

УДК 303.832.3

УКПП

№ держреєстрації 0118U003583

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет (СумДУ)
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2; тел. 687878

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-дослідної
роботи д-р фіз.-мат. наук, професор
_____ А.М. Черноус

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО - ДОСЛІДНУ РОБОТУ
МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА
ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
(остаточний)

Керівник НДР

д-р тех. наук., професор

М.І. Сотник

2020

Рукопис закінчено 22 грудня 2020 р.

Результати цієї роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 23 грудня 2020 р. № 6

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник теми, д-р тех. наук., с.н.с .	_____	22.12.2020	М. Сотник (вступ, закл. розділ 2.1-2.3, 3.1-3.3)
Д-р екон. наук., г. н. с.	_____	_____	О. Теліженко (вступ, закл. розділ 2.1- 2.3,3.1-3.3)
Канд. екон. наук., с. н. с.	_____	_____	А. Жулавський (розділ 4.1, 4.5)
Д-р екон. наук., с. н. с.	_____	_____	І. Сотник (розділ 2.1, 2.3, 3.3, 4.5)
Канд. фіз.-мат. наук., с. н. с.	_____	_____	І. Коплик (розділ 1.1-1.3, 3.1)
Канд. фіз.-мат. наук., п. н. с.	_____	_____	О. Дрозденко (розділ 3.1, 3.2)
Канд. екон. наук., п. н. с.	_____	_____	Т. Маринич (розділ 1.1, 1.3)
Канд. екон. наук., с.н. с.	_____	_____	Т. Курбатова (розділ 2.2, 4.2, 4.3)
Канд. екон. наук., н. с.	_____	_____	Н. Байстриюченко (розділ 4.1, 4.5)

Лаборант	_____	І. Вакуленко
	_____	(розділ 2.1, 2.2)
Канд. екон. наук., н.с.	_____	Ю. Опанасюк
за дог-ом.	_____	(розділ 4.4, 1.2)
цив.прав.хар-ку.		
Канд. екон. наук., н.с.	_____	Д. Смоленніков
за дог-ом.	_____	(розділ 1.2, 3.3)
цив.прав.хар-ку.		
Асист.,	_____	А. Павлік
за дог-ом.	_____	(розділ 4.1)
цив.прав.хар-ку.		
Аспірант, інж. 1 кат.	_____	А. Черноброва
	_____	(розділ 3.3)
Канд. тех. наук.,	_____	О. Молошний
за дог-ом.	_____	(розділ 2.1, 2.3)
цив.прав.хар-ку.		
Канд. тех. наук.,	_____	С. Шендрик
за дог-ом.	_____	(розділ 2.3)
цив.прав.хар-ку.		
Аспірант	_____	І. Борзенков
за дог-ом.	_____	(розділ 2.3, 3.3)
цив.прав.хар-ку		
Аспірант, інж. 1 кат.	_____	Д. Сухоставець
	_____	(розділ 1.2, 2.2, техн. оформ.)
Аспірант, м. н. с.	_____	В. Москаленко
	_____	(розділ 2.3, 4.5)
Студент,	_____	Т. Денисенко
за дог-ом.	_____	Інформаційне забезпечення
цив.прав.хар-ку		
Студент,	_____	І. Феденченко
за дог-ом.	_____	Інформаційне забезпечення
цив.прав.хар-ку		

Студент, за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	К. Мащенко
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Інформаційне забезпечення
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	А. Гасай
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Інформаційне забезпечення
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	С. Смоленко
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	(розділ 3.2)
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Д. Григоренко
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Інформаційне забезпечення
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	О. Данильченко
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Інформаційне забезпечення
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	Н. Підпригора
Студент за дог-ом. цив.прав.хар-ку	_____	(розділ 3.3)
Аспірант	_____	А.Сохань
	_____	(розділ 1.3, 3.3, техн. оформ.)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: стор.143, рис.19, табл.31, джерел.45

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, УПРАВЛІННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ, ОБМЕЖЕННЯ, ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ,
ВИТРАТИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження - принципи і методи логіко-структурного моделювання системи управління ефективністю та прогнозування використання теплової і електричної енергії.

Мета роботи - моделювання системи управління та прогнозування використання теплової і електричної енергії та апробація отриманих результатів на прикладі закладів освіти.

Предмет дослідження – система внутрішніх (техніко-економічних, структурних, режимних) та зовнішніх (метеорологічних, екологічних, паливно-енергетичних, макроекономічних) факторів, що обумовлюють обсяги і режими споживання енергії та відносини між суб'єктами управління з приводу ефективного використання електричної енергії.

Методи дослідження. Вирішення завдань проекту базується на міждисциплінарному системному підході до формування системи енергетичного менеджменту, створенні та підтримці систем збору та моніторингу інформації щодо споживання енергії, використання поглиблених схем енергоаудиту на базі енергетичних моделей об'єктів, моделюванні короткострокового прогнозування та довгострокового планування споживання електричної енергії на основі ретроспективних даних.

Головна ідея проекту полягає у розробці моделі прогнозування та планування споживання електричної енергії на основі ретроспективних даних з урахуванням комплексу внутрішніх (техніко-технологічних) та зовнішніх (метео-кліматичних, екологічних, макроекономічних) факторів.

ЗМІСТ

ВСТУП	Ошибка! Закладка не определена.8
1 ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	Ошибка! Закладка не определена.14
1.1 Аналіз методів моделювання споживання електричної енергії.....	Ошибка! Закладка не определена.14
1.2 Моделювання короткострокового прогнозування та довгострокового планування споживання електричної енергії.....	Ошибка! Закладка не определена.20
1.3 Економетричне моделювання споживання електроенергії.....	31
2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОРОТКОТЕРМІНОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИМИ ЗАКЛАДАМИ	Ошибка! Закладка не определена.34
2.1 Обґрунтування організаційно-технічних засад створення дворівневої інтегральної системи короткострокового прогнозування та моніторингу електроспоживання.....	Ошибка! Закладка не определена.34
2.2 Методичні підходи до обрахування показників нормального електроспоживання з урахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів впливу	Ошибка! Закладка не определена.37
2.3 Інформаційні блоки алгоритму прогнозування споживання електроенергії у навчальному процесі.....	47
3 ФОРМУВАННЯ ТА АПРОБАЦІЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	

КОРОТКОТЕРМІНОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СТРУМОПРИЙМАЧАМИ **49** **Ошибка! За**

3.1 Програмно-алгоритмічна та апаратна частини комплексу автоматизованої системи короткотермінового прогнозування та моніторингу споживання електричної енергії струмоприймачами **Ошибка! Закладка не определена.49**

3.2 Результати прогнозування обсягів споживання електроенергії на основі апаратно-програмного комплексу KODROS58

3.3 Розрахунок та аналіз добового споживання електроенергії.....97

4 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ СЕРЕД ПРАЦІВНИКІВ СЛУЖБИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТА РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ.....112

4.1 Система підвищення мотивації**Ошибка! Закладка не определена.112**

4.2 Розрахунок математичного очікування113

4.3 Розрахунок похибок розподілу подій124

4.4 Розрахунок продуктивності125

4.5 Практичний досвід впровадження системи мотивації у Сумському державному університеті126

ВИСНОВКИ130

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ138

ВСТУП

Зменшення обсягів використання електричної енергії можливе за рахунок впровадження нової енергоефективної техніки у технологічних процесах та впровадження організаційно-технічних заходів, спрямованих на оптимізацію режимів та регулювання електро- та теплоспоживання.

У заключному звіті на системному рівні розглядаються саме ці два аспекти оптимізації енергоспоживання: узагальнюються результати наукових досліджень щодо управління ефективністю електроспоживання у навчальних закладах. Виділені специфічні особливості навчальних закладів як об'єкта електроспоживання, які полягають, перш за все, у режимі та структурі електроспоживання. Саме ці особливості враховуються при розробці методичних підходів до моделювання короткострокового прогнозування та довгострокового планування споживання електричної енергії. Досліджується та включається до пропонованих моделей динаміка внутрішніх (техніко-економічних, структурних, режимних) та зовнішніх (метеорологічних, екологічних, паливно-енергетичних, макроекономічних) обмежень електроспоживання.

Пропоновані науково-методичні підходи до розвитку системи управління енергозаощадженням галузі освіти спрямовані на формування організаційних основ та алгоритмічної бази збору, обробки, аналізу інформації з використання електроенергії, прийняття управлінських рішень та проведення електроенергетичного аудиту, контролю електроспоживання, вдосконалення системи лімітування споживання електроенергії, створення електроенергетичних паспортів об'єктів.

З практичної точки зору формування аналітичного інструментарію автоматизованого програмного комплексу для короткострокового прогнозування та довгострокового планування обсягів споживання

електроенергії, в тому числі і для об'єктів галузі освіти, полягає в адаптації до національних умов методології, методичних принципів формування та обробки вхідної інформації, врахування факторів, що впливають на обсяги електроспоживання які містяться в «International Performance Measurement & Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume I».

В загальному вигляді процедура адаптації включає декілька взаємопов'язаних стадій спрямованих на науково-методичне забезпечення створення системи управління процесами ефективного короткострокового прогнозування та довгострокового планування споживання електроенергії на основі автоматизованого програмного комплексу і включає в себе:

- розробку концепції системи управління споживанням та заощадженням електроенергії і оцінки електроенергетичної ефективності складних господарюючих об'єктів (на прикладі галузі освіти);

- розробку моделі системи управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії споживачами;

- розробку адаптивної моделі прогнозування використання електричної енергії споживачами, що базується на поєднанні елементів узагальнених авторегресійних моделей ковзної середньої (ARIMA), структурних та коінтеграційних (теорія Р. Енглу та К. Гренджера) моделей та ін.;

- розробку методичного забезпечення (інструментарію) створення системи управління процесами ефективного споживання електроенергії; універсальних економіко-математичних моделей процесів електроспоживання (на прикладі об'єктів галузі освіти) методичних матеріалів по організації системи управління енергозаощадженням;

- розробку автоматизованого програмного комплексу для короткострокового прогнозування та довгострокового планування обсягів споживання електроенергії на основі ретроспективних даних та з урахуванням динаміки зовнішніх факторів впливу (технологічних, погодних, організаційних, нормативних);

- розробку рекомендації щодо впровадження системи управління споживанням та заощадженням електроенергії і оцінки електроенергетичної ефективності складних господарюючих об'єктів (на прикладі галузі освіти) на базі автоматизованого програмного комплексу.

Однією з головних стадій є саме розробка автоматизованого програмного комплексу для короткострокового прогнозування та довгострокового планування обсягів споживання електроенергії. Саме результати прогнозування та планування обсягів споживання електроенергії можуть бути основою розроблення проектів з енергозбереження на основі принципів Enterprise Content Management (ECM). В загальному вигляді ECM розглядається як технологія збору, управління, зберігання та інформації/документів, пов'язаних з організаційними процесами. ECM – це складний набір технологій, які працюють разом.

В табл. 1 наведені рекомендації щодо адаптації до національних умов окремих розділів International Performance Measurement & Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume I.

Таблиця 1 – Рекомендації адаптації до національних умов окремих розділів International Performance Measurement & Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume I.

№ п/п	Розділ ¹	Зміст ¹	Рекомендації щодо адаптації
1	3.4.3.2 – Рахунки за енергію	Дані про спожиту енергію визначаються: - шляхом прямого зчитування з лічильника; - з рахунків за комунальні послуги.	Пропонується розраховувати показники поточного електроспоживання на основі даних автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Продовження таблиці 1

2	3.4.3.3 – Незалежні змінні	Найчастіше до незалежних змінних відносять метеокліматичні умови об'єкта, кількість зайнятих днів (будні/вихідні дні) та ін. Оскільки незалежні змінні мають циклічний характер, то їх вплив на використання енергії пропонується оцінювати за допомогою математичного моделювання.	Пропонується врахування внутрішніх (техніко-економічних, структурних, режимних) та зовнішніх (метеорологічних, екологічних, паливно-енергетичних, макроекономічних) обмежень моделювання систем управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії.
3	3.4.3.4 – Вихідні дані, аналіз та моделі	Рекомендуються багатofакторні моделі регресійного аналізу, які співвідносять використання енергії з кількома параметрами: метео-кліматичні дні, тривалість періоду вимірювання, режим роботи будівлі (літо/зима). Для певних закладів (наприклад, у школах), де є значна різниця між енерговикористанням протягом навчального року, можуть розроблятися моделі для різного періоду.	Пропонується розробка та впровадження адаптованої моделі прогнозування використання електричної енергії споживачами, що базується на поєднанні елементів узагальнених авторегресійних моделей ковзної середньої (ARIMA), структурних та коінтеграційних (теорія Р. Енглу та К. Гренджера) моделей та ін.
4	3.4.3.5 – Розрахунки	Рекомендується проводити розрахунки споживання енергії на основі обраних моделей в системі «плановий/нормативний режим – фактичний режим» нергоспоживання.	Обсяги споживання електроенергії струмоприймачами пропонується визначати, виходячи з аналізу режимів їх функціонування, враховуючи структуру

			елементів проведення технологічного процесу (виробництва, навчального процесу і т. ін.).
5	3.4.3.6 – Вартість	Оцінюється вартість спожитої енергії до та після впровадження організаційно-технічних/управлінських заходів із енергозбереження.	Таким же чином
6	3.4.3.7 – Програми	Рекомендується оцінювати енергетичні показники всього об'єкта, а не тільки окремих проєктів ЕСМ (Enterprise Content Management).	Таким же чином

1) Відповідає International Performance Measurement & Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume I.

