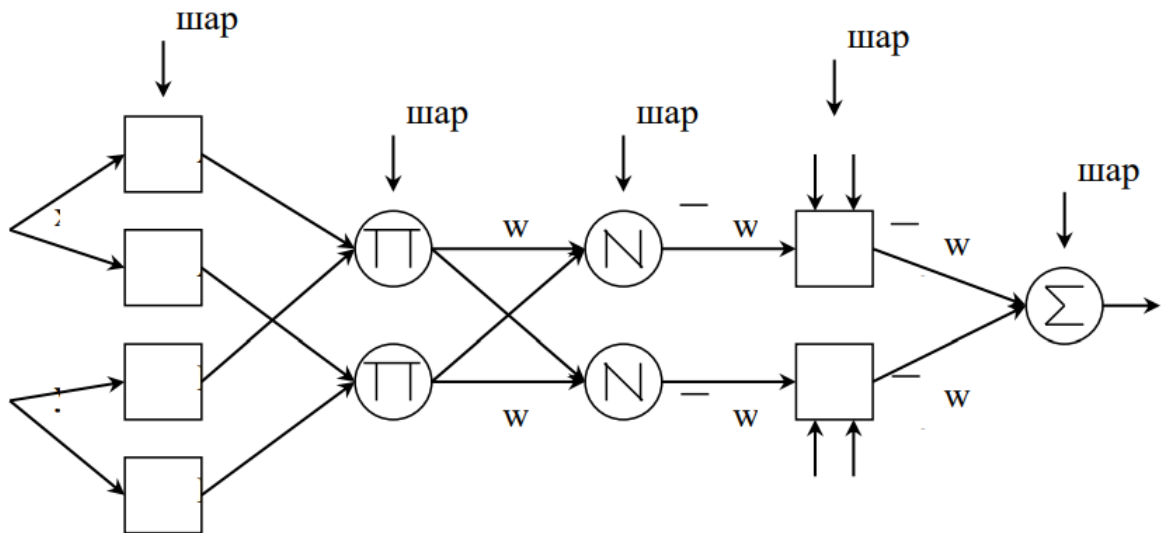


Рисунок.3.14. Базова структура нейронної мережі ANFIS

Нейронна мережа (рис.3.14) використовує ось таку базу:

якщо $x = A_1$ та $y = B_1$ то $f_1 = a_1x + b_1y + r_1$,

якщо $x = A_2$ та $y = B_2$ то $f_2 = a_2x + b_2y + r_2$,

де A_i та B_i є обрані лінгвістичні змінні.

Шари цієї нечіткої нейронної мережі виконують наступні завдання:

Компоненти нечіткої нейронної мережі виконують наступні завдання:

1) Рівень входу: Цей шар приймає входні параметри, які зазвичай представлені лінгвістичними поняттями або розмитими множинами. Кожна входна змінна пов'язана з функцією приналежності, яка кількісно визначає ступінь її належності до різноманітних розмитих множин:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]}, \quad (3.3)$$

Або:

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]. \quad (3.4)$$

Ці вхідні дані проходять подальшу обробку на прихованих шарах мережі, де здійснюється моделювання складних нелінійних залежностей. Зрештою, на вихідному рівні формуються підсумкові чіткі значення або рішення, спираючись на результати нечіткого виведення.

Такий підхід дозволяє ефективно обробляти неповну, нечітку або суб'єктивну інформацію, характерну для багатьох реальних задач. Нечіткі нейронні мережі знаходять широке застосування в сферах прийняття рішень, управління, діагностики, прогнозування та інших додатках, де важливу роль відіграють невизначеність та людський досвід.

3) Рівень нечіткості: Цей етап обчислює рівень належності вхідних змінних до нечітких множин, визначених на попередньому рівні. Він використовує функції належності для перетворення чітких вхідних значень на нечіткі. Таким чином, нейрон П виконує множення вхідних сигналів, моделюючи логічну операцію AND, і передає результат на вихід:

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1, 2. \quad (3.5)$$

Фактично, кожен нейрон в цій архітектурі втілює активуючу силу певного правила. (Більше того, тут можуть бути використані будь-які оператори Т-норми, що узагальнюють операцію логічного "І").

4) Блок правил: Цей рівень оцінює нечіткі правила типу "ЯКЩО-ТО". Кожне правило складається з передумови та висновку. Умови в передумові описують обставини на основі нечітких вхідних змінних, а висновок визначає вихідну змінну, виходячи з цих вхідних умов:

$$\overline{w_i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (3.6)$$

Таким чином, ця мережева структура дозволяє імплементувати лінгвістичні правила прийняття рішень, спираючись на нечіткі вхідні дані.

Кожен нейрон відповідає певному правилу, а сукупність таких правил формує інтелектуальну систему, здатну міркувати та приймати рішення в умовах невизначеності.

Застосування нечітких нейронних мереж є особливо ефективним у тих сферах, де необхідно врахувати людський досвід, судження та інтуїцію, які важко формалізувати в рамках жорстких математичних моделей. Такі гібридні системи поєднують переваги нечіткої логіки та можливості нейронних мереж, створюючи потужні інструменти для вирішення складних прикладних завдань.

5) Шар виведення: Цей ключовий рівень відповідає за обчислення ступеня активації кожного правила. Він поєднує значення функцій приналежності, отримані на етапі фазифікації, з попередньо визначеними правилами, щоб кількісно оцінити загальний внесок кожного правила у формування підсумкової вихідної змінної:

$$y_i(x) = p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j \quad (3.7)$$

Таким чином, шар виведення агрегує результати застосування множини нечітких правил IF-THEN, зважуючи їх відповідно до ступенів приналежності вхідних даних. Це дозволяє згенерувати підсумкову нечітку вихідну змінну, яка враховує комплексну взаємодію всіх правил.

Ключовою особливістю цього рівня є його здатність обробляти потенційні конфлікти або неузгодженості між різними правилами. Завдяки механізму нечіткого виведення досягається узгоджене об'єднання їхніх впливів, забезпечуючи плавний і адекватний вихід системи навіть в умовах складної, нечіткої вхідної інформації.

6) Рівень агрегування: Цей завершальний компонент поєднує та узагальнює результати, отримані на рівні виведення, щоб сформувати єдине чітке вихідне значення для кожного правила:

$$O_i^s = \text{overall output} = \sum_i \overline{w_i} f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}. \quad (3.8)$$

Мережа Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System використовує адаптивні алгоритми навчання для оптимізації параметрів функцій приналежності та бази нечітких правил. Завдяки цьому мережа має можливість самонавчатися на основі наявних даних і коригувати свою внутрішню структуру та налаштування з метою підвищення точності вихідних прогнозів.

Поєднуючи переваги нечіткої логіки та нейронних мереж, архітектура ANFIS забезпечує гнучку та адаптивну основу для моделювання складних систем, таких як, наприклад, задачі прогнозування теплового споживання. Ця гібридна модель дозволяє інкорпорувати експертні знання у вигляді правил "ЯКЩО-ТО" і одночасно навчатися на емпіричних даних, що підвищує точність отримуваних рішень.