Вибір тієї або іншої моделі прогнозування використання електричної енергії споживачами залежить від тих організаційно-управлінських задач з оптимізації електроспоживання, які ставить перед собою аналітик. Вибір моделей залежить як від технічних можливостей так і від економічної ефективності їх впровадження. У будь якому випадку необхідно дотримуватись загальних рекомендацій, викладених в Handbook (1997) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – (ASHRAE), зокрема в розділі 30 – Energy Estimating and Modeling Methods.

Розробка та впровадження системи дозволяє налагодити прогноз витрат електричної енергії у навчальних закладах за видами (елементами) їх діяльності: навчальний процес, обслуговування навчального процесу, наукові дослідження, дослідно-конструкторські розробки та ін. Такий прогноз та система поточного контролю фактичних витрат електроенергії має стати основою подальшого формування важелів впливу на заохочення персоналу і керівного складу закладів освіти та інших закладів до дієвого впровадження

енергозбереження. При цьому, вона має розглядатися як базовий елемент загальної системи прогнозування споживання електричної енергії для конкретного регіону, а, отже, і формування балансів споживання та генерації електричної енергії на регіональному та загальнодержавному рівнях. Тобто, вона має стати базовим елементом, на якому ґрунтується та розвивається регіональна та державна система короткострокового прогнозування споживання електричної енергії, оптимізація енергетичних балансів раціонального споживання електричної енергії та її генерації. Такий підхід дозволяє з одного боку, встановити дієвий контроль за споживанням електроенергії, а з іншого, – мінімізувати її вироблення, що має зменшити екологічне навантаження на зовнішнє середовище.

У заключному звіті запропоновано та обґрунтовано логіко-структурну модель та програмне забезпечення контуру «об'єкт моніторингу електроспоживання – фактори впливу – інструменти регулювання» системи управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії для закладів освіти. Розроблено як науково-методичні основи організації та побудови автоматизованої системи короткотермінового прогнозування та моніторингу електроспоживання навчальними закладами, так і апаратне та програмне забезпечення, яке пройшло стендові та практичні випробовування на базі одного із навчальних корпусів Сумського державного університету. Розроблено структурну схему інформаційних блоків алгоритму розрахунку прогнозних обсягів споживання електроенергії, проаналізовано «спектр» електроспоживання у навчальному процесі та запропоновано методику аналізу його складових.

За результатами розробки апаратно-програмного комплексу короткотермінового прогнозування та моніторингу електроспоживання отримано ряд охоронних документів.

1 ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Аналіз методів моделювання споживання електричної енергії

Створення інноваційних інтелектуальних систем управління процесами енергоспоживання є життєво важливим завданням як для окремих об'єктів (установ), країн, так і для глобальної економіки в цілому. Рішення таких актуальних проблем, як зниження енерговитратності, забезпечення енергонезалежності, зменшення обсягів викидів парникових газів, вимагає ідентифікації адекватних методів аналізу, моделювання і прогнозування часових рядів споживання і виробництва різних видів енергії, їх інтеграції з існуючими інформаційними системами для прийняття управлінських рішень в масштабах окремих підприємств, міст, галузей економіки та держав. Недостатній ступінь розробки теоретико-методологічних підходів і практичних аспектів застосування систем прогнозування та оцінювання ефективності використання електроенергії актуалізують необхідність створення комплексних автоматизованих систем енергоменеджменту з використанням сучасних методів машинного навчання.

Повсюдне поширення сучасних технологічних пристроїв для вимірювання обсягу спожитої енергії сприяло розвитку інженерних і статистичних методів аналізу, що дозволяє ефективно планувати, передбачати і контролювати зростаючі навантаження на електромережу. В останнє десятиліття активізувалися наукові дослідження як в області прогнозування споживання електроенергії для промислових, комунальних та енергорозподільчих підприємств, житлових комплексів, бізнес структур, так і окремих будинків [1, 2, 3, 4, 5]. Це обумовлено необхідністю забезпечення енергоефективності будівель, визнаної Міжнародним енергетичним

агентством як одне з п'яти умов, що забезпечують зменшення кінцевого споживання енергії та пов'язаних з нею викидів CO₂ [6]. Екологічні передумови і економічна доцільність сприяли розробці національних правил енергоефективного дизайну для різних типів будівель, що дало поштовх розвитку комп'ютерного програмного забезпечення для енергоефективного проектування нових будинків, таких як EnergyPlus, DOE-2, eQUEST, IES, ECOTEST і т. д. [7].

Підтримка енергоефективності будівель вимагає постійного моніторингу показників енергоспоживання та визначення факторів, які на них впливають в режимі реального часу. Більшість дослідників виділяють погодні умови як головні чинники, що визначають динаміку попиту на електроенергію. До них відносять: показники температури (повітря, навколишнього середовища, температури в приміщеннях); показники вологості, тиску, швидкості і напрямку вітру, хмарності та яскравості сонця; атмосферні опади [8]. Серед додаткових незалежних факторів автори використовують в моделях змінні електричного навантаження, теплопередачі або теплового індексу; календарні змінні; показники розміру і операційні характеристики будівель, розвитку міської інфраструктури; показники рівня життя і соціально-економічного розвитку [8]. Наприклад, для прогнозування попиту на електроенергію в житловому секторі автори роботи [4] використовують дані середньоденного споживання енергії в кВт*год в якості залежної змінної. Для відображення календарних ефектів дослідники включають фіктивні змінні, а саме змінну для всіх субот, змінну для всіх недільних днів і змінну для свят в інтервалі дослідження [4]. Слід зазначити, що періодичність часових рядів, які використовуються в моделях, визначається джерелом і доступністю даних. Так, в роботі [5] представлені часові ряди споживання електроенергії, в дослідженні [9] – півгодинні дані з річним часовим інтервалом. Відповідно, прогнози, отримані на такій вибірці, можуть бути тільки короткостроковими, наприклад на тиждень. Для отримання середньострокових і довгострокових прогнозів використовують моделі, які

оцінюються на даних більшої частоти (наприклад, місячні [9]) і більш тривалого часового інтервалу (кілька десятиліть). Прогнозування в режимі реального часу вимагає отримання даних з вимірювальних приладів щохвилини або посекудно.

Аналіз відкритої статистичної інформації по споживанню електроенергії в Україні [10] показує, що статистичні дані про валове споживання електроенергії всіма секторами економіки доступні тільки по роках; показники кінцевого споживання з урахуванням джерел відновлюваної енергії в розрізі домогосподарств, секторів промисловості, транспорту, послуг, сільського, лісового і рибного господарств, а також неенергетичного споживання енергії, є тільки з 2007 р. При цьому зі звітів профільних міністерств [12] можна отримати місячні показники по валовому споживанню енергії в країні, і тільки в межах останнього десятиліття. Одним з варіантів вирішення проблеми малої вибірки даних для отримання адекватних, статистично значущих результатів, і якісних прогнозів може бути використання панельних моделей, які оцінюють аналогічні показники по групі об'єктів, наприклад, одночасно по всіх навчальних закладах регіону, регіонах країни або по країнах зі схожими параметрами розвитку. Так, в статті [11] використана панельна вибірка річних даних по споживанню електроенергії житловими будинками в розрізі міст Китаю для виявлення найбільш значущих чинників будівництва «зелених будинків». Автори роботи [12] досліджують попит на електрику в промисловості і сфері послуг Тайваню, аналізуючи панельні дані по 23 промисловим галузям і 9 секторам послуг за 1998-2015 рр. У статті [13] оцінюється ефективність споживання електроенергії для незбалансованої групи з 27 країн з перехідною економікою та 6 країн-членів ОЕСР в Європі в період з 1994 по 2007 рр. Таким чином, можна зробити висновок, що для України, найбільш прийнятними є моделі на основі панельних даних. При цьому, фокус наукових досліджень повинен бути зміщений в сторону моделювання попиту на електроенергію окремими об'єктами, що мають відповідне обладнання для

вимірювання споживання електроенергії високочастотної фіксації, з подальшою екстраполяцією отриманих результатів на більш високі рівні (галузеві, регіональні).

Зазначений вище підхід детально представлений в роботі канадських вчених [11], які виділили дві методики моделювання попиту на електроенергію в житловому секторі: «зверху вниз» і «знизу вгору». Перший підхід фокусується на виявленні ключових факторів і прогнозуванні споживання електроенергії по житловим об'єктам різного рівня в залежності від історичних даних по житловим будівлям і змінних верхнього рівня, які включають макроекономічні показники (валовий внутрішній продукт, показники безробіття і інфляції), ціни на різні види енергії, кліматичні чинники. Другий підхід заснований на використанні статистичних і інженерних методологій для передбачення споживання електроенергії на регіональному та національному рівнях за допомогою екстраполяції показників репрезентативного набору окремих будинків [13].

Слід зазначити, що інженерні моделі, які описують кінцеве споживання енергії як природне явище, ґрунтуючись на фізичних законах і не вимагають історичних даних енергоспоживання, зараз практично не використовуються. Стрімке збільшення джерел і обсягів даних, технологій їх обробки і потужностей обчислювальних систем, сприяли зміщенню наукових інтересів в сторону статистичних методик. Різноманіття статистичних моделей обумовлено як відмінностями в структурі даних (лінійні і нелінійні; дискретні, і безперервні моделі), так і розвитком методів машинного навчання і програмних засобів, які їх реалізують. Широкого поширення набули параметричні і непараметричні методи, які можна класифікувати на регресивні, авторегресійні методи, моделі Фур'є, нейронні мережі, моделі нечіткої логіки, Вейвлет аналіз, Байєсовські методи. Використання параметричних методів передбачає наявність інформації про характер розподілу даних, що загрожує отриманням зміщених оцінок параметрів і помилкових висновків в разі неправильно обраної моделі. Для тих випадків,

коли даний розподіл даних невідомо, використання непараметричних методів є кращим. Істотним недоліком і обмеженням непараметричних моделей, орієнтованих скоріше на тестування гіпотез, ніж на оцінювання параметрів, є складність їх обчислень і високі вимоги до програмного і апаратного забезпечення [4].

Аналіз публікацій в області прогнозування споживання електричної енергії показує, що традиційні параметричні методи, такі як регресивні моделі (лінійна регресія і множинна регресія) і авторегресійні методи (моделі авторегресії і ковзного середнього, ARMA, інтегровані моделі, ARIMA, векторні авторегресії, VAR, і коінтеграційні моделі, VEC) останнім часом використовуються рідше. Проте, деякі автори все ще відзначають високу ефективність і точність як одновимірних сезонних інтегрованих моделей авторегресії-ковзного середнього, SARIMA [1, 14] так і моделей SARIMAX [4], які включають, крім даних самого споживання електроенергії, додаткові екзогенні змінні.

ARIMA модель використовує відому методологію Боксу-Дженкінса, яка передбачає, що майбутні значення часового ряду є лінійною функцією його попередніх значень і випадкових помилок [15]:

$$y'_t = c + \varphi_1 y'_{t-1} + \dots + \varphi_p y'_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (1.1)$$

де y'_t і ε_t представляють фактичні значення і випадкову помилку в період часу t ; $\varphi_{1,\dots,p}, \theta_{1,\dots,q}$ – параметри моделі;

p – лаг моделі;

d – порядок інтеграції (порядок диференціювання ряду для приведення до стаціонарності);

q – порядок змінного середнього.

Все більшої популярності в науковому і бізнес середовищі набувають методи штучного інтелекту (штучні нейронні мережі, ІНС, і метод опорних векторів, SVM) [16]. Сучасним модельним надбанням ANN є їхня здатність моделювати нелінійні зв'язки. Прогнозні значення часового ряду в період часу t , одержані з використанням нелінійної авторегресійної моделі нейронних мереж, описуються наступним рівнянням [17]:

$$y'_t = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-p), +\varepsilon_t) \quad (1.2)$$

Традиційно методи прогнозування часових рядів, такі як ІНС, Аріма доповнюють оптимізаційними методами, до яких відносять метод рою частинок, ПСО, генетичний алгоритм, мурашиний алгоритм, АСО.

В ході проведення аналітичного огляду визначено основні положення теорії моделювання систем управління ефективністю і прогнозування використання електричної енергії споживачів, які базуються на оцінюванні закономірності динаміки часових рядів внутрішніх (техніко-економічні, структурні, режимні) і зовнішніх (метеорологічні, екологічні, енергетичні, макроекономічні) факторів систем «генерація – кліматичні умови – енергоспоживання».

Виявлено два напрямки досліджень: прогнозування попиту на електроенергію на підставі панельних даних по місяцях (в розрізі країни, регіонів, галузей) і моделювання споживання електричної енергії окремими об'єктами, що мають відповідне обладнання для вимірювання споживання електроенергії високочастотної фіксації. Встановлено, що основним напрямком поліпшення якості прогнозів є поєднання різних підходів моделювання (авторегресійний, структурне моделювання, нейромережеве прогнозування, методи штучного інтелекту), а також використання гібридних моделей. На основі обраних теоретичних моделей передбачається розробка науково-методичного забезпечення (інструментарію) для створення

багаторівневої системи управління процесами ефективного споживання електроенергії. Оцінювання динаміки попиту на електроенергію і можливих причинно-наслідкових зв'язків для різних об'єктів і рівнів, екстраполяція і сценарний аналіз отриманих результатів дозволить виробити основні механізми політики енергоефективності та принципи їх практичної реалізації.

1.2 Моделювання короткострокового прогнозування та довгострокового планування споживання електричної енергії

Розвиток інформаційних технологій, комп'ютерних потужностей і аналітики даних сприяли бурхливому розвитку досліджень в сфері прогнозування попиту на електроенергію на макро і мікро рівнях. Оскільки основні підходи базуються на моделях, які досліджують історичні дані енергоспоживання, велика увага приділялася вивченню факторів, які пояснюють його динаміку. Зокрема, предметом дослідження багатьох вчених в останні роки було моделювання причинно-наслідкових зв'язків між факторами економічного зростання і споживанням енергії. Слід зазначити, що висновки щодо того, що є причиною, а що наслідком – зростання економіки стимулює збільшення енергоспоживання, або навпаки, відрізняються [19].

Саме тому актуальними є питання дослідження чинників, що впливають на кінцеве споживання енергії і підбір оптимальних моделей для прогнозування споживання електроенергії на рівні держав і регіонів.

Прогнозування споживання електроенергії має вирішальне значення при експлуатації і управлінні енергосистемами і, таким чином, є основною областю досліджень на енергетичних ринках. Існує багато статистичних методів, які застосовуються для прогнозування поведінки електричних навантажень, зі змінним залежно від ринку продажу [20]. У цьому підході схема навантаження обробляється як сигнал часового ряду, де

застосовуються різні методи часових рядів. Найбільш поширеним підходом є модель ARIMA Бокса-Дженкінса і SARIMAX [21, 22]. SARIMA використовує прогнозування з подвійною сезонністю (внутрішньодобові та внутрішньонедільні цикли), властивої даним про навантаження. Нейронні мережі (NN) і штучні нейронні мережі (ANN) [24, 25] корисні для багатовимірного моделювання, але вони не є настільки ефективними при однофакторному короткостроковому прогнозуванні.

Сезонна (або мультиплікативна) модель SARIMA є розширенням моделі (ARIMA) [21, 22] коли ряд містить як сезонну, так і не сезонну поведінку. Така поведінка навантаження робить типову модель ARIMA неефективною для використання. Це пов'язано з тим, що вона може бути не в змозі «вловити» поведінку продовж сезонної частини ряду навантажень і тому не може забезпечити прийнятний результат прогнозування при неправильному виборі несезонної складової.

При використанні машинного навчання при прогнозуванні споживання електроенергії, застосовано два найбільш поширених підходи: штучні нейронні мережі (ANN) і машини опорних векторів (SVM).

Методи машинного навчання є основою сучасних розробок в області короткострокового прогнозування навантаження. Ці методи забезпечують надійні результати за дуже короткий період прогнозування.

Кількість нейронів у кожному шарі може варіюватися і зазвичай вибирається алгоритмом оптимізації. Кожен нейрон має один вхід, а його вихід пов'язаний з усіма нейронами наступного шару, створюючи з'єднання мережі. Модель нейронної мережі з 28-денним прогнозуванням енергосистем наведена на рисунку 1.1.

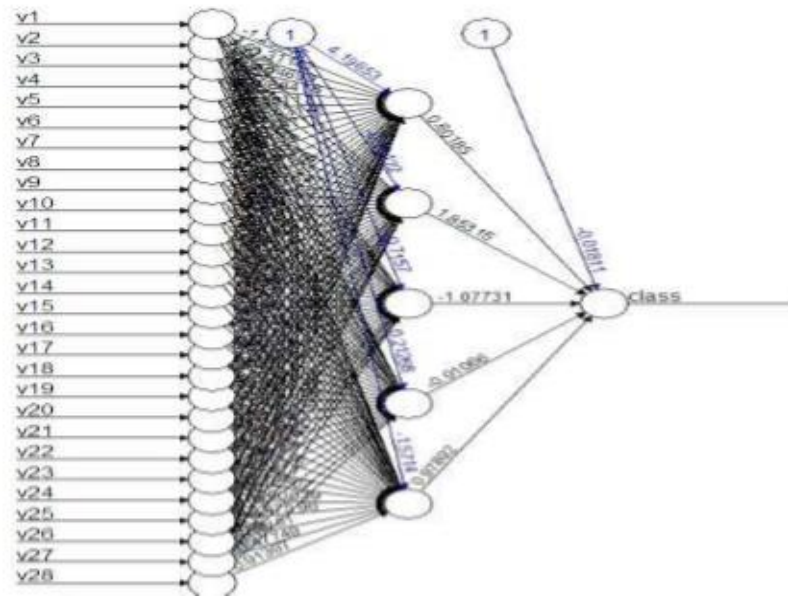


Рис. 1.1 - Модель нейронної мережі з 28-денним прогнозуванням енергосистем.

Для аналізу були використані панельні ряди 31 фактора (табл. 1.1) по 46 країнам Європи та Центральної Азії за 2000-2019 рр. Загальна кількість спостережень – 920. Джерелами даних виступили статистичні вибірки Світового банку [23] і оцінки індексу економічної свободи Фонду спадщини США [26].

Аналіз динаміки споживання електроенергії на душу населення в розрізі окремих країн Європи і Центральної Азії (рис. 1.2) показує зростання показника для більшості країн (крім Азербайджану) до 2014 р. При цьому вивчення статистики ВВП на душу населення обраних країн (рис. 1.3) вказує на можливий взаємозв'язок між показниками економічного зростання і енергоспоживанням.

Зокрема, експерти АТФ Банку оцінюють, що зростання ВВП країни на 1% провокує зростання споживання електроенергії на 0,5% [18]. Це пояснюється, перш за все, низькою доданою вартістю та високим споживанням електрики видобувних і сільськогосподарських галузей, які формують більшу частину ВВП таких країн, як Казахстан, Україна, Росія, Азербайджан. У таких країнах енергоресурси формують значну частину

витрат споживачів. Розрив у показниках енергоефективності, що визначаються в обсязі споживання електрики на одиницю виробленої продукції, між країнами пострадянського простору і розвиненими країнами складає в середньому 200-300% (рис. 1.4) [22].

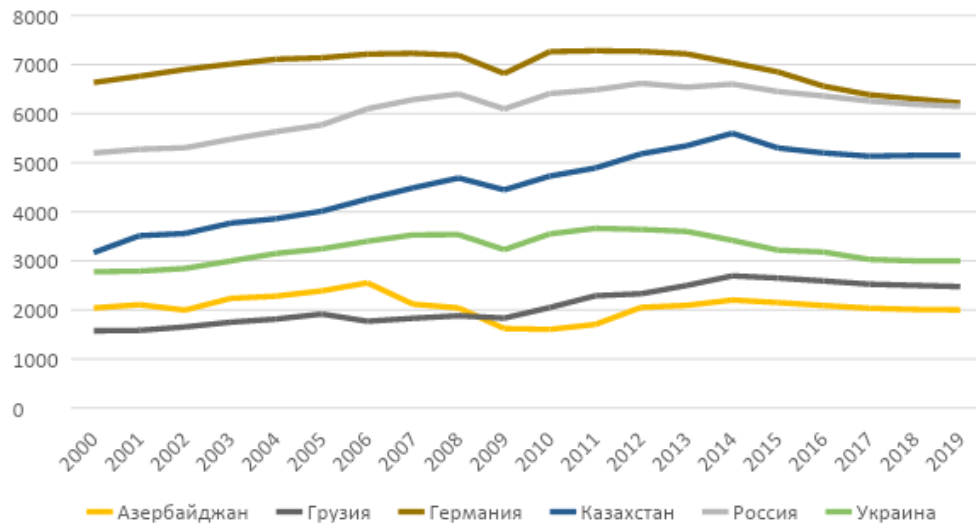


Рис. 1.2 - Споживання електроенергії кВт на душу населення [22],

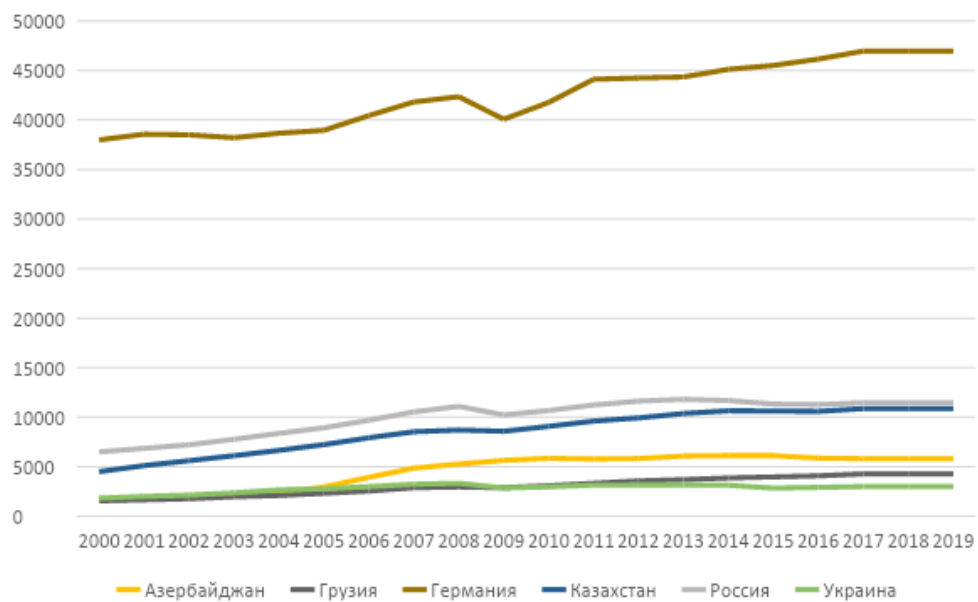


Рис. 1.3 - ВВП на душу населення в постійних цінах 2010 р. дол. США [22]

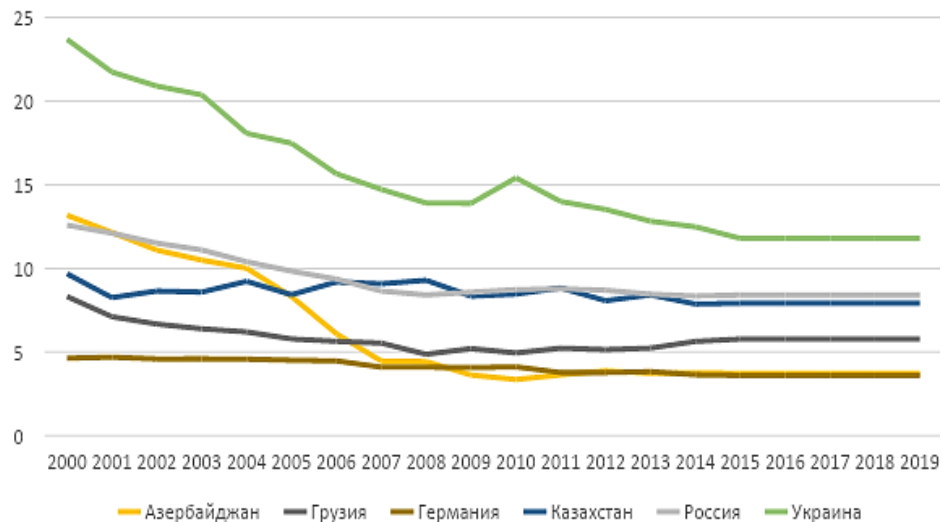


Рис. 1.4 - Обсяг енергоспоживання на одиницю ВВП (МДж / 2011 \$ ППС)

[22]

Дослідження розподілу споживання електрики в залежності від параметрів ціни і географічного розташування. Групування за критерієм ціни вище середнього рівня відображає відмінності між Європейськими країнами з ринковим конкурентним ціноутворенням і пострадянськими країнами, де, в більшості випадків, все ще діє централізований ринок з державним регулюванням цін. Аномально високі значення електроспоживання характерні для північних країн з найменшою кількістю сонячних днів в році і водночас відносно невисокою ціною електрики (Норвегія, Ісландія, частково Фінляндія).