За відомих значень функцій приналежності, перетворення, реалізоване мережею ANFIS, можна представити у вигляді чіткої математичної залежності на основі агрегованих результатів нечіткого виведення:

$$y(x) = \sum_{i=1}^M u'_i \left(p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_{ij} \right)$$

$$u'_i = \left[\prod_{j=1}^N \mu_A^{(i)}(x_j) \right] / \sum_{k=1}^N \left[\prod_{j=1}^N \mu_A^{(k)}(x_j) \right] = \text{const} \quad (3.9)$$

Це забезпечує прозорість і інтерпретованість моделі, роблячи її придатною для широкого кола практичних застосувань

Для навчальної вибірки та варіативності вихідного сигналу мережі очікуваним значенням отримаємо систему з лінійних рівнянь вигляду:

$$W \cdot P = d ,$$

де:

$$W = \begin{pmatrix} u'_{11} & u'_{11}x_1^{(1)} & \dots & u'_{11}x_N^{(1)} & \dots & u'_{1M} & u'_{1M}x_1^{(1)} & \dots & u'_{1M}x_N^{(1)} \\ u'_{21} & u'_{21}x_1^{(2)} & \dots & u'_{21}x_N^{(2)} & \dots & u'_{2M} & u'_{2M}x_1^{(2)} & \dots & u'_{2M}x_N^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u'_{p1} & u'_{p1}x_1^{(p)} & \dots & u'_{p1}x_N^{(p)} & \dots & u'_{pM} & u'_{pM}x_1^{(p)} & \dots & u'_{pM}x_N^{(p)} \end{pmatrix},$$

$$P = \|p_{10} \dots p_{1N} \dots p_{M0} \dots p_{MN}\|^T, \quad (3.9)$$

u'_{ki} – ваговий коефіцієнт i -го правила у разі k -го вхідного вектора $x^{(k)}$.

Визначення розмірності матриці W двідбувається шляхом визначення: $p \times (N + 1)M$. Треба додатково зазначити, що кількість рядків має бути значно більше кількості стовпців. Розв'язок системи рівнянь (3.9) доволі легко отримати за один крок з використанням псевдоінверсії матриці W :

$$P = W + d, \quad (3.10)$$

Псевдоінверсія матриці – це метод знаходження найближчого до матриці її псевдооберненого значення. Ця операція полягає в розв'язанні задачі мінімізації:

$$\min \|W + W - E\|, \quad (3.11)$$

де E – це і є одинична матриця.

У випадку використання методу найшвидшого спуску, то формули адаптації приймають вигляд:

$$\begin{aligned} c_j^{(i)}(n+1) &= c_j^{(i)}(n) - \alpha_c \partial E(n) / \partial c_j^{(i)} \\ \sigma_j^{(i)}(n+1) &= \sigma_j^{(i)}(n) - \alpha_\sigma \partial E(n) / \partial \sigma_j^{(i)}, \\ b_j^{(i)}(n+1) &= b_j^{(i)}(n) - \alpha_b \partial E(n) / \partial b_j^{(i)} \end{aligned} \quad (3.12)$$

де n – порядковий номер поточної ітерації.

Після початкового налаштування нелінійних параметрів, таких як функції належності, запускається двоетапний процес адаптації:

1. Перший етап: Адаптація лінійних параметрів. На цьому кроці алгоритм оптимізує лінійні параметри, наприклад, ваги правил, використовуючи метод найменших квадратів.

2. Другий етап: Адаптація нелінійних параметрів. Тут алгоритм налаштовує нелінійні параметри, такі як центри та ширини функцій належності, використовуючи метод зворотного поширення помилки.

Цей двоетапний цикл адаптації лінійних та нелінійних параметрів повторюється ітеративно, доки не буде досягнуто стабілізації всіх параметрів мережі.

Така послідовна оптимізація лінійних та нелінійних параметрів дозволяє ефективно налаштовувати складну структуру ANFIS, забезпечуючи збіжність до оптимального рішення. Завдяки цьому гібридному підходу досягається висока адаптивність та точність моделювання нелінійних систем.

Висновки до розділу 3

1. Застосування нечітких нейронних мереж дозволяє оперативно й досить точно моделювати режими споживання ПЕР за змін зовнішніх та внутрішніх факторів. Для розробки моделі теплоспоживання у житлових і громадських будівлях Києва оптимальним періодом є доба. У разі браку технічних засобів для моніторингу може бути використаний місячний період, що відповідає строку розрахунків за енергоносії.

2. Серед найважливіших факторів, які традиційно враховують і які впливають на споживання теплової енергії житловими та громадськими будівлями, виділяють температуру зовнішнього повітря, теплоносія, а також площу (об'єм) об'єкта та обсяг спожитої води.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ПЕР БУДІВЛЯМИ ЖИТЛОВОГО ТА ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розроблена інтелектуальна система на базі ANFIS була випробувана на вибірці з 60 навчальних закладів у двох районах м. Києва. Результатом стало створення комплексу моделей, що описують споживання теплової енергії в цих будівлях:

1. Модель помісячного теплового навантаження протягом опалювального сезону.
2. Модель добового профілю споживання тепла.
3. Модель погодинної динаміки теплового попиту.

Загальновизнано, що ключовим чинником, який визначає величину споживання тепла будівлями, є температура навколишнього повітря $t_{\text{зовн}}$ або похідна від неї характеристика - кількість градусо-днів (ГД). Цей показник розраховується як сума різниць між базовою внутрішньою температурою $t_{\text{вн}}$ та фактичною зовнішньою температурою $t_{\text{зовн}}$ для всіх днів з $t_{\text{зовн}}$ нижче за $t_{\text{вн}}$:

$$ГД = \sum_{i=1}^n (t_z - t_g), \quad (4.1)$$

У разі, якщо: $t_{\text{зовн}} < t_{\text{вн}}$

Отже, виконане моделювання значення споживання ТЕ для підгрупи об'єктів, обраних за алгоритмом, принципи якого детально наведені у Розд. 2. Для вхідних параметрів моделі були використані такі змінні:

- Значення температури зовнішнього повітря
- Опалювана площа приміщень
- Номер місяця

Порівняльний аналіз фактичного та змодельованого споживання виявив значні відхилення, в середньому на 24%.

Дослідження причин цих розбіжностей дозволило виявити наступні чинники:

1. Система централізованого тепlopостачання з якісним регулюванням передбачає подачу теплоносія до систем опалення відповідно до температурного графіка залежно від зовнішньої температури. Проте, через різні обставини, температура теплоносія в подаючому трубопроводі часто є нижчою за розрахункову. Це призводить до недоотримання теплової енергії споживачами, оскільки їхнє обладнання не може повноцінно функціонувати при знижених параметрах теплоносія.

2. Теплові пункти споживачів обладнані автоматичними системами регулювання теплового навантаження залежно від зовнішньої температури, дня тижня та часу доби. Некваліфіковане втручання в роботу такої автоматики може спричиняти перевитрати теплової енергії.

Для зменшення впливу першого чинника, до моделі було додано ще одну змінну - температуру теплоносія в подаючому трубопроводі.

Другий чинник має стохастичний характер, а відхилення фактичного споживання від модельних даних дозволяє виявляти відхилення від оптимального режиму функціонування системи автоматичного регулювання. Тобто, наведену модель доцільно використовувати для діагностування роботи таких систем.

На рис. 4.1 показано графіки фактичного споживання, змодельованого споживання з урахуванням температури теплоносія, а також без цього параметра.

Як видно на рис. 4.1, включення до моделі додаткового параметру - температури теплоносія в подавальному трубопроводі - дозволило суттєво зменшити розбіжність між фактичним та змодельованим споживанням тепла. Середнє відхилення вдалося знизити до 17%. Виключаючи з аналізу періоди, коли спостерігалися порушення в роботі обладнання, це відхилення скоротилося до прийнятного рівня 11-13%.

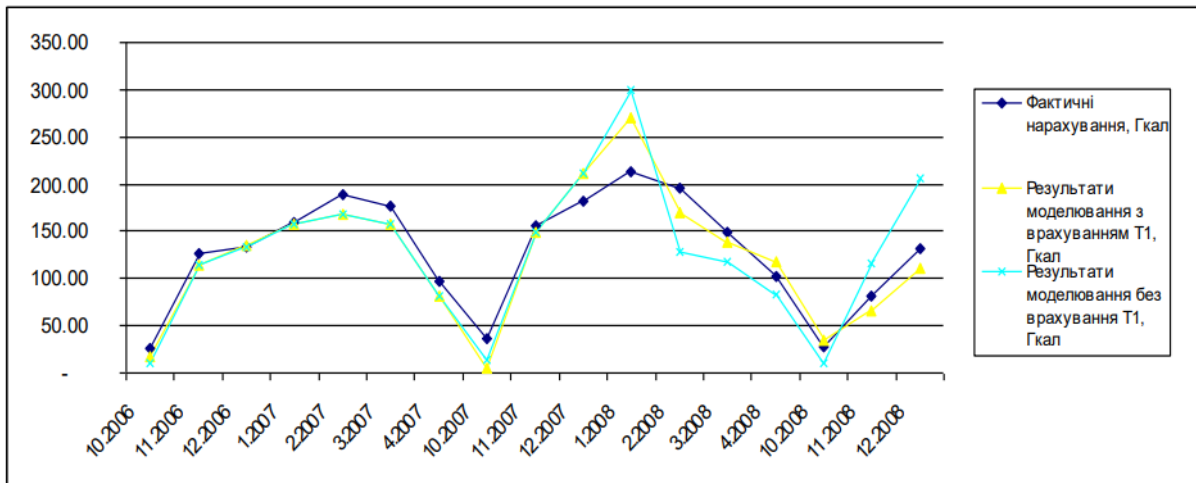


Рисунок 4.1. Результати моделювання та їх порівняння з фактичним споживанням об'єктів дослідження

Відповідно до рис. 4.2, введення температури теплоносія як додаткової змінної дозволило значно покращити відповідність змодельованого профілю споживання фактичним даним по житлових будівлях Києва за 2016-2018 рр.

Зростаюча поширеність систем автоматизованого обліку енергоресурсів робить все актуальнішим щоденний моніторинг споживання, зокрема теплової енергії. У зв'язку з цим була розглянута можливість застосування нечіткої нейронної мережі для моделювання добового профілю теплоспоживання.

Враховуючи наявність на об'єктах дослідження модульних індивідуальних теплових пунктів, які дозволяють регулювати подачу теплоносія залежно від значення зовнішньої температури та дня тижня, у тому числі й результати місячного моделювання щодо впливу температури теплоносія, було визначено такий набір входних змінних для добової моделі: значення температури зовнішнього повітря, температури теплоносія, день тижня.

Результати моделювання добового споживання тепла для однієї із шкіл (м. Київ) проілюстровано на рис. 4.2-4.3.

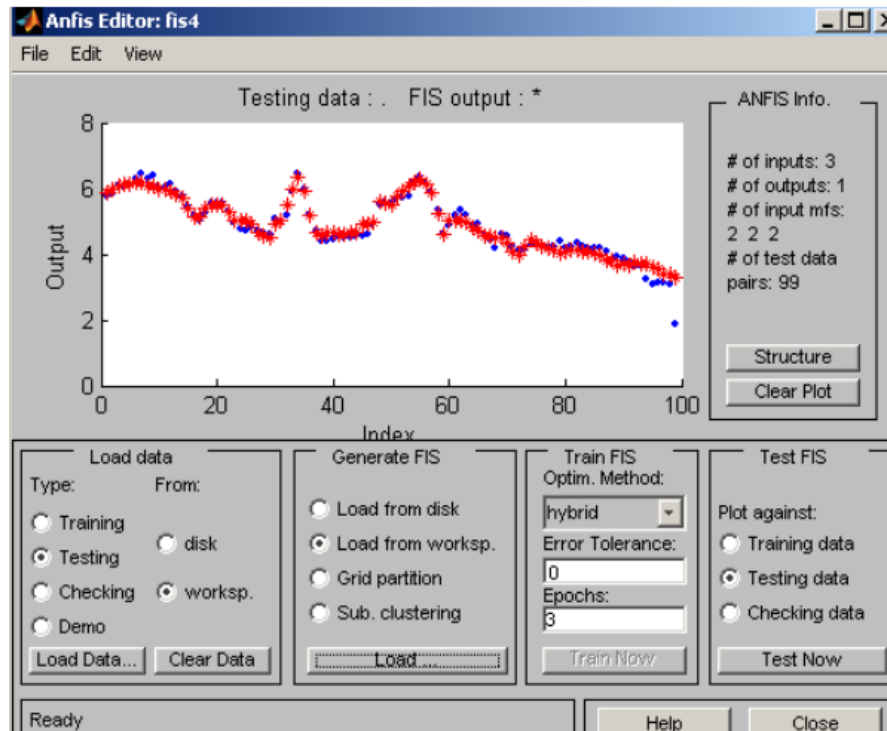


Рисунок.4.2. Завантажені фактичні дані (тестова вибірка)

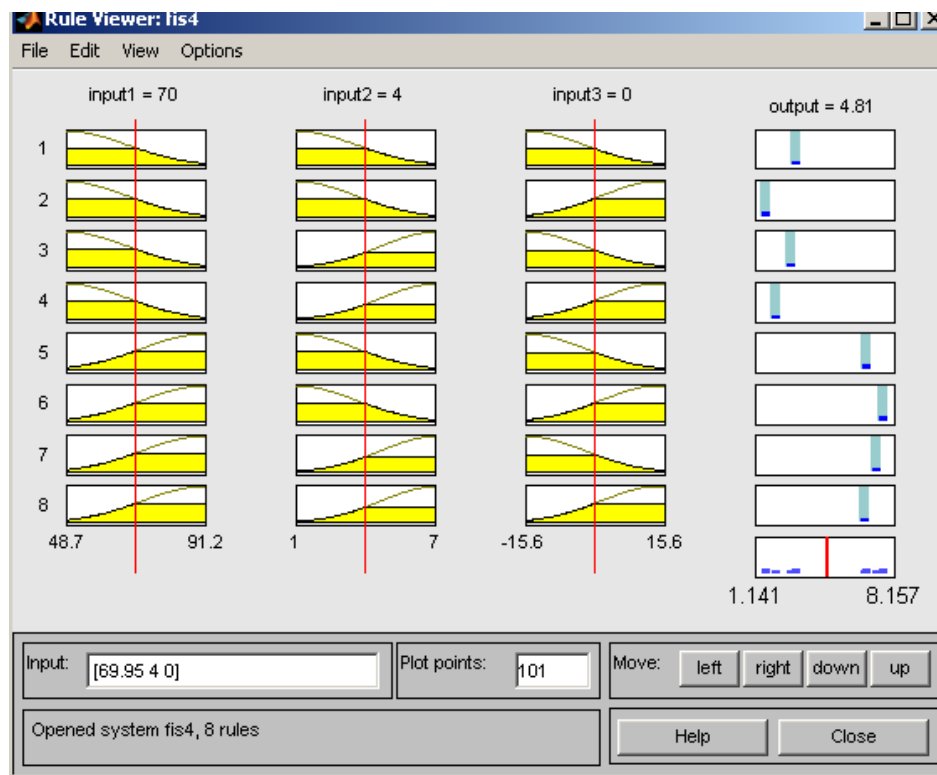


Рисунок 4.3. Результати моделювання (задання термів вхідних моделей споживання ТЕ)