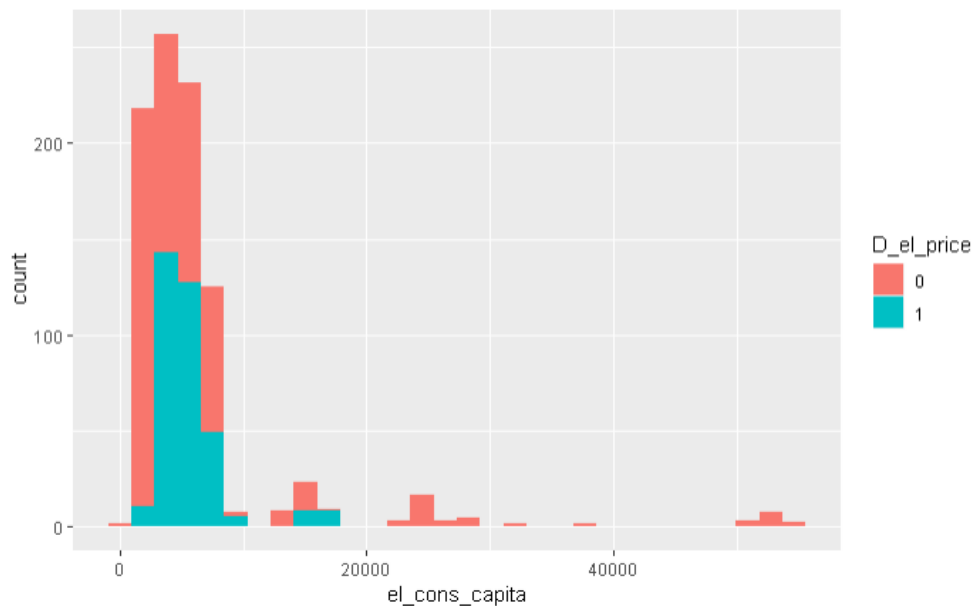


Рис. 1.5 - Розподіл споживання електроенергії в залежності від ціни на електроенергію [22]

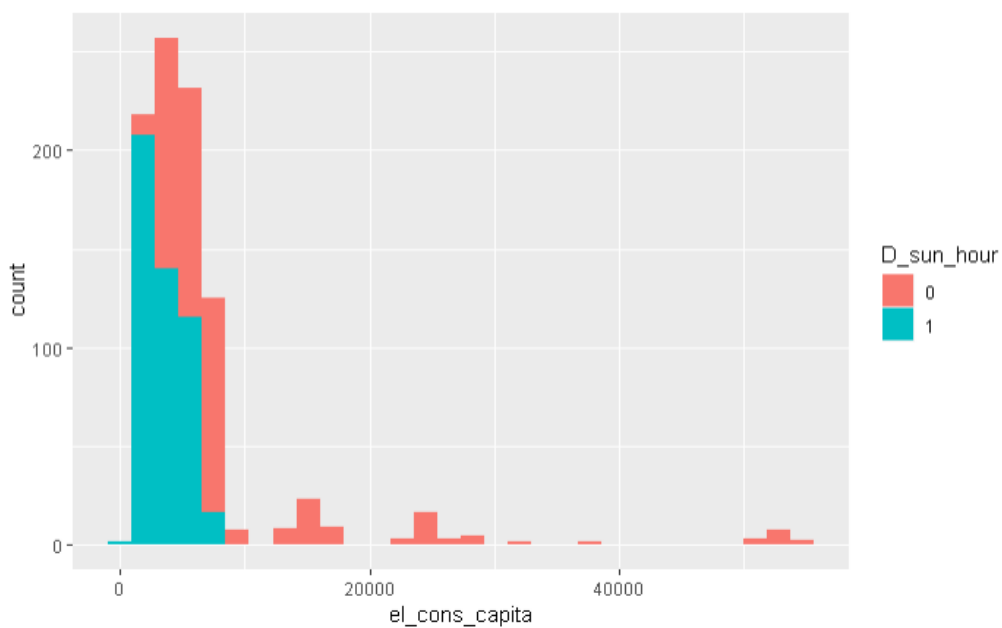


Рис. 1.6 - Розподіл споживання електроенергії в залежності від кількості сонячних днів в році [22]

Порівняльний аналіз середніх значень споживання електроенергії по країнах, представлений на рис. 1.7, дає можливість кластеризувати держави в групи зі споживанням вище 7000 кВт*год; в діапазоні 4000 - 7000 кВт*год; щонайменше 4000 кВт*год на душу населення.

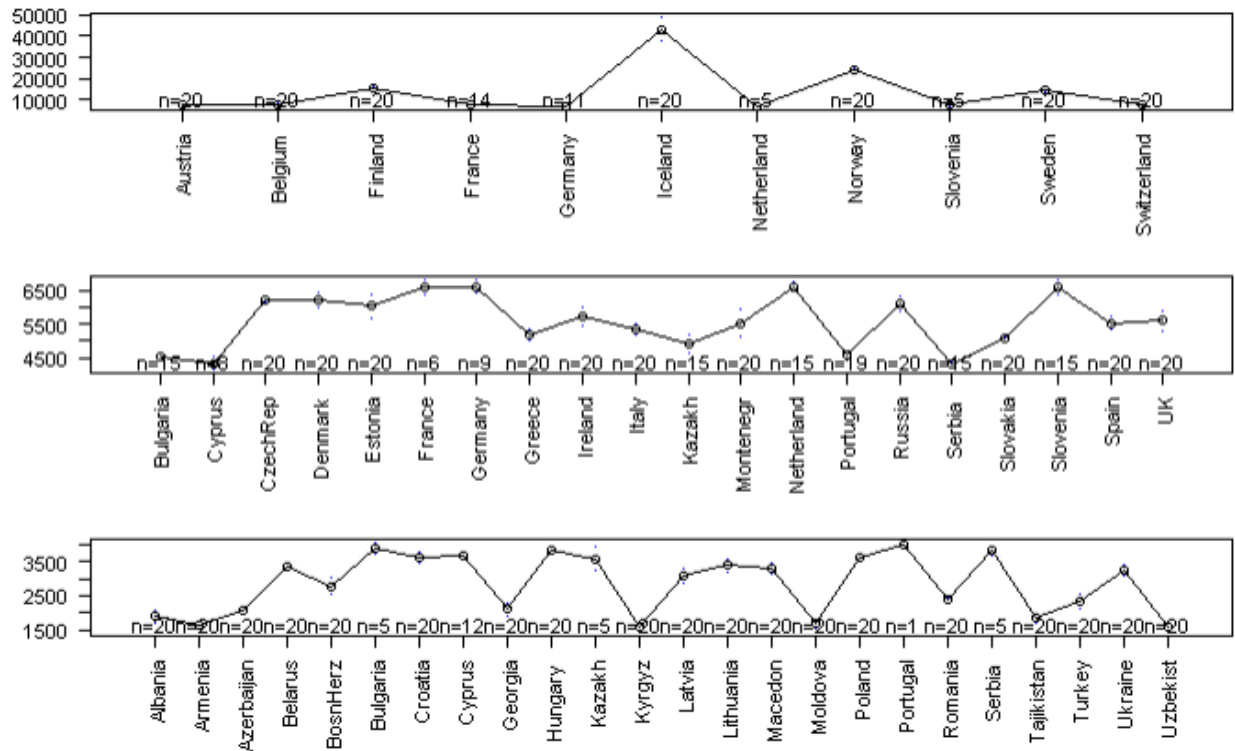


Рис. 1.7 - Порівняльний аналіз середніх значень споживання електроенергії на душу населення по країнам [26]

Порівняльний аналіз по роках, представлений на рис. 1.8, показує зміщення центральної тенденції споживання енергії в Європі і Центральній Азії вгору з незначними зниженнями в кризовий 2009 рік і починаючи з 2014 р., а також збільшення довірчих інтервалів середніх значень за досліджуваний період.

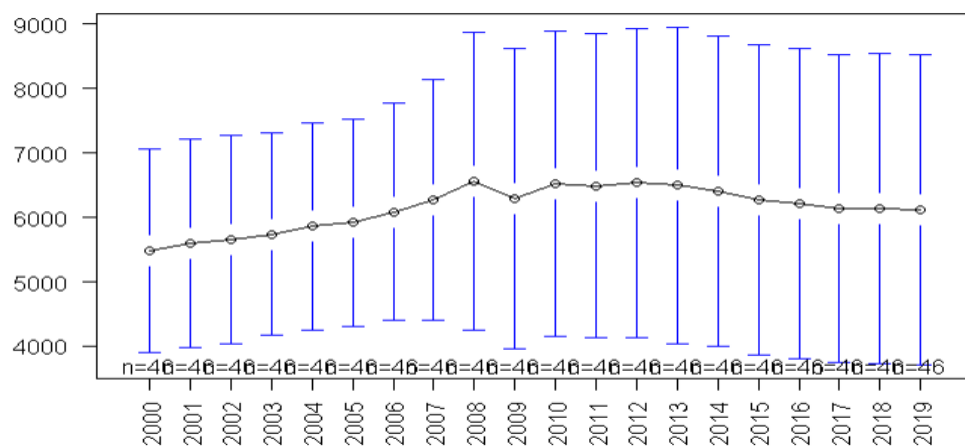


Рис.к 1.8 - Порівняльний аналіз середніх значень споживання електроенергії на душу населення по роках [26]

Для побудови адекватних моделей проведені статистичні тести на кореляцію і каузальність. Аналіз діаграм розсіювання (рис. 1.9-1.10) показує наявність прямо пропорційних лінійних стохастичних взаємозв'язків між споживанням електроенергії та ВВП на душу населення, зростанням населення і його старінням. Повний перелік значущих лінійних стохастичних залежностей представлений в кореляційній матриці на рис. 3.10. Примітно, що такі показники як ціна на електроенергію, питома вага промисловості у ВВП мало впливають на споживання електроенергії. Значні прямо пропорційні взаємозв'язки виявлені також з показниками питомої ваги відновлюваних джерел енергії, доступності електроенергії, ступенем державного втручання в економіку і свободою ведення бізнесу.

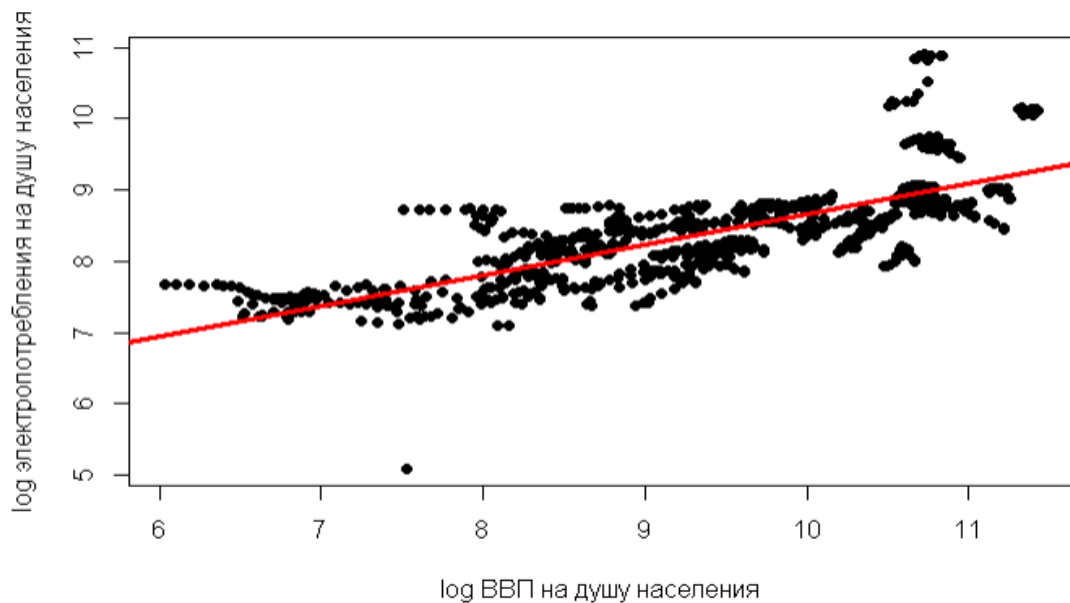


Рис. 1.9 - Залежність споживання електроенергії від ВВП на душу населення

[22]

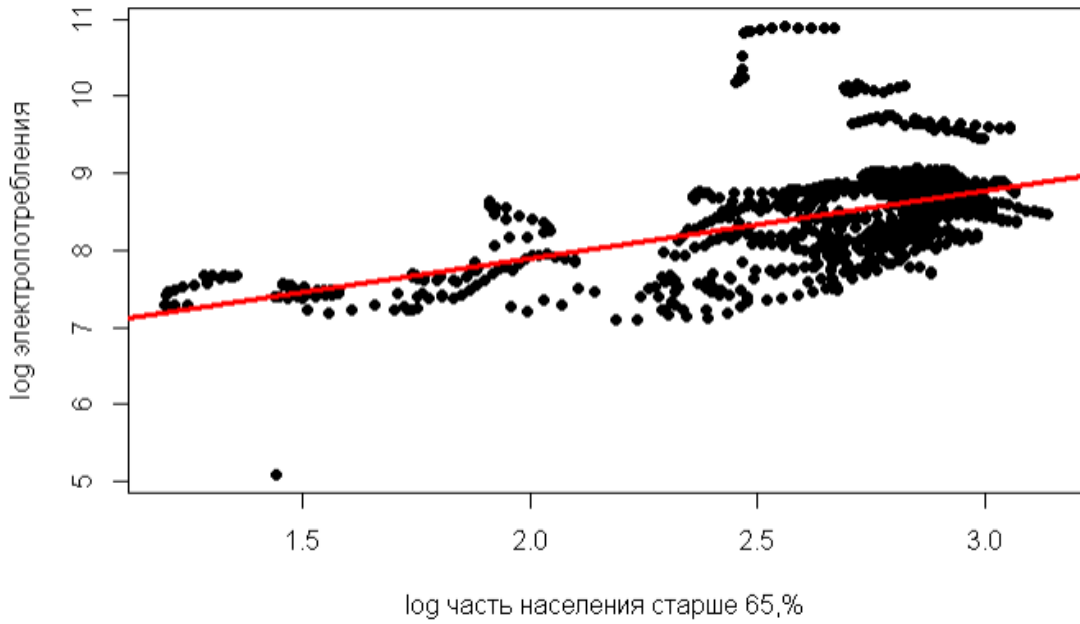


Рис.1.10 - Залежність споживання електроенергії від старіння населення [22]