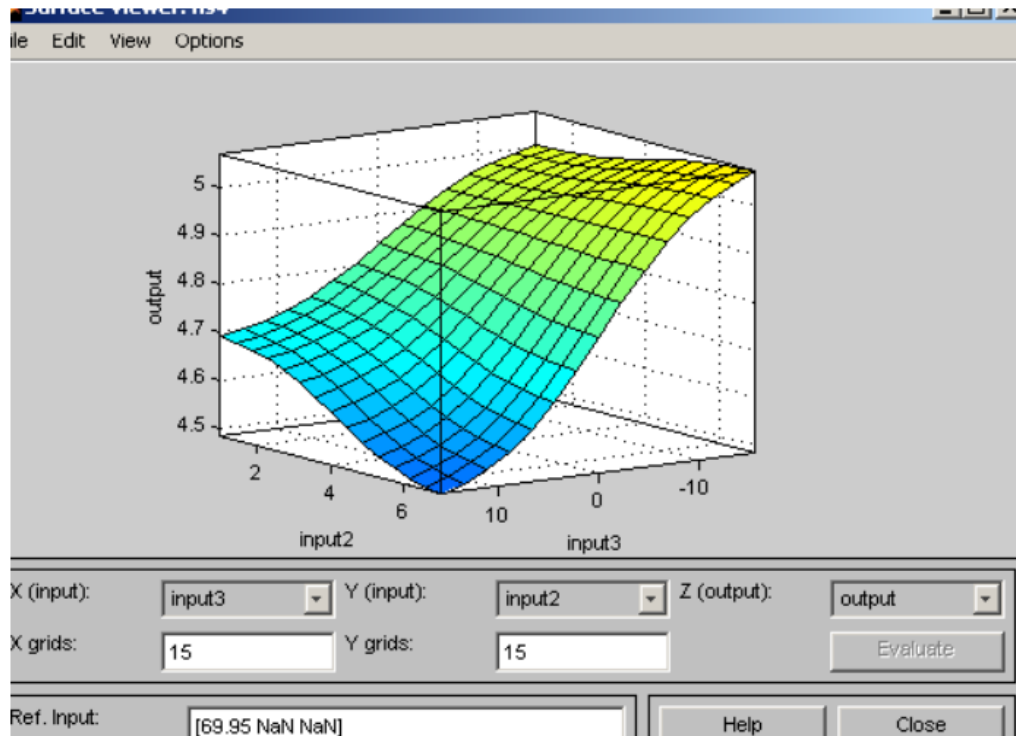


Рисунок 4.4. Тривимірна поверхня залежності рівня споживання ТЕ (output), днем тижня (input2) та значенням температури зовнішнього повітря (input3)

Аналіз тривимірної поверхні залежностей На графіку представлено тривимірну поверхню, що відображає взаємозв'язок між трьома ключовими параметрами:

- Вихідна змінна: споживання теплової енергії (output)
- Перша вхідна змінна: день тижня (input2)
- Друга вхідна змінна: температура зовнішнього повітря (input3)

Ця візуалізація дозволяє наочно побачити, як змінюється теплоспоживання залежно від дня тижня та температури зовнішнього середовища.

Оптимізація параметрів моделі: Було проведено серію експериментів з різними конфігураціями нечіткої нейронної мережі, результати яких узагальнено в табл. 4.1. Досліджувались такі параметри:

1. Кількість термів (лінгвістичних змінних) для кожної вхідної змінної.

2. Різні типи функцій належності.

Варіювання цих параметрів дозволило визначити оптимальну конфігурацію мережі, яка забезпечує найкращу точність прогнозування при прийнятній обчислювальній складності.

Результати моделювання (табл.4.1) показують, що вибір кількості термів та типу функцій належності суттєво впливає на точність прогнозування теплоспоживання. Оптимальна конфігурація дозволяє досягти балансу між точністю моделі та її обчислювальною ефективністю.

Встановлення автоматизованих індивідуальних теплових пунктів підвищує ефективність використання теплової енергії завдяки таким факторам:

- забезпечення необхідного рівня споживання теплової енергії Q_i для опалення та гарячого водопостачання відповідно до змін зовнішніх і внутрішніх умов C_i . Це досягається автоматичним регулюванням теплового потоку на основі температури зовнішнього повітря (e і t) і обсягу спожитої гарячої води G_{hw} .
- зниження температури всередині приміщень протягом періоду (T_e), коли в них відсутні відвідувачі та персонал.

Таблиця 4.1. Порівняння результатів моделювання значення споживання ТЕ у разі використання різних функцій належності

№ досліду	Кількість термін	Вид функції	Значення похибки	
			Начальна вибірка	Тестова вибірка
1	2	Гауса	0.38	0.24
2	3	Гауса	0.35	0.28
3	2	Трикутна	0.37	0.24
4	3	Трикутна	0.35	0.32

Таким чином, регулювання теплопостачання через впровадження ІТП з якісного (де теплоспоживання залежить тільки від температури теплоносія, що подається з джерела) стає якісно-кількісним (споживання може бути скориговане безпосередньо на джерелі ТЕ, так і на власне об'єкті шляхом зміни кількості теплоносія, що подається до внутрішньої системи постачання ТЕ). З огляду на особливий режим роботи більшості будівель житлового і громадського призначення (дитячі садки, школи, адміністративні установи), цей тип будівель має значний потенціал економії ТЕ шляхом зниження температури в приміщеннях int і t у неробочі години, що призводить до зменшення теплоспоживання.

При налаштуванні автоматичного регулятора ІТП на зниження споживання ТЕ для потреб опалення та ГВП в неробочі години виникає потреба в розробці механізму контролю за ефективністю та безпекою роботи обладнання теплового пункту. Подібний механізм допоможе оперативно виявляти й усувати несправності в роботі обладнання, що зменшить перевитрати теплової енергії.

У більшості випадків облік теплової енергії здійснюється за допомогою теплових лічильників, які, крім фіксування теплоспоживання, також реєструють й інші параметри, зокрема: значення температур та витрат теплоносія у зворотному та подавальному трубопроводах. Необхідно наголосити й на погодинній автоматизованій реєстрації, що дозволяє контролювати погодинні графіки споживання ТЕ.

Як видно з графіків (рис. 4.5-4.7), рівень теплоспоживання залежить як від налаштувань автоматичного регулятора, так і від точного дотримання температурного графіка тепломереж теплопостачальною організацією. Зокрема, щоб уникнути суттєвого охолодження будівлі після зниження температури навколишнього середовища, ступінь зменшення теплоспоживання в нічний час істотно знизилася.



Рисунок 4.5. Графік споживання ТЕ з автоматичним налаштуванням зниження температури у нічний період доби



Рисунок 4.6. Графік споживання ТЕ без автоматичного налаштування зниження температури у нічний період доби

Розглянемо основні фактори, що впливають на рівень споживання теплової енергії в будівлі, обладнаній автоматичним регулятором теплового потоку:

- **Час доби:** суттєво впливає як на обсяг споживаної теплової енергії для гарячого водопостачання, так і на опалення, згідно з налаштуваннями контролера та реальною потребою у водопостачанні.
- **Температура зовнішнього повітря:** впливає на рівень тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі та, відповідно, на загальний рівень теплоспоживання.
- **Температура у подавальному трубопроводі:** обмежує максимальну кількість теплової енергії, яку будівля може спожити.
- **Додаткові чинники** (вітер, опади, присутність людей): як правило, вони мають менший вплив на загальний обсяг теплоспоживання.



Рисунок 4.7. Погодинний графік споживання ТЕ для випадку низької температури навколишнього середовища та з автоматичним налаштуванням зниження температури у нічний період доби

Зважаючи на особливості систем централізованого теплопостачання, які переважають в Україні, а саме на практику регулювання теплопостачання на котельні або теплоелектроцентралі, аналіз погодинних графіків теплопостачання для окремих будівель раніше майже не проводився. Однак ситуація змінилася завдяки широкому впровадженню автоматизованих

індивідуальних теплових пунктів, де погодинний графік теплопостачання дозволяє також оцінити ефективність роботи обладнання.

Тому одним із ключових завдань управління теплопостачанням об'єкта є розробка та реалізація ефективних методів аналізу погодинного графіка теплоспоживання. З цією метою розглянемо погодинний графік теплоспоживання і, аналогічно до графіка електричного навантаження, визначимо коефіцієнти, що могли б характеризувати його динаміку. Споживання теплової енергії протягом доби з урахуванням стандартних налаштувань контролера опалення та гарячого водопостачання можна виразити наступним рівнянням:

$$Q_i = f(t_i^e, T_i, D, G_i^{hv}, t_i^s), \quad (4.2)$$

де t_i^e , G_i^{hv} , T_i , t_i^s – значення середньої температури зовнішнього повітря, обсяги споживання гарячої води, час доби, а також температура теплоносія в подаючому трубопроводі тепломережі, що змінюються щогодини протягом доби, впливають на обсяги теплоспоживання. Також істотну роль відіграє день тижня, D , оскільки від нього залежить режим користування теплом.

Споживання гарячої води і коливання температури зовнішнього повітря протягом доби спричиняють зміни в обсязі теплоспоживання, що можна чітко побачити на відповідних графіках.

Для характеристики нерівномірності графіка електричного навантаження використовується коефіцієнт заповнення. Для погодинного графіка теплоспоживання також можна визначити коефіцієнт заповнення, який покаже ефективність використання теплової енергії впродовж доби та її розподіл за годинами, враховуючи специфіку змін умов споживання.

Нерівномірність електричного навантаження характеризується коефіцієнтом заповнення, аналог якого ми запровадимо для погодинного графіка теплоспоживання:

$$k_{zn} = \frac{Q_{сер}}{Q_{max}}, \quad (4.3)$$

де $Q_{сер}$ - середнє значення споживання ТЕ, Q_{max} – максимальне значення споживання ТЕ впродовж доби.

Визначаючи максимальне теплоспоживання за добу, ми зможемо оцінити, наскільки рівномірно використовується теплоенергія.

Очевидно, що якісне обслуговування індивідуального теплового пункту - належне налаштування, безперебійна робота обладнання, максимальне використання енергоефективних можливостей — призводить до нерівномірного графіка теплоспоживання. В такому випадку коефіцієнт заповнення буде значно меншим за 1.

У формулі (4.2) враховано важливий параметр — температура теплоносія в подавальному трубопроводі, що істотно впливає на обсяг теплоспоживання. При значному зниженні цього параметра можуть виникати відхилення в роботі теплових пунктів, що часто призводить до недостатнього обігріву приміщень. Зважаючи на це, аналіз коефіцієнта заповнення доцільний лише при відповідності графіку теплопостачання проектним значенням.

Також варто зазначити, що коефіцієнт заповнення добового графіка буде відрізнятися для робочого і вихідного дня.

Для ефективного аналізу теплоспоживання важливо враховувати фактори, що суттєво впливають на обсяги спожитої енергії. Зазвичай у практиці аналізу енергоспоживання передбачається лінійна залежність між зовнішньою температурою та теплоспоживанням, на основі чого створюється однофакторна регресійна модель. Порівнюючи фактичне теплоспоживання з цією моделлю, можна оцінити ефективність використання тепла.

Однак, якщо добовий графік теплоспоживання досить точно відображає фактичний стан, то при аналізі погодинних графіків відхилення від лінійної залежності значно збільшується, що видно на Рисунок.3.22.

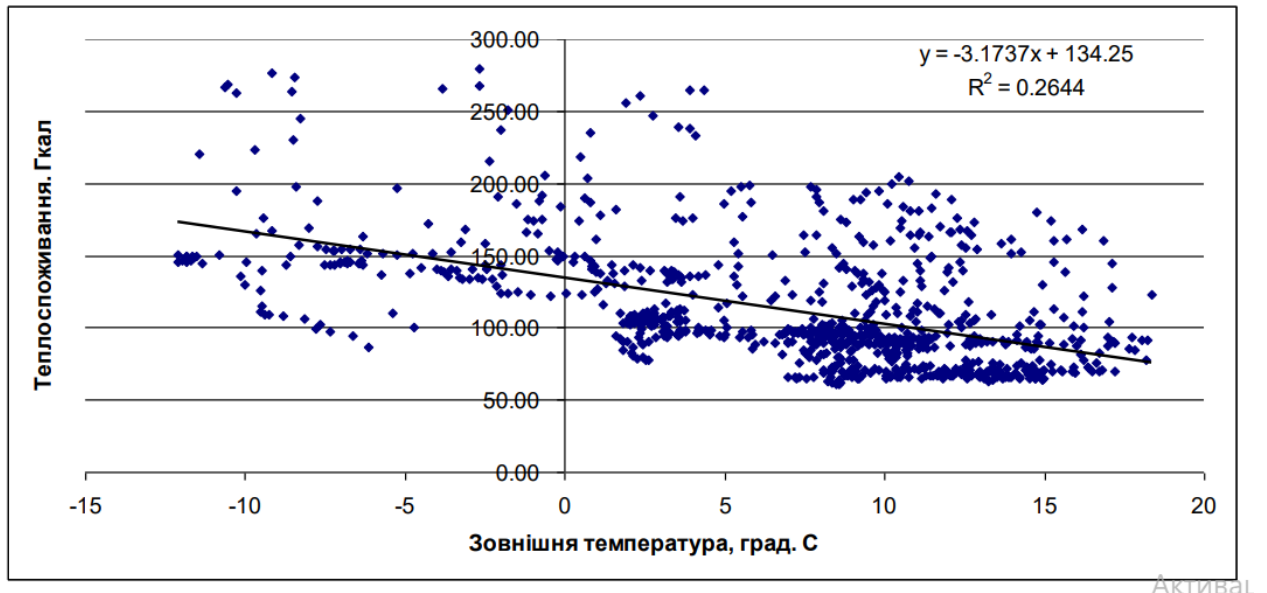


Рисунок 4.8. Графіки залежності значення температури зовнішнього повітря та рівня споживання ТЕ

Проведені дослідження засвідчили, що найточніший прогноз досягається при врахуванні таких вхідних змінних:

- атмосферна температура;
- показники теплоносія у магістральному трубопроводі;
- календарний день;
- часовий період;
- обсяг спожитого тепла за попередні 60 хвилин.

Мінімальні відхилення результатів як для тренувального, так і для тестового набору даних зафіксовано при імплементації трикутної функції належності, що відображено в табл. 4.2.

Усереднена розбіжність між реальним та прогнозованим споживанням сягає 10%. Це зумовлено, зокрема, відсутністю окремого обліку витрат на

підігрів води для господарських потреб, хоча ці енергетичні затрати включені до сумарного енергоспоживання об'єкта (візуалізовано на рис.3.22-3.25).