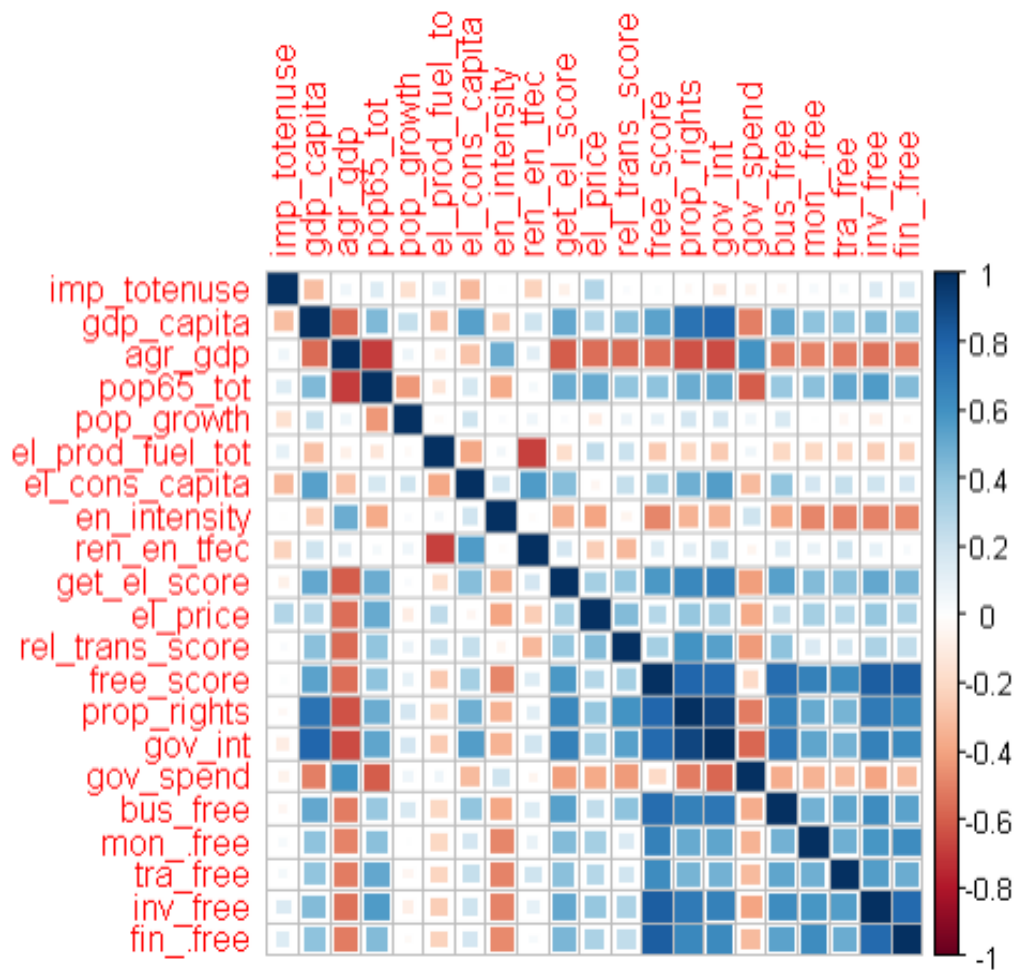


Рис. 1.11 - Кореляційна матриця [23]

В кореляційній матриці та при проведенні моделювання використані наступні позначення змінних факторів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Позначення змінних факторів моделювання

№	Позначка показника	Сутність показника
Макроекономічні відносні показники		
1	gdp_growth	річне зростання ВВП,%;
2	gdp_capita	ВВП на душу населення в постійних цінах 2010 р. доларів США;
3	ind_gdp	питома вага промисловості у ВВП країни, %;
4	agr_gdp	частка сільського господарства у ВВП країни, %.
Демографічні показники		
5	pop_growth	річне зростання населення, %;
6	pop65_tot	питома вага населення старше 65 років.
Показники енергетичного балансу, ефективності і споживання		
7	el_cons_capita	споживання електроенергії КВт на душу населення, обчислюється як сума виробництва електростанцій і теплостанцій, чистого імпорту (імпорт-експорт) за вирахуванням втрат при транспортуванні та технічному обслуговуванні, КВт;
8	en_intensity	енергоємність ринку – міра енергетичної неефективності, яка визначає кількість одиниць енергії в МДж на одиницю ВВП в доларах США за паритетом купівельної спроможності, МДж / 2011 \$ ППС;
9	total	валове виробництво електроенергії, ГВт;
10	imp_totenuse	питома вага енергетичного імпорту у валовому використанні енергії, %;
11	el_prod_fuel_tot	питома вага виробництва електроенергії з нафти, газу і вугілля в валовому виробництві електроенергії, %;
12	tfec	кінцеве споживання енергії, ТДж;
13	ren_el	виробництво електроенергії з поновлюваних джерел, ГВт;
14	ren_en_cons	споживання електроенергії з поновлюваних джерел, ТДж;

Продовження таблиці 1.1

№	Позначка показника	Сутність показника
15	ren_en_tfec	питома вага відновлюваних джерел в кінцевому споживанні енергії, %;
16	ren_el_totel	питома вага відновлюваних джерел у валовому виробництві електроенергії, %;
17	get_el_score	індекс доступності електроенергії за 100-бальною шкалою;
18	rel_trans_score	надійність доставки електроенергії та прозорість тарифів за 100-бальною шкалою;
19	el_price	ціна електрики, центів долара США за 1 кВт;
20	D_el_price	фіктивна змінна, що приймає значення 1, якщо ціна електрики вище середньої, 0 – в іншому випадку.
Показники економічної свободи (за 100-бальною шкалою)		
21	free_score	загальний індекс економічної свободи;
22	prop_rights	індекс захисту прав власників;
23	gov_int	індекс державного втручання в економіку і частки державного сектора;
24	gov_spend	частка витрат держави в загальному споживанні;
25	bus_free	індекс свободи бізнесу;
26	mon_free	індекс монетарної свободи;
27	tra_free	індекс свободи торгівлі;
28	inv_free	індекс інвестиційної свободи;
29	fin_free	індекс фінансової свободи.
Показники особливостей клімату і географічного положення		
30	sun_hours	середньорічна кількість сонячних годин;
31	D_sun_hour	фіктивна змінна, що приймає значення 1, якщо кількість сонячних днів в році вище середнього, 0 – в іншому випадку.

1.3 Економетричне моделювання споживання електроенергії

Забезпечення зростаючого попиту на електроенергію за умови дотримання конкурентних ринкових цін та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище залишаються актуальними викликами для багатьох країн. Однією з умов реалізації ефективної енергетичної політики є розуміння причинно-наслідкових зв'язків між показниками енергетичного сектору, соціально-економічними, кліматичними та регулятивними чинниками. Прогнозування та сценарний аналіз є важливою складовою забезпечення результативності енергетичної політики.

Метою даного дослідження є емпіричний аналіз короткострокових та довгострокових взаємозв'язків між споживанням електроенергії на душу населення та трьома десятками різноманітних факторів, спираючись на дані 1990-2018 рр. з 21 країни колишнього СРСР та Варшавського пакту [27],[28],[29]. Статистичний аналіз та моделювання проведено у пакеті EViews [30].

У роботі використано методологію авторегресійних моделей розподіленого лагу (ARDL), що дозволяють оцінити короткострокові та довгострокові зв'язки:

$$\Delta y_{it} = \theta_i [y_{it-1} - \lambda_i' x_{it}] + \sum_{j=1}^{p-1} \xi_{ij} \Delta y_{it-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_{ij}' \Delta x_{it-j} + \varphi_i + \varepsilon_{it}, \quad (1.3)$$

де: y_{it} – панельні ряди, Δy_{it} – перші різниці y_{it} . x_{it} є k -вектором пояснювальних змінних. p, q – порядок лагу змінних. φ_i – константа. $\theta_i = -(1 - \delta_i)$ є індивідуальним для кожної країни коефіцієнтом пристосування до довгострокової рівноваги. $ECT = [y_{it-1} - \lambda_i' x_{it}]$ є рівнянням корекції помилки. ξ_{ij}, β_{ij}' є коефіцієнти короткострокової динаміки.

Додатково для аналізу динамічних зв'язків між змінними було проведено тестування згідно з підходом Думітреску та Хурліна [31]:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_{ik} y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \pi_{ik} x_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (1.4)$$

$$x_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_{ik} y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \pi_{ik} x_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (1.5)$$

де K – порядок лагу змінних; γ_{ik} та π_{ik} – коефіцієнти залежної та пояснювальних змінних, що змінюються за крос-секціями та є постійними у часі.

У результаті моделювання за алгоритмами (1.1-1.3) було підтверджено, що у короткостроковій перспективі (від одного до трьох років) на рівень споживання електроенергії на душу населення найбільше впливають такі показники: ВВП та державні витрати на душу населення, рівень свободи згідно з [29], ціни на електроенергію, викиди CO_2 у атмосферу на душу населення, населення старше 65 років, рівень виробництва та споживання енергії з відновлюваних джерел. При цьому, каузальності не виявлено між споживанням електроенергії та середньорічною температурою, імпортом електроенергії, а також валовою доданою вартістю промисловості у ВВП. У той же час минулі значення споживання електроенергії на душу населення покращують прогнозування таких змінних, як: ВВП на душу населення, споживання енергії з відновлювальних джерел, середньорічна температура, викиди CO_2 у атмосферу.

Виявлено, що оцінки та знаки деяких коефіцієнтів моделей різняться для повної вибірки даних, що містить більшість країн з перехідною економікою, та вибірки, що містять дані виключно розвинутих країн. Це пояснюється більшою активністю країн з високим рівнем доходу у розвитку відновлюваної енергетики та впровадженню енергоефективних технологій, що зменшують негативний вплив на навколишнє середовище.

Рівняння (1.6)-(1.7) представляють моделі ARDL, оцінені для повної панелі даних та панелі країн, відповідно:

$$\begin{cases} \Delta \ln y_{it} = -0.24[0.72 \ln x_{it} + 0.19 \ln z_{it}] + 0.27 \Delta \ln x_{it} + 0.13 \Delta \ln z_{it} - 0.004 \\ \Delta \ln x_{it} = -0.10[-0.67 \ln y_{it} - 0.52 \ln z_{it}] + 0.21 \Delta \ln x_{it-1} + 0.52 \Delta \ln y_{it} + \\ + 0.10 \Delta \ln y_{it-1} - 0.10 \Delta \ln z_{it} + 0.06 \Delta \ln z_{it-1} + 0.16 \\ \Delta \ln z_{it} = -0.09[-0.59 \ln x_{it} + 0.60 \ln y_{it}] - 0.68 \Delta \ln x_{it} + 0.48 \Delta \ln y_{it} - 0.004 \end{cases} \quad (1.6)$$

$$\begin{cases} \Delta \ln y_{it} = -0.3[0.95 \ln x_{it} + 0.28 \ln z_{it}] + 0.17 \Delta \ln x_{it} + 0.03 \Delta \ln z_{it} - 0.21 \\ \Delta \ln x_{it} = -0.4[0.43 \ln y_{it} + 0.5 \ln z_{it}] + 0.23 \Delta \ln x_{it-1} + 0.4 \Delta \ln y_{it} + 0.03 \Delta \ln z_{it} + 0.6 \\ \Delta \ln z_{it} = -0.19[-2.08 \ln x_{it} + 2.31 \ln y_{it}] - 0.23 \Delta \ln x_{it} - 0.26 \Delta \ln y_{it} + 0.12 \end{cases} \quad (1.7)$$

де $\Delta \ln y_{it}$ – перші різниці логарифму споживання на душу населення, $\Delta \ln x_{it}$ – перші різниці логарифму ВВП на душу населення, $\Delta \ln z_{it}$ – перші різниці логарифму викидів CO_2 на одиницю ВВП.

Отримані оцінки показують, що у розвинутих країнах збільшення споживання електроенергії у довгостроковій перспективі призводить до збільшення ВВП на душу населення, у той час як у країнах, що розвиваються, навпаки, до його зменшення. Пояснення цього феномену часто криється у неефективному використанню енергетичних ресурсів та субсидіюванням відновлювальних джерел енергії в країнах, що розвиваються.

Результати дослідження вказують на необхідність збалансування та трансформації ринку електроенергії у напрямку підвищення ефективності споживання та виробництва електроенергії, розвитку інфраструктури відновлюваних джерел енергії, прозорих правил на ринку, економічно обґрунтованих цін та конкуренції. Робота може бути продовжена аналізом впливу економічних криз та циклічності на споживання електроенергії в країнах з різним рівнем розвитку.

2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОРОТКОТЕРМІНОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИМИ ЗАКЛАДАМИ

2.1 Обґрунтування організаційно-технічних засад створення дворівневої інтегральної системи короткострокового прогнозування та моніторингу електроспоживання

Однією з найважливіших проблем, що стоять перед енергетикою України, є організація точного і достовірного комерційного обліку електроенергії та потужності на оптовому і роздрібному ринках електроенергії. Впровадження ринкових відносин потребує якісно нових технічних і програмних засобів обліку, систем контролю, передавання та оброблення інформації.

В Україні реформування Оптового ринку електричної енергії (ОРЕ) пов'язане з упровадженням моделі ринку двосторонніх договорів, балансуєчого ринку електроенергії та на подальшому етапі – біржі електроенергії. Реформований (лібералізований) оптовий ринок електроенергії не зможе ефективно працювати без запровадження автоматизованої системи комерційного обліку і контролю виробництва, постачання і споживання електроенергії в реальному масштабі часу.

Необхідність невідкладного завершення роботи по впровадженню АСКОВЕ на ОРЕ України зумовлено значним небалансом обліку виробленої та спожитої електроенергії, що спричиняє додаткові втрати електроенергії. Це зумовлено також тим, що значну кількість точок обліку електроенергії до впровадження сучасних автоматизованих систем обліку електроенергії було оснащено різними за типами і класами точності приладами обліку, більша половина яких застаріла морально і фізично. Крім цього майже 40% точок обліку електроенергії не мало дублюючих приладів [33].