Таблиця 4.2. Зіставлення похибок під час оброблення навчальних та верифікаційних масивів даних із застосуванням різних функцій належності нейромережевої системи

№ досліду	Кількість термін	Вид функції	Значення похибки	
			Начальна вибірка	Тестова вибірка
1	2	Гауса	17.887	13.122
2	2	Дзвоноподібна	18.729	12.991
3	2	Трапецієвидна	20.389	12.765
4	2	Трикутна	17.427	12.978

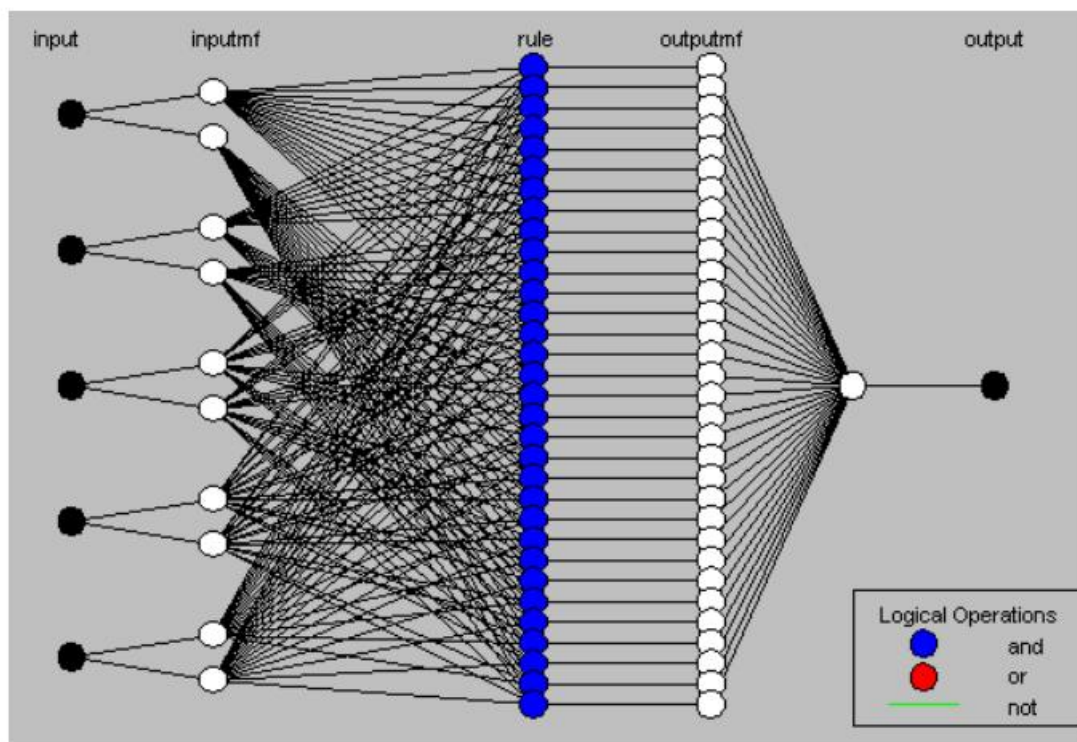


Рисунок 4.9. Архітектура нейронної мережі

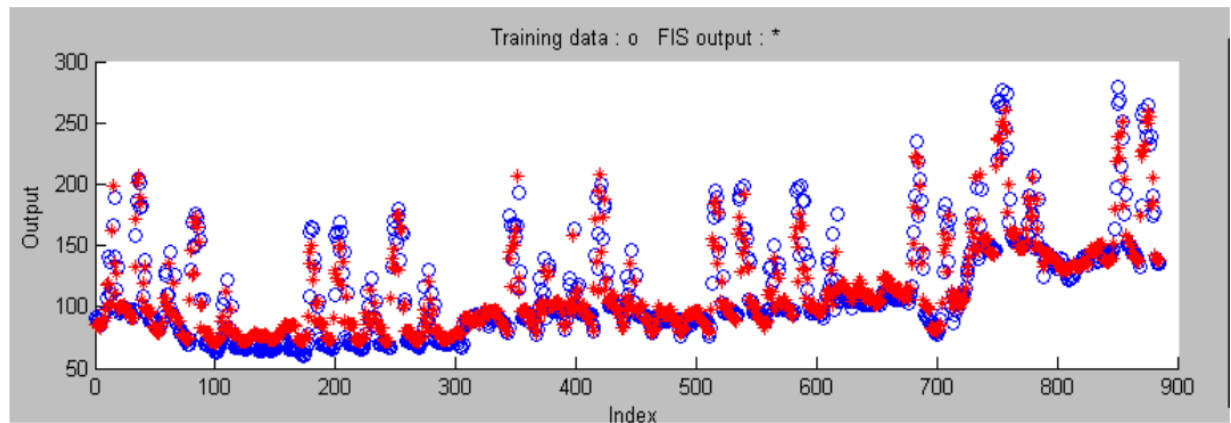


Рисунок 4.10. Навчальна вибірка

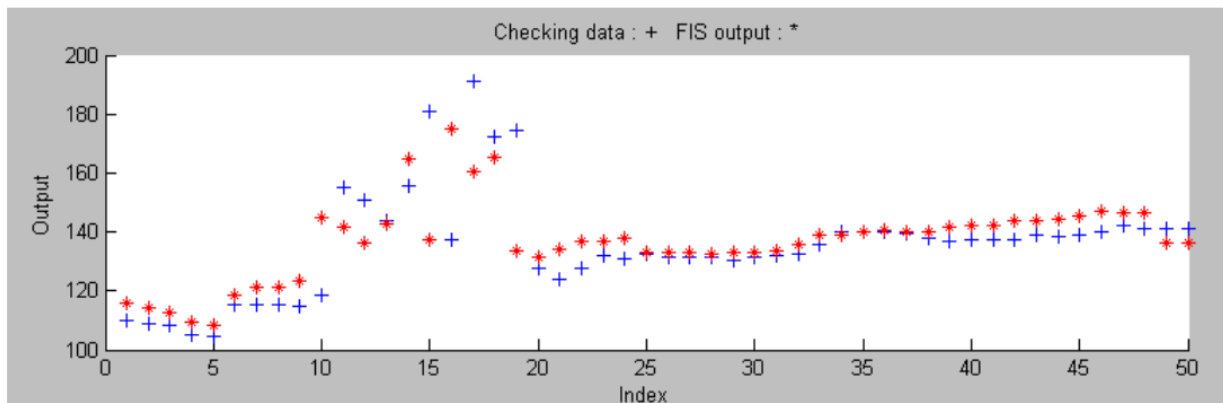


Рисунок 4.11. Контрольна вибірка

Отже, численні чинники, що впливають на погодинний графік споживання ТЕ у будівлях житлового та громадського призначення з індивідуальними автоматизованими тепловими пунктами, ускладнюють використання однофакторних моделей для аналізу ефективності енергоспоживання. Застосування нечітких нейронних мереж для моделювання обсягів споживання тепла дозволяє з достатньою точністю виявляти відхилення від стандартних показників. Для налаштування мережі використовуються дані щодо теплоспоживання за попередні періоди.

До найважливіших чинників, які враховуються при побудові моделі, відносяться: зовнішня температура, температура теплоносія, день тижня, година доби, а також обсяг спожитої теплової енергії за останню годину. У разі виявлення значного відхилення проводиться додаткове обстеження

об'єкта для виявлення причин аномалії. За підсумками обстеження визначаються подальші заходи:

а) Якщо відхилення спричинені несправностями обладнання, до системи управління надсилається запит на усунення неполадок (ремонт чи переналаштування). Після завершення наступного періоду моніторингу перевіряється досягнення запланованого режиму.

б) Якщо причина відхилення пов'язана з організаційними факторами, здійснюється аналіз обставин, встановлюються відповідальні особи, та проводиться роз'яснювальна робота. За потреби застосовуються дисциплінарні заходи, такі як догани, зменшення премій, або інші санкції.

в) Якщо відхилення виникли через реконструкцію будівлі чи зміну навантажень, модель споживання енергоносіїв коригується з урахуванням нових параметрів.