Сучасна торгівля енергією та енергоносіями заснована на використанні системи автоматизованого обліку електроенергією, яка містить мінімальний відсоток людського фактору у зборі, обробці та передачі даних з підприємства та гарантує чіткий та об'єктивний облік. Саме з цією метою споживачі створюють на об'єктах автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) . Ця система містить комплекс технічних, алгоритмічних, математичних та програмних засобів та використовується для [34]:

- контролю потужності, яка споживається в часи максимуму навантаження;
- підвищення точності обліку;
- обліку споживання електроенергії;
- контролю параметрів вимірювальних приладів;
- перерозподілу споживання електроенергії, планування добового графіку роботи;
- накопичення та зберігання даних про споживання електроенергії в базі даних.

Переваги організації обліку електроенергії за допомогою автоматизованих систем обліку, контролю та управління досить відомі. Крім функції обліку, ці системи також здійснюють контроль та управління електроспоживанням.

Метою застосування АСКОЕ є [34]:

1. Точний вимір кількості електроенергії, що передана споживачеві.
2. Досягнення максимальної економії електроенергії.
3. Використання інтегрованих та розрахункових даних та графіків.
4. Підвищення оперативності управління режимами електроспоживання.
5. Зменшення обсягу збору, обробки отриманих даних.

6. Оптимізація режимів електроспоживання.

7. Моніторинг величин енергії та потужності .

Первинною ланкою АСКОЕ є лічильники електроенергії. Найчастіше їх встановлюють у місцях, де можливо організувати комерційний облік, що забезпечить його достовірність і повноту за умови мінімальних витрат на його облаштування. Такий підхід не завжди відповідає цілям повного забезпечення оперативного контролю за енерговитратами струмоприймачів. Крім того, здебільшого АСКОЕ фіксує лише поточні обсяги електроспоживання без функції аналізу його відповідності нормативним показникам, а, тим паче, без фіксації невідповідностей. Вирішенню зазначених проблем має слугувати створення та функціонування автоматизованих систем короткострокового прогнозування та моніторингу електроспоживання струмоприймачами і їх системами з можливою організацією зняття поточних показників енергоспоживання у режимі «on-line» з їх аналітичною підтримкою розрахунку та порівняння контрольних цифр енергоефективності технологічних процесів.

Згідно з [32] інформаційні системи енергоспоживання повинні включати дві основні функції: моніторинг поточного споживання енергії та визначення прогнозних показників енергоспоживання на наперед визначений період. Друга функція і є найбільш проблематичною щодо правильного (коректного) визначення лімітів енергоспоживання. Для їх розрахунку наразі користуються в основному результатами (масивами) статистичних досліджень.

Алгоритми розрахунків далеко не завжди враховують поточно-змінні фактори впливу на використання електроенергії. А вони можуть бути суттєвими. Така ситуація може впливати на інтерпретацію результатів енергоспоживання та дій персоналу або діагностування технічного стану обладнання. Наприклад, у [35] визначено загальний норматив функціонування системи освітлення у закладах освіти 250 годин на рік, який необхідно застосовувати при розрахунках лімітів енергоспоживання

системами освітлення закладів. Такий підхід є дуже загальним і не враховує багато чинників (особливості режиму функціонування закладів, кліматичних умов і т. і.). Також зазначена методика не стимулює персонал до економії енергоресурсу.

Аналізуючи [36], [37], для побудови математичної моделі електроспоживання об'єкта необхідно уточнити методику обрахування величин нормального енергоспоживання, яка б враховувала короткотермінові зміни технологічного процесу та зовнішні змінні умови його застосування.

2.2 Методичні підходи до обрахування показників нормального електроспоживання з урахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів впливу

Для навчального закладу алгоритм визначення обсягів споживання електроенергії системою освітлення аудиторій, де проходять лекційні, практичні або інші заняття навчального процесу має ґрунтуватися на використанні відомих формул. Тобто, користуючись результатами проведених енергетичних обстежень приміщень паспортизуються системи освітлення приміщень. Визначається установлена електрична потужність $P_{осв.уст.}$, рівні освітленості (природної та штучної).

Для визначення протяжності періодів $t_{осв.}$ необхідно скористатися розкладом занять, у якому зазначається вид занять, місце їх проведення, час проведення та протяжність (у годинах). Виходячи з аналізу статистичних даних минулих періодів та користуючись короткостроковими прогнозними показниками майбутніх метеорологічних умов визначається необхідність функціонування систем штучного освітлення в тому чи іншому періоді наступної доби для кожного навчального приміщення, тобто визначається значення $\kappa_{клім.}$ (1 або 0) Структурну схему цього алгоритму наведено на рис. 2.1.

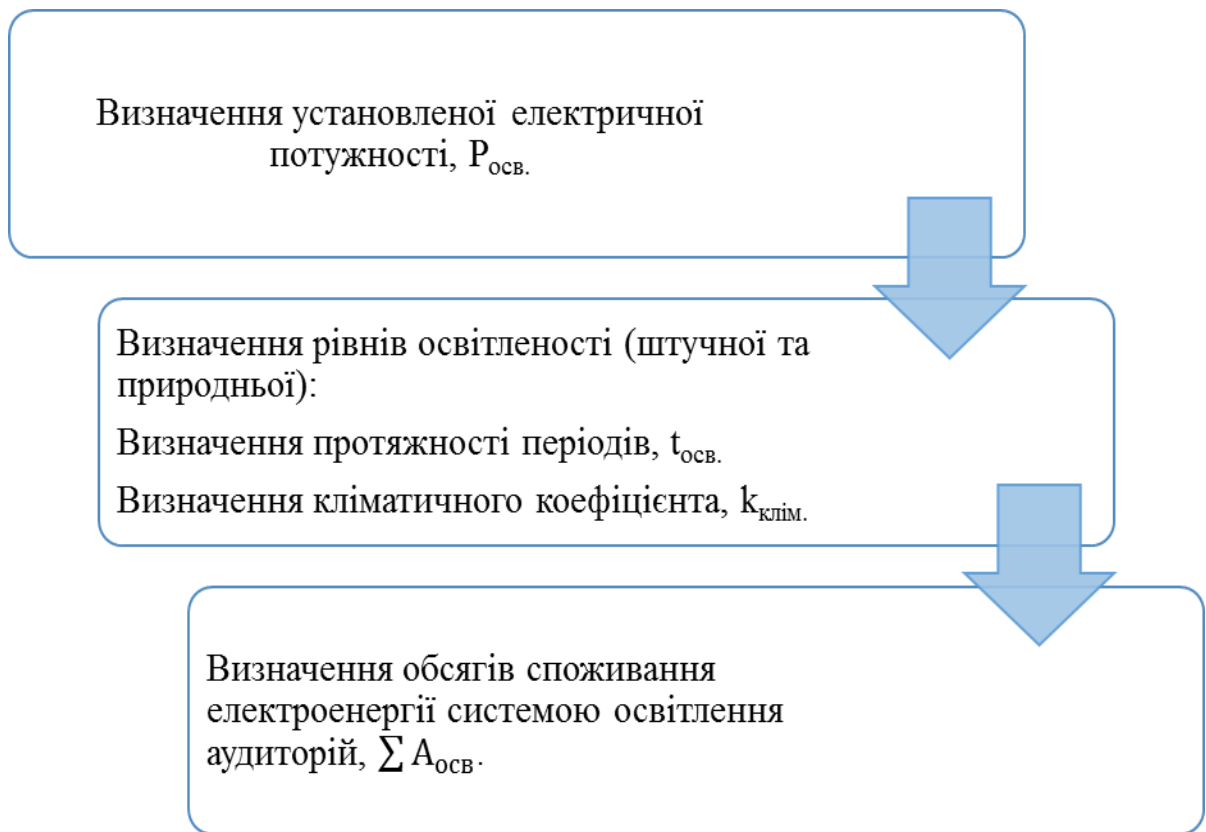


Рис. 2.1 - Структурна схема алгоритму розрахунку прогнозного ліміту електроспоживання системами освітлення

Обсяги прогнозного електроспоживання систем штучного освітлення приміщень загального користування $A_{осв.заг.кор.}$ (коридори, вбиральні, сходи та інші) мають визначатися за аналогічним алгоритмом, однак слід враховувати деякі особливості. Нормований рівень освітленості таких приміщень значно нижчий від навчальних. У багатьох випадках, при розрахунках можна виключити вплив хмарності упродовж світлового дня, а при визначенні $t_{осв.}$ можливо орієнтуватися на мінімальні значення освітленості, розклад функціонування закладу (тривалість роботи упродовж доби) та календарні показники тривалості світлового дня. Час функціонування системи освітлення буде складатися з двох складових: від початку роботи закладу до настання нормованого значення освітленості (перша половина дня) $t_{осв.1}$ та від моменту зниження освітленості нижче

нормованого рівня до закінчення робочого дня та виходу персоналу за межі будівлі (друга половина дня) $t_{осв.2}$. Тоді розрахунок обсягів прогнозного електроспоживання системами штучного освітлення приміщень загального користування має визначатися за виразом:

$$A_{осв.заг.кор.} = P_{осв.1факт.} \cdot t_{осв.1} + P_{осв.2факт.} \cdot t_{осв.2} \quad (2.1)$$

де $P_{осв.1факт.}$, $P_{осв.2факт.}$ – установлена або фактична електрична потужність струмоприймачів системи штучного освітлення, що функціонують у першій та другій половині робочого дня установи. За умови, якщо $P_{осв.1факт.} = P_{осв.2факт.}$ і її можна представити як $P_{осв.заг.кор.}$:

$$A_{осв.заг.кор.} = P_{осв.заг.кор.} (t_{осв.1} + t_{осв.2}) \quad (2.2)$$

У разі відсутності природної освітленості у приміщеннях вбиралень, виходячи з аналізу проведених досліджень масиву статистичних даних доцільно прийняти термін перебування у них одного відвідувача у середньому 7...10 хвилин, тобто близько 0,16 години. Однак, для більшості навчальних закладів та промислових підприємств таке планування вбиралень є доволі рідкісним і у подальших розрахунках до уваги не прийнято.

Обсяги споживання електричної енергії системи аварійного освітлення $A_{осв.авар.}$ пропонується визначати традиційним розрахунком, який враховує установлену потужність її струмоприймачів $P_{осв.авар.}$ та час функціонування упродовж доби $t_{осв.авар.}$ у відповідності до чинних правил та нормативних документів:

$$A_{осв.авар.} = P_{осв.авар.} \cdot t_{осв.авар.} \quad (2.3)$$

Споживання електричної енергії системою освітлення адміністративних, побутових та допоміжних приміщень визначається функціонуванням системи загального освітлення та місцевого освітлення.

Обсяги споживання електричної енергії $A_{осв.адмін.}$ пропонується визначати за аналогією з виразом (2.3), який враховує установлену потужність

струмоприймачів $P_{осв.адмін.}$ та час функціонування закладу упродовж доби. Час функціонування системи освітлення буде складатися з двох складових: від початку роботи підрозділу закладу, або присутності персоналу у приміщенні, до настання нормованого значення освітленості (перша половина дня) $t_{осв.1адмін.}$ та від моменту зниження освітленості нижче нормованого рівня до закінчення робочого дня та виходу персоналу за межі приміщення (друга половина дня) $t_{осв.2адмін.}$:

$$A_{осв.адмін.} = P_{осв.адмін.} (t_{осв.1адмін.} + t_{осв.2адмін.}) \quad (2.4)$$

Розрахунок обсягів споживання електричної енергії при проведенні навчального процесу має виконуватися з урахуванням величин встановленої потужності струмоприймачів $P_{навч.}$, які задіяні у навчальних технологіях (комп'ютери, їх допоміжні пристрої, медіапроектори, діючі моделі, інше обладнання) та періоду часу, протягом якого вони використовуються на визначеному занятті та у визначеній аудиторії $t_{навч.}$. За результатами проведеної паспортизації та визначення переліку діючих струмоприймачів має бути визначена «енергоозброєність» аудиторії, тобто встановлена потужність струмоприймачів, задіяних у навчальному процесі. Час їх використання залежить від виду занять (лекційні, практичні та інші), а також від дисципліни та її тематики. З метою спрощення алгоритму автоматизованого розрахунку прогнозованих обсягів електроспоживання доцільно оперувати відносною величиною k_3 часу використання струмоприймачів $t_{навч.}$ до загального (календарного) часу проведення заняття $t_{календ.}$, яка розраховується як коефіцієнт завантаження (використання) за виразом:

$$k_3 = t_{навч.} / t_{календ.} \quad (2.5)$$

Тоді розрахунковий обсяг споживання електричної енергії струмоприймачем протягом заняття $A_{навч.}$ визначиться за виразом:

$$A_{\text{навч.}} = P_{\text{навч.}} \cdot t_{\text{календ.}} \cdot K_3 \quad (2.6)$$

Для розрахунку прогнозованих обсягів споживання електричної енергії необхідно:

Крок 1 - визначитися кодом учбового приміщення j ($j = 1 \dots n$);

Крок 2 - визначити перелік струмоприймачів, що знаходяться у ньому, їх установлену електричну потужність $P_{\text{інавч.}}^j$, де i – номер струмоприймача у переліку приміщення j ($i = 1 \dots n$);

Крок 3 - визначитися кодами учбових дисциплін, що мають проводитися у приміщеннях j та видами занять (лекційні, практичні і інші);

Крок 4 – визначити перелік струмоприймачів потужністю P_i^j , що застосовуються на визначеному занятті за визначеною дисципліною, розрахувати коефіцієнт їх завантаження K_{zi} ;

Крок 5 – використовуючи вираз (2.6), розрахувати обсяг споживання електроенергії i -м струмоприймачем $A_{\text{навч.і}}$ та за наявним переліком струмоприймачів для приміщення j визначити сумарний розрахунковий обсяг споживання електроенергії $A_{\text{навч.і}}^k$ при проведенні занять за визначеною дисципліною:

$$A_{\text{навч.і}}^k = \sum_{i=1}^n P_{\text{інавч.}}^j \cdot K_{zi} \cdot t_{\text{календ.}} \quad (2.7)$$

Виходячи з (2.7), загальний добовий обсяг споживання електричної енергії $A_{\text{навч.і}}$ (без врахування споживання електроенергії на освітлення) при проведенні занять у аудиторії j має визначатися як сума обсягів споживання на кожному занятті згідно учбового розкладу навчального процесу:

$$A_{\text{навч.і}} = \sum_{k=1}^n A_{\text{навч.і}}^k \quad (2.8)$$

Основному технологічному процесу навчання під час аудиторних занять у багатьох випадках мають передувати допоміжні підготовчі процеси

(зберігання та приготування препаратів, процеси налаштування обладнання та інші), які проводяться у т. ч. у відокремлених приміщеннях. Розрахунок добових обсягів споживання електроенергії при проведенні таких процесів $A_{навч.доп.j}$ (без урахування споживання електроенергії на освітлення) має враховувати установлену електричну потужність обладнання $P_{інавч.доп.j}$, що використовується для проведення допоміжного процесу, коефіцієнт його завантаженості K_{zi} та протяжність процесу у часі $t_{календ.}$. Здебільшого виконання допоміжних процесів збігається у часі з розкладом функціонування закладу, тому їх протяжність $t_{календ.}$ має відповідати терміну робочого дня. Добовий обсяг споживання електроенергії для проведення допоміжних процесів за приміщеннями (без врахування споживання електроенергії на освітлення) має розраховуватися за аналогією з (2.6). Загальний добовий обсяг споживання електроенергії при проведенні допоміжних процесів, за аналогією з (2.8):

$$A_{навч.доп.j} = \sum_{k=1}^n A_{навч.доп.j}^k \quad (2.9)$$

Прогнозний обсяг споживання електричної енергії системами енергозабезпечення будівель та процесів, а також їх підтримки (водозабезпечення, теплозабезпечення, водовідведення та інші) $A_{ен.заб.j}$ має розраховуватися, виходячи з установленої електричної потужності їх струмоприймачів $P_{іен.заб.j}$ та періоду часу функціонування $t_{jкаленд.}$. За аналогією з попередніми розрахунками в цьому випадку доцільно знову ж таки використати коефіцієнт їх завантаженості $K_{зіен.заб.}$. Загальний розрахунковий добовий обсяг споживання електроенергії системами енергозабезпечення будівель та процесів, за аналогією з (2.9):

$$A_{ен.заб.} = \sum_{j=1}^n A_{ен.заб.j} \quad (2.10)$$

Розрахунковий прогнозний обсяг споживання електричної енергії струмоприймачами підрозділів, що забезпечують виконання адміністративної діяльності та побутових потреб закладу $A_{адмін.j}$ має розраховуватися, виходячи з установленної електричної потужності їх струмоприймачів $P_{іадмін.}^j$ та періоду часу функціонування $t_{jкаленд.}$. Для проведення розрахунків доцільно також використати коефіцієнт їх завантаженості $K_{зіадмін.}$. Загальний розрахунковий добовий обсяг споживання електроенергії струмоприймачами підрозділів, що забезпечують виконання адміністративної діяльності та побутових потреб закладу, за аналогією з (1.3.10):

$$A_{адмін.} = \sum_{j=1}^n A_{адмін.j} \quad (2.11)$$

Обсяг прогнозного споживання електричної енергії струмоприймачами системи зовнішнього освітлення $A_{осв.зовн.}$ пропонується розраховувати виходячи з установленної сумарної електричної потужності її струмоприймачів $\sum_{i=1}^n P_{осв.зовн.i}$, де n – їх кількість, та календарного періоду часу функціонування системи $t_{календ.}$. Зважаючи на змінний за сезоном період добового використання зовнішнього освітлення, при проведенні розрахунків доцільно використати коефіцієнт її завантаженості $K_{зосв.зовн.}$, який має бути змінним у залежності від пори року та довготи світлового дня і має розраховуватися за виразом: $K_{зосв.зовн.} = t_{осв.зовн.} / t_{календ.}$, де $t_{осв.зовн.}$ - нормований, або прийнятий щодобовий період функціонування системи зовнішнього освітлення.

Тоді:

$$A_{осв.зовн.} = \sum_{i=1}^n P_{осв.зовн.i} \cdot K_{зосв.зовн.} \cdot t_{календ.} \quad (2.12)$$

Згідно з планами проведення поточних ремонтів будівель та систем, їх підготовки до роботи у осінньо-зимовий період у навчальних закладах мають проводитися заходи щодо їх виконання.

Планування трудових, матеріальних та енергетичних витрат має виконуватися з урахуванням терміну проведення робіт, переліку струмоприймачів, які застосовуються у таких технологіях та їх установленій електричній потужності. Вбачається доцільним, як додаток до кошторису на виконання зазначених робіт, розробляти окремо специфікацію, у якій має бути відображено перелік струмоприймачів з визначеною їх установленною електричною потужністю та термін використання. Планування обсягів споживання електричної енергії при проведенні ремонтних робіт має виконуватися при розробленні та оформленні календарного графіку виконання робіт. Прогнозовані обсяги добового електроспоживання за цими видами робіт мають бути ураховані при формуванні короткотермінового прогнозного ліміту споживання електричної енергії закладом або його підрозділом, за яким у подальшому проводиться інструментальна фіксація обсягів поточного споживання електроенергії.

За аналогією з (2.12) вони мають розраховуватися:

$$A_{рем.} = \sum_{i=1}^n P_{рем.i} \cdot K_{зрем.i} \cdot t_{календ.} \quad (2.13)$$

де $A_{рем.}$ - прогнозний обсяг добового споживання електроенергії за даним видом виконуваних робіт, $\sum_{i=1}^n P_{рем.i}$ - сума встановлених електричних потужностей i -х струмоприймачів, які мають бути задіяні при виконанні робіт у розрахунковий період прогнозування, $K_{зрем.i} = t_{рем.i} / t_{календ.}$ - коефіцієнт завантаженості i -го струмоприймача.

Обсяги прогнозного споживання електричної енергії при проведенні робіт, пов'язаних з виконанням замовлень сторонніх організацій за своєю структурою доцільно розділяти на діяльність у офісних приміщеннях з застосуванням офісного обладнання та у виробничих приміщеннях, де

відбуваються технологічні процеси, пов'язані з виготовленням продукції матеріального характеру (виготовлення різноманітних виробів, проведення ремонтних робіт і т. і.) з використанням промислового обладнання. За такою структурою пропонується розрахунки проводити поелементно: добове споживання електроенергії при функціонуванні системи освітлення $A_{осв.догов.}$ та офісного обладнання (комп'ютери та інші пристрої) $A_{офис.обл.догов.}$:

$$A_{осв.догов.} = \sum_{i=1}^n P_{осв.догов.i} \cdot (t_{осв.1адмін.} + t_{осв.2адмін.}) \quad (2.14)$$

де $\sum_{i=1}^n P_{осв.догов.i}$ - сумарна установлена потужність струмоприймачів системи освітлення, які розташовані у відокремлених приміщеннях, що використовуються для виконання замовлень сторонніх організацій;

З метою спрощення побудови алгоритму розрахунку прогнозованих обсягів споживання електроенергії системами штучного освітлення пропонується структурно та у часі зв'язати їх з розкладом занять навчального процесу. Тоді доцільним є розглядати паралельно та одночасно функціонування систем освітлення у аудиторних приміщеннях, у приміщеннях, де проводяться допоміжні процеси, у приміщеннях загального користування, у адміністративних та побутових приміщеннях, а також системи зовнішнього освітлення. Для цього добовий час функціонування закладу маємо розділити на періоди, які відповідають протяжності аудиторних занять та перерв між ними. Традиційно структура розкладу учбового дня будується з визначенням назви дисципліни, виду заняття, назви або номеру аудиторії, часу та терміну проведення заняття. Додатково необхідно до цієї інформації додати відомості (як базові) про установлену

потужність системи освітлення приміщення $\sum_{i=1}^n P_{осв.i}$ Розрахунковий

кліматичний коефіцієнт $K_{іклім.}$ має бути визначено за кожним періодом проведення занять згідно розкладу та у відповідності до кліматичних умов (довготи світлового дня) на дату їх проведення. Аналогічно до викладеного

будується алгоритм розрахунку прогнозного електроспоживання іншими, вказаними вище, системами освітлення приміщень. Обсяги прогнозного споживання електроенергії системами освітлення приміщень, у яких проводяться роботи щодо виконання замовлень сторонніх організацій можна розраховувати за наведеною послідовністю, або (якщо приміщення функціонально та організаційно є відокремленими від основної діяльності закладу) за укрупненими показниками з урахуванням їх $\sum_{i=1}^n P_{осв.i}$, та $K_{іклім.}$, а також зважаючи на тривалість робочого дня у них. Розрахунок прогнозних добових обсягів споживання електроенергії системами аварійного освітлення має розраховуватися за чинними нормативами з охорони праці та з урахуванням конструктивних особливостей будівлі і режиму функціонування закладу. Загальний обсяг прогнозного добового споживання електроенергії системами освітлення має розраховуватися як сума описаних складових.

Корегування розрахункових обсягів добового споживання електроенергії системами освітлення з урахуванням поточної кліматичної та метеорологічної ситуації пропонується проводити шляхом додаткового уточнення значення $K_{іклім.}$ для i -го періоду навчального процесу. Такий розрахунок має виконуватися щодобово за фактичними показниками метеорологічної ситуації минулої доби.

Зрозуміло, що прогнозний розрахунковий обсяг споживання електроенергії має розраховуватися як сума визначених складових. Зважаючи, що одними з основних споживачів у навчальному закладі є струмоприймачі системи освітлення, тому, виходячи з аналізу вірогідності метеопрогнозу, раціональним вбачається період короткотермінового прогнозування одна доба. Режим функціонування навчального закладу здебільшого підпорядковано технологіям навчального процесу, який регламентовано розкладом занять.

Отже, для формування профілів добових прогнозних обсягів споживання електроенергії пропонується за основу прийняти структуру енергоспоживання за часовими проміжками проведення занять.

2.3 Інформаційні блоки алгоритму прогнозування споживання електроенергії у навчальному процесі

Основними інформаційними блоками, з яких має формуватися у подальшому база даних для розрахунку прогнозного ліміту електроспоживання, мають стати:

- паспорт приміщення з визначенням його номеру:
 - встановлена потужність струмоприймачів системи освітлення;
 - встановлена потужність струмоприймачів навчального процесу.
- паспорт навчальної дисципліни:
 - її назва та вид занять;
 - встановлена потужність струмоприймачів, які використовуються на даному виді занять;
 - коефіцієнт завантаження струмоприймачів у період проведення заняття.
- розклад занять:
 - календарні дати;
 - часові проміжки проведення занять;
 - визначення назви дисципліни та місця проведення заняття;
 - базове значення кліматичного коефіцієнта на кожен проміжок проведення занять у залежності від дати.

Уточнення кліматичного коефіцієнта має проводитися у автоматичному режимі з урахуванням прогнозної та поточної метеорологічної ситуації, яка оцінюється з використанням інформації місцевої метеостанції (наявної у інформаційних мережах Internet). Графічна інтерпретація основних інформаційних блоків алгоритму розрахунку

прогнозних обсягів споживання електроенергії у навчальному процесі представлено на рис 2.2

Для спрощення алгоритму розрахунку обсягів прогнозного споживання електроенергії системою освітлення адміністративних, побутових та допоміжних приміщень доцільним вбачається визначати як базові протяжності періодів часу функціонування системи освітлення $t_{осв.1адмін.}$ та $t_{осв.2адмін.}$ кратними (або відповідними) періодам розкладу занять .