Висновки до розділу 4

1. Застосування комбінованого методу навчання нечіткої нейронної мережі, що включає метод найменших квадратів (для вихідного шару) та зворотнє поширення похибки (для налаштування параметрів активаційних функцій нейронів), забезпечує найшвидшу та найбільш точну роботу. Доцільно створювати модель споживання ПЕР для груп однотипних об'єктів, згрупованих за допомогою нейронних мереж Кохонена, що збільшує кількість прикладів для навчання, заснованих на фактичних даних про теплоспоживання та ключові фактори.

2. Параметри нечіткої нейронної мережі (значення активаційних функцій і вагові коефіцієнти) можуть слугувати характеристиками окремих об'єктів спостереження, а відхилення між фактичним та змодельованим споживанням тепла з великою ймовірністю вказує на можливі збої в роботі обладнання.

ВИСНОВКИ

1. Енергетичний сектор є важливою складовою економіки України, що забезпечує енергетичну безпеку держави. З моменту здобуття незалежності країна пройшла низку реформ, серед яких диверсифікація джерел енергії та модернізація інфраструктури. Основними джерелами енергії залишаються вугілля, ядерна енергетика та газ, хоча частка відновлюваних джерел поступово зростає. Однак, енергосектор стикається з численними викликами, які потребують вирішення. Особливу роль у структурі енергоспоживання відіграє теплопостачання, яке залишається ресурсоємним і переважно залежить від природного газу. Близько 80% тепла виробляється з газу, що створює вразливість в умовах війни та нестабільності на ринку. Промисловий, житловий та транспортний сектори споживають понад 80% енергії, і оптимізація їхнього споживання є критично важливою для енергоефективності. Війна значно вплинула на енергетику України: близько 50% потужностей були пошкоджені або знищені, а споживання енергії скоротилося на 35% порівняно з 2021 роком. Попри це, держава активно впроваджує системи моніторингу енергоспоживання та розвиває програми енергоефективності за підтримки міжнародних партнерів, що допомагає зменшувати втрати та підвищувати прозорість управління ресурсами.

2. Для забезпечення енергетичної незалежності та сталого розвитку Україна адаптує свою нормативну базу до європейських стандартів, зокрема через законодавчі акти, що сприяють енергоефективності та енергозбереженню. Програми термомодернізації будівель і впровадження передових технологій моніторингу споживання енергії є ключовими кроками до зниження залежності від імпортованих енергоносіїв. Ефективний моніторинг споживання енергії в будівлях є необхідною умовою для оптимізації енергетичних витрат, зниження екологічного навантаження та дотримання вимог міжнародних стандартів у сфері енергоефективності. Завдяки використанню сучасних систем моніторингу можливий детальний аналіз і регулювання витрат енергії, що дає змогу зменшити енергетичні

втрата й досягти значного економічного ефекту. Це дозволяє не лише знижувати витрати на утримання будівель, а й сприяє покращенню екологічної ситуації через зниження викидів парникових газів.

3. Системи моніторингу споживання енергії мають бути адаптованими до специфіки різних типів будівель — житлових та громадських. У житлових будинках акцент робиться на забезпеченні можливостей для самостійного контролю енергоспоживання мешканцями, що дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення щодо ефективного використання ресурсів. У громадських будівлях, де енергоспоживання набагато інтенсивніше, необхідні централізовані системи, здатні обробляти великі обсяги даних і забезпечувати комплексний контроль за витратами енергії на різних рівнях. Такі системи сприяють економії ресурсів без втрати комфорту для користувачів і з урахуванням змін у використанні об'єкта залежно від часу дня та погодних умов.

4. Застосування нечітких нейронних мереж дозволяє оперативно й досить точно моделювати режими споживання ПЕР за змін зовнішніх та внутрішніх факторів. Для розробки моделі теплоспоживання у житлових і громадських будівлях Києва оптимальним періодом є доба. У разі браку технічних засобів для моніторингу може бути використаний місячний період, що відповідає строку розрахунків за енергоносією. Серед найважливіших факторів, які традиційно враховують і які впливають на споживання теплової енергії житловими та громадськими будівлями, виділяють температуру зовнішнього повітря, теплоносія, а також площу (об'єм) об'єкта та обсяг спожитої води.

5. Застосування комбінованого методу навчання нечіткої нейронної мережі, що включає метод найменших квадратів (для вихідного шару) та зворотнє поширення похибки (для налаштування параметрів активаційних функцій нейронів), забезпечує найшвидшу та найбільш точну роботу. Доцільно створювати модель споживання ПЕР для груп однотипних об'єктів, згрупованих за допомогою нейронних мереж Кохонена, що збільшує кількість

прикладів для навчання, заснованих на фактичних даних про теплоспоживання та ключові фактори. Параметри нечіткої нейронної мережі (значення активаційних функцій і вагові коефіцієнти) можуть слугувати характеристиками окремих об'єктів спостереження, а відхилення між фактичним та змодельованим споживанням тепла з великою ймовірністю вказує на можливі збої в роботі обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бублик, М. І. Енергетичний менеджмент: навч. посібник / М. І. Бублик, С. С. Бобух, І. В. Чижик. – Київ: Кондор, 2019. – 286 с.
2. Коваленко, І. М. Методи та засоби зниження енергоспоживання у будівлях: навч. посібник / І. М. Коваленко. – Дніпро: ДНУ, 2018. – 252 с.
3. Левчук, В. В. Технічні засоби енергетичного менеджменту: монографія / В. В. Левчук. – Харків: Харківський нац. ун-т, 2017. – 198 с.
4. Олійник, А. В. Моніторинг енергоефективності будівель / А. В. Олійник, О. П. Кривенко. – Київ: КНУБА, 2020. – 214 с.
5. Шумило, Н. Г. Технічні аспекти енергозбереження у будівлях / Н. Г. Шумило. – Київ: Вид. дім «Кондор», 2018. – 240 с.
6. European Commission. Energy Performance of Buildings Directive: Guidelines / European Commission. – Brussels: Publications Office of the European Union, 2021. – 150 p.
7. IEA. Energy Efficiency in Buildings: A Global Market Perspective / International Energy Agency. – Paris: IEA, 2022. – 175 p.
8. U. S. Department of Energy. Building Energy Data Book / Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. – Washington D.C.: U. S. Department of Energy, 2020. – 310 p.
9. Voss, K. Net Zero Energy Buildings: International Projects of Carbon Neutrality / K. Voss, E. Musall. – London: Routledge, 2018. – 340 p.
10. World Green Building Council. The Global Status Report 2021: Towards a Net-Zero Built Environment / World Green Building Council. – London: WorldGBC, 2021. – 200 p.
11. Perez-Lombard, L. A Review on Buildings' Energy Consumption Information / L. Perez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout // Energy and Buildings. – 2018. – Vol. 40, Issue 3. – P. 394-398.
12. Kats, G. The Green Building Revolution / G. Kats. – Washington, D.C.: Island Press, 2020. – 240 p.

13. Mills, E. Building Energy Audits: Best Practices and Applications / E. Mills // Energy Engineering Journal. – 2019. – Vol. 116, Issue 6. – P. 29-34.
14. Torcellini, P. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition / P. Torcellini, S. Pless, M. Deru // National Renewable Energy Laboratory. – Golden, CO: NREL, 2019. – 210 p.
15. Pavlou, M. Monitoring Energy Efficiency in Residential Buildings / M. Pavlou. – Oxford: Oxford University Press, 2018. – 260 p.
16. Granderson, J. Building Energy Information and Analytics / J. Granderson, M. Piette // Energy Efficiency Journal. – 2021. – Vol. 8, Issue 1. – P. 35-49.
17. Yang, X. Intelligent Building Energy Management Systems / X. Yang. – Singapore: Springer, 2020. – 295 p.
18. ASHRAE. Energy Efficiency Guide for Existing Commercial Buildings: The Business Case for Building Owners and Managers / ASHRAE. – Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019. – 230 p.

ДОДАТКИ

Додаток А. Охорона праці

А.1. Технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках. Оперативне обслуговування.

Забезпечення електробезпеки є надзвичайно важливим аспектом експлуатації електротехнічного обладнання. Комплекс технічних заходів спрямований на мінімізацію ризиків ураження електричним струмом та попередження аварійних ситуацій.

Основні принципи електробезпеки

Безпека робіт в електроустановках досягається впровадженням багаторівневої системи захисних заходів:

1. Електрозахисне заземлення - навмисне електричне з'єднання струмоведучих частин з землею, що забезпечує:

- Обмеження потенціалу корпусів обладнання
- Зниження напруги дотику
- Створення умов для спрацювання захисних пристроїв

2. Електричне огороження

Включає:

- Установку фізичних бар'єрів
- Монтаж застережливих знаків
- Обмеження доступу до струмоведучих частин

3. Електрична ізоляція

Передбачає використання:

- Діелектричних матеріалів
- Ізоляційних покриттів
- Спеціальних захисних засобів

Технічні заходи забезпечення безпеки

Комплекс організаційно-технічних рішень включає:

- Вимкнення електроустановки
- Перевірку відсутності напруги

- Встановлення заземлення
- Огородження робочого місця
- Вивішування попереджувальних плакатів

Класифікація захисних засобів

1. Електрозахисні засоби:

- Ізолювальні штанги
- Діелектричні рукавиці
- Індивідуальні екрануючі комплекти
- Діелектричні килимки
- Захисні огороження

2. Допоміжні засоби:

- Плакати та знаки безпеки
- Переносні заземлення
- Тимчасові огороження

Оперативне обслуговування електроустановок

Включає систему заходів з управління та експлуатації електрообладнання:

Основні вимоги до оперативного персоналу:

- Наявність професійної підготовки
- Знання експлуатаційних схем
- Володіння інструкціями з охорони праці
- Група електробезпеки:

* IV група – для мереж понад 1000 В

* III група – для мереж до 1000 В

Порядок прийому-здачі зміни

Алгоритм дій оперативного працівника:

1. Особистий огляд обладнання
2. Отримання інформації про поточний стан
3. Перевірка інструментів та документації
4. Ознайомлення з архівними записами

5. Оформлення службової документації

Регламент дій при аварійних ситуаціях

При виникненні позштатної ситуації працівник зобов'язаний:

- негайно вжити заходів з локалізації проблеми
- Повідомити керівництво
- Зафіксувати подію в оперативному журналі
- Забезпечити безпеку персоналу

Профілактичні заходи

Систематичні дії для попередження аварій:

- Регулярні технічні огляди
- Планово-попереджувальні ремонти
- Діагностика стану обладнання
- Контроль ізоляції
- Перевірка заземлення

Обов'язкові документи:

- Журнали оперативного обліку
- Інструкції з експлуатації
- Схеми електромереж
- Протоколи випробувань
- Графіки планових перевірок

Особливості роботи з електроустановками

Категорично забороняється:

- Працювати без спеціального дозволу
- Виконувати роботи без інструктажу
- Порушувати технологію безпеки
- Експлуатувати несправне обладнання
- Знімати захисні кожухи

Підготовка персоналу

Обов'язкові елементи:

- Первинне навчання
- Інструктажі
- Перевірка знань
- Підвищення кваліфікації
- Стажування

Дотримання всіх зазначених технічних заходів дозволяє забезпечити високий рівень електробезпеки, мінімізувати ризики травматизму та аварійності при роботі з електроустановками.

Висока культура виробництва, професіоналізм персоналу та суворе дотримання нормативних вимог – ключові фактори безаварійної роботи електротехнічних систем.

А.2. Охорона праці при впровадженні систем енергоменеджменту

Впровадження систем енергетичного менеджменту є складним комплексним процесом, що вимагає особливої уваги до питань охорони праці та забезпечення безпеки персоналу.

Загальні принципи безпеки

Система охорони праці при впровадженні енергоменеджменту включає:

- Комплексну оцінку професійних ризиків
- Превентивні заходи захисту персоналу
- Створення безпечних умов праці
- Мінімізацію техногенних небезпек
- Забезпечення індивідуального та колективного захисту

Ключові аспекти охорони праці

1. Ергономіка робочих місць

- Оптимальне розташування обладнання
- Зручні робочі поверхні
- Правильне освітлення
- Мікроклімат виробничих приміщень

- Боротьба з виробничим шумом
- Зниження вібраційного навантаження

2. Електробезпека

- Надійна ізоляція струмоведучих частин
- Застосування захисного заземлення
- Використання діелектричних засобів захисту
- Контроль опору ізоляції
- Система попереджувальної сигналізації

3. Захист від шкідливих випромінювань

- Екранування електромагнітних полів
- Обмеження часу роботи з обладнанням
- Застосування колективних та індивідуальних засобів захисту
- Регулярний медичний нагляд

Медико-профілактичні заходи

Система збереження здоров'я працівників:

- Попередні та періодичні медичні огляди
- Професійний психофізіологічний відбір
- Навчання прийомам надання першої допомоги
- Вакцинація
- Санітарно-гігієнічні заходи

Індивідуальні засоби захисту

Обов'язкове забезпечення:

- Захисні каски
- Діелектричні рукавиці
- Захисні окуляри
- Спеціальний одяг
- Захисне взуття
- Протишумові навушники
- Захисні щитки

Навчання та інструктажі

Система підготовки персоналу:

- Первинний інструктаж
- Повторні навчання
- Позаплановий інструктаж
- Цільові інструктажі
- Тренінги з техніки безпеки
- Навчання діям при аварійних ситуаціях

Ризик-менеджмент

Методологія оцінки та мінімізації ризиків:

- Ідентифікація небезпечних факторів
- Оцінка ймовірності настання інциденту
- Розробка превентивних заходів
- Створення резервних систем безпеки
- Страхування професійних ризиків

Документація з охорони праці

Обов'язкова документація:

- Інструкції з техніки безпеки
- Журнали реєстрації інструктажів
- Акти розслідування інцидентів
- Карти оцінки ризиків
- Протоколи випробувань обладнання
- Графіки планово-попереджувальних робіт

Психологічні аспекти безпеки

Важливі напрямки:

- Формування культури безпеки
- Подолання психологічних бар'єрів
- Мотивація дотримання техніки безпеки
- Групова та індивідуальна робота
 - Психологічне консультування

Економічні аспекти охорони праці

Фінансування заходів:

- Придбання захисних засобів
- Модернізація обладнання
- Навчання персоналу
- Медичне страхування
- Компенсації за шкідливі умови праці

Особливості впровадження систем енергоменеджменту

Специфічні вимоги:

- Поетапне впровадження технологій
- Моніторинг технічного стану обладнання
- Гнучкість організаційної структури
- Адаптивність систем управління
- Постійне вдосконалення процесів

Дотримання комплексного підходу до охорони праці при впровадженні систем енергоменеджменту дозволяє створити безпечне виробниче середовище, знизити ризики виробничого травматизму та професійних захворювань, підвищити ефективність роботи персоналу.

Ключовим принципом є не лише дотримання нормативних вимог, але й створення корпоративної культури безпеки, усвідомлення кожним співробітником важливості дотримання правил охорони праці.