Паспорт приміщень	Паспорт навчальної дисципліни	Розклад занять
<ul style="list-style-type: none"> • Номер аудиторії (код); • Установлена потужність системи освітлення, $P_{осв.уст}$; • Установлена потужність струмоприймачів навчального процесу, $P_{нав.уст}$; 	<ul style="list-style-type: none"> • Назва; • Вид діяльності; • Установлена потужність струмоприймачів, які використовуються на даному виді занять; • Коефіцієнт завантаження струмоприймачів у період проведення заняття; 	<ul style="list-style-type: none"> • Календарна дата; • Часові проміжки проведення занять; • Назви дисципліни; • Місця проведення; • Базове значення кліматичного коефіцієнта (в залежності від метеопрогнозу);

Рис. 2.2 - Структурна схема інформаційних блоків алгоритму розрахунку прогнозних обсягів споживання електроенергії

3 ФОРМУВАННЯ ТА АПРОБАЦІЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОРОТКОТЕРМІНОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СТРУМОПРИЙМАЧАМИ

3.1 Програмно-алгоритмічна та апаратна частини комплексу автоматизованої системи короткотермінового прогнозування та моніторингу споживання електричної енергії струмоприймачами

Система моніторингу електроспоживання складається з програмно-алгоритмічної і апаратної частин. В свою чергу програмно-алгоритмічна частина поділяється на дві складові: алгоритми прогнозу споживання електроенергії і алгоритми аналізу результатів. Більш детальний опис складу системи і структурної схеми процесу моніторингу ілюструє рис. 3.1

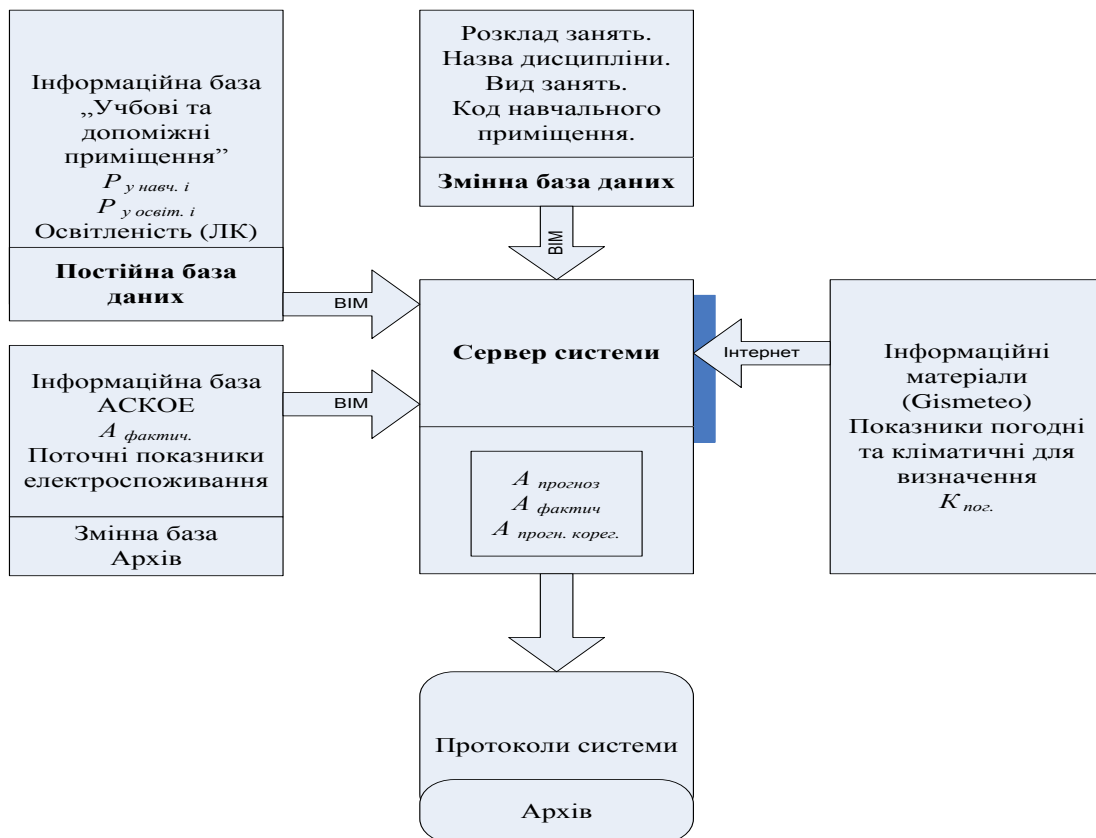


Рис. 3.1 - Структурна схема інформаційних блоків алгоритму розрахунку прогнозних обсягів споживання електроенергії у навчальному процесі.

Модуль розрахунку споживання електричної енергії (рис. 3.2) базується на моделях короткострокового і довгострокового прогнозування споживання електричної енергії об'єктом. Витрата електроенергії завжди обумовлена двома тенденціями: електроенергія яка необхідна для виконання технологічного процесу (роботи об'єкта за призначенням) та електроенергія, яка витрачається на компенсацію впливу зовнішніх факторів. Для розрахунку планового прогнозу електроспоживання в системі моніторингу повинні бути введені характеристики всіх струмоприймачів, які є в наявності на об'єкті. Під характеристиками розуміють: потужність струмоприймача та місце його підключення.

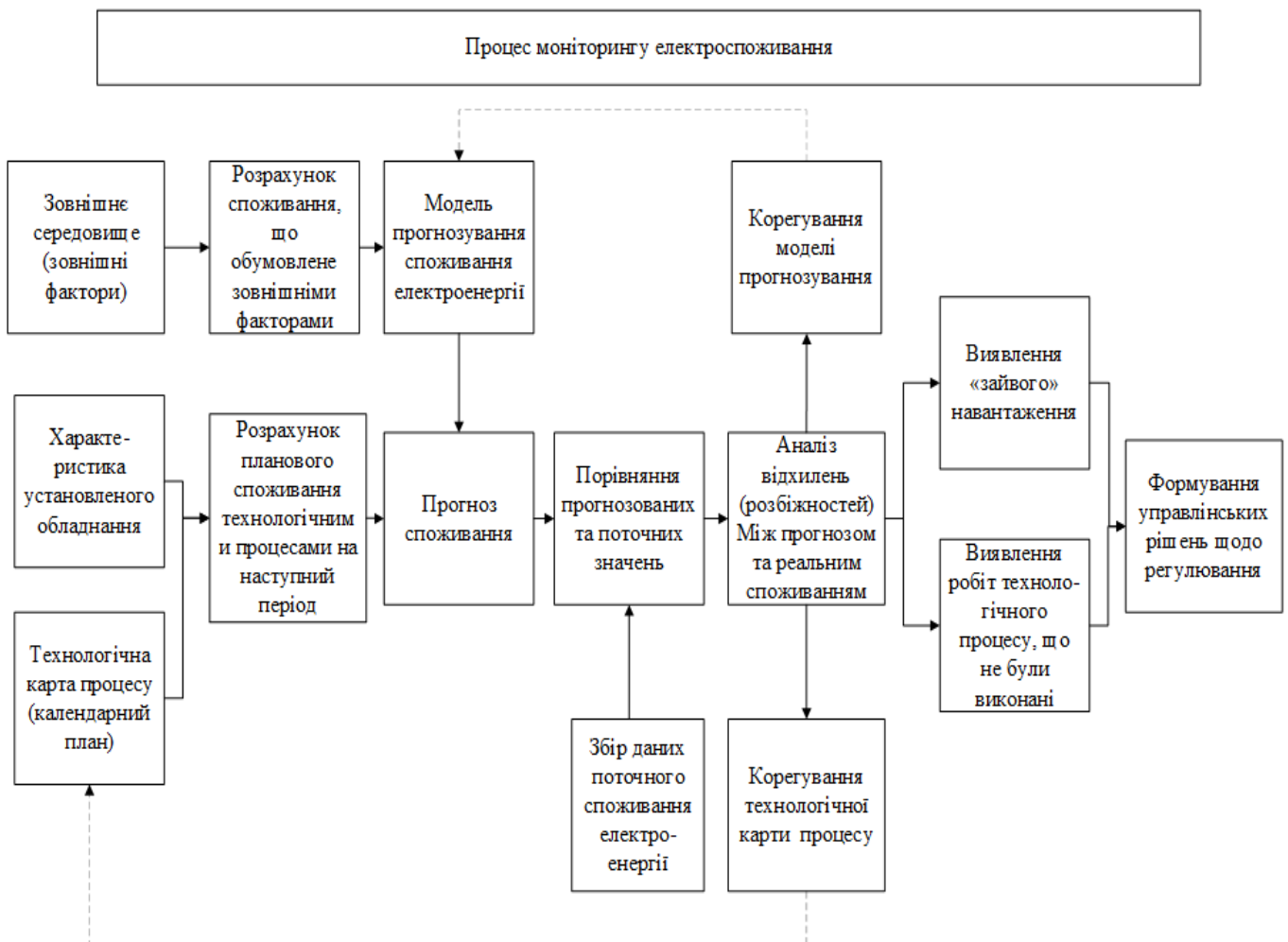


Рис.3.2 - Структурна схема процесу моніторингу електроспоживання.

Також для визначення планового електроспоживання потрібно мати карту технологічного процесу (розкладу занять). Карта являє собою

послідовність операцій, що будуть виконуватись у період, на який складається прогноз.

Крім цього, повинні бути в наявності дані про те яке обладнання буде задіяне для виконання цих операцій і час, впродовж якого, воно буде працювати. Якщо об'єкт це заклад освіти, то у якості карти технологічного процесу виступає розклад занять з зазначенням у ньому виду заняття, місця та часу його проведення, а також, бажано, теми заняття. Маючи інформацію щодо потужності струмоприймачів та послідовності технологічного процесу проводиться розрахунок щодо кількості спожитої електричної енергії на період планування.

Частина електроенергії, що витрачається об'єктом споживання, обумовлена зовнішніми факторами, які не можуть бути враховані детерміністичною складовою тому, що значення цих факторів може бути випадковим, а також спостерігається взаємний вплив цих факторів один на одного. До таких факторів, перш за все, слід віднести природні явища: хмарність, температура повітря, напрям на швидкість вітру, тощо, які у сукупності не можна детерміністично врахувати при розрахунку споживання електроенергії. Також, у таку групу факторів слід віднести і період доби (день, ніч, сутінки). Маючи ретроспективні дані попереднього споживання, та дані по значенню показників факторів за попередній час, проводиться «навчання» моделей короткострокового та довгострокового споживання електричної енергії. Для успішної роботи модулю прогнозування споживання електроенергії необхідно мати: 1) ретроспективні дані споживання електроенергії на яких проводиться «навчання» моделей; 2) прогнози значень зовнішніх факторів (наприклад, прогноз погоди) для успішного створення прогнозу споживання; 3) дані споживання за минулий період прогнозу, що постійно оновлюються. Це стосується застосування як розрахункового методу, так і створення математичних моделей.

За умови використання математичних моделей для прогнозування обсягів споживання електроенергії основні етапи моделювання та прогнозування включають:

1. Збір даних для моделі (дивись рис. 3.3):

- дані електроспоживання з лічильників та датчиків.

- дані щодо запланованого споживання з наперед визначеним навантаженням.

- дані зміни погоди та календарні ефекти.

- показники енергоефективності за об'єктом.

2. Виділення фіксованої та випадкової компонент часових рядів електроспоживання.

3. Обробка та трансформація даних, робота з аномаліями.

4. Моделювання за класичними підходами аналізу часових рядів (моделі векторної авторегресії та ковзного середнього ARIMA, моделі експоненційного згладжування, векторні моделі авторегресії VAR та коінтеграційні моделі корекції похибки VEC для пошуку довгострокових та короткострокових зв'язків). Перевагою класичних підходів є їх простота, легкість інтерпретації та можливість використання для невеликих вибірок. Ідеальні для пояснення причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування одночасно.

5. Моделювання за ансамблевими підходами машинного навчання (нейронні мережі, моделі градієнтного бустінгу, випадкових лісів тощо). Зазначені методи покращують точність прогнозу ітераційно за рахунок навчання на ансамблі простих моделей. Недоліком використання є складність інтерпретації та необхідність забезпечення великої кількості даних спостережень для якісного навчання. При малих вибірках прогнозні якості суттєво погіршуються.

6. Підбір оптимальних моделей з точки зору статистичної адекватності та прогнозної якості. Оцінка узагальненого середнього значення прогнозу

для обраних моделей. Декомпозиція прогнозу відносно наперед визначеного фіксованого споживання та залишкового споживання.

7. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків та формулювання рішень для підвищення енергоефективності та енергозбереження.



Рис. 3.3 - Збір даних для моделі прогнозування електроспоживання.

Для вирішення задачі моніторингу необхідно мати пристрої збору даних поточного споживання. Для моніторингу поточного електроспоживання пропонується у системі моніторингу та короткотермінового прогнозування застосовувати окрему систему. Ця система побудована з використанням струмових датчиків, мультиплексора, мікроконтролера опитування датчиків, мікроконтролера зв'язку з сервером. Її організовано як безконтактну з мережею електропостачання. Структурну схему пристрою для моніторингу поточного електроспоживання представлено на рис. 3.4. Слід зазначити, що пристрій дозволяє отримувати інформацію з 16 датчиків одночасно і концентрувати її для подальшої передачі одним мультиплексором. Система слугує для опитування датчиків струму, перетворення значення струму в

електричну потужність за визначений період часу. Вона являє собою пристрій, який включає наступні комплектуючі: датчики струму, мультиплексори, мікроконтролери опитування датчиків, мікроконтролер зв'язку з сервером. Датчик струму використовується індуктивний для безконтактного зняття значень сили струму. Датчик передає аналоговий сигнал на контролер через мультиплексор. Мультиплексор виконує перемикання між 16-ма датчикам на канал АЦП мікроконтролера.

Мікроконтролер виконує опитування датчиків за допомогою АЦП, перетворює отриманий сигнал в значення сили струму в Амперах. В залежності від константного значення напруги відбувається обрахунок потужності за певний проміжок часу. Значення потужності в контролері наращується і передається на контролер зв'язку з сервером по інтерфейсу UART, кожні 30 секунд і при умові, що контролер зв'язку з сервером отримав підтвердження, що сервер прийняв повідомлення. Якщо підтвердження від сервера не прийшло, значення потужності далі буде накопичуватись.

Мікроконтролер зв'язку з сервером отримує повідомлення з інформацією про «накопичену» величину електричної потужності від контролера опитування датчиків, формує пакет для відправки по MQTT протоколу на віддалений веб сервер, підтримує зв'язок з Wi-fi роутером для передачі інформації, при втраті з'єднання кожні 30 секунд «намагається» його відновити.

Система може бути сконфігурована для вимірювання від 1 до 16 каналів сили струму для одного пристрою. Також передавати інформацію можна за допомогою бездротового GSM або Ethernet з'єднання.

Результати проведених досліджень та вимірювань показують, що при значеннях напруги на вимірюваній лінії 210-230 В похибка вимірювань складає до 5%. При напрузі на вимірюваній лінії 220 В похибка вимірювань складає менше 1%, що є прийнятним для інформаційних систем [38], [39].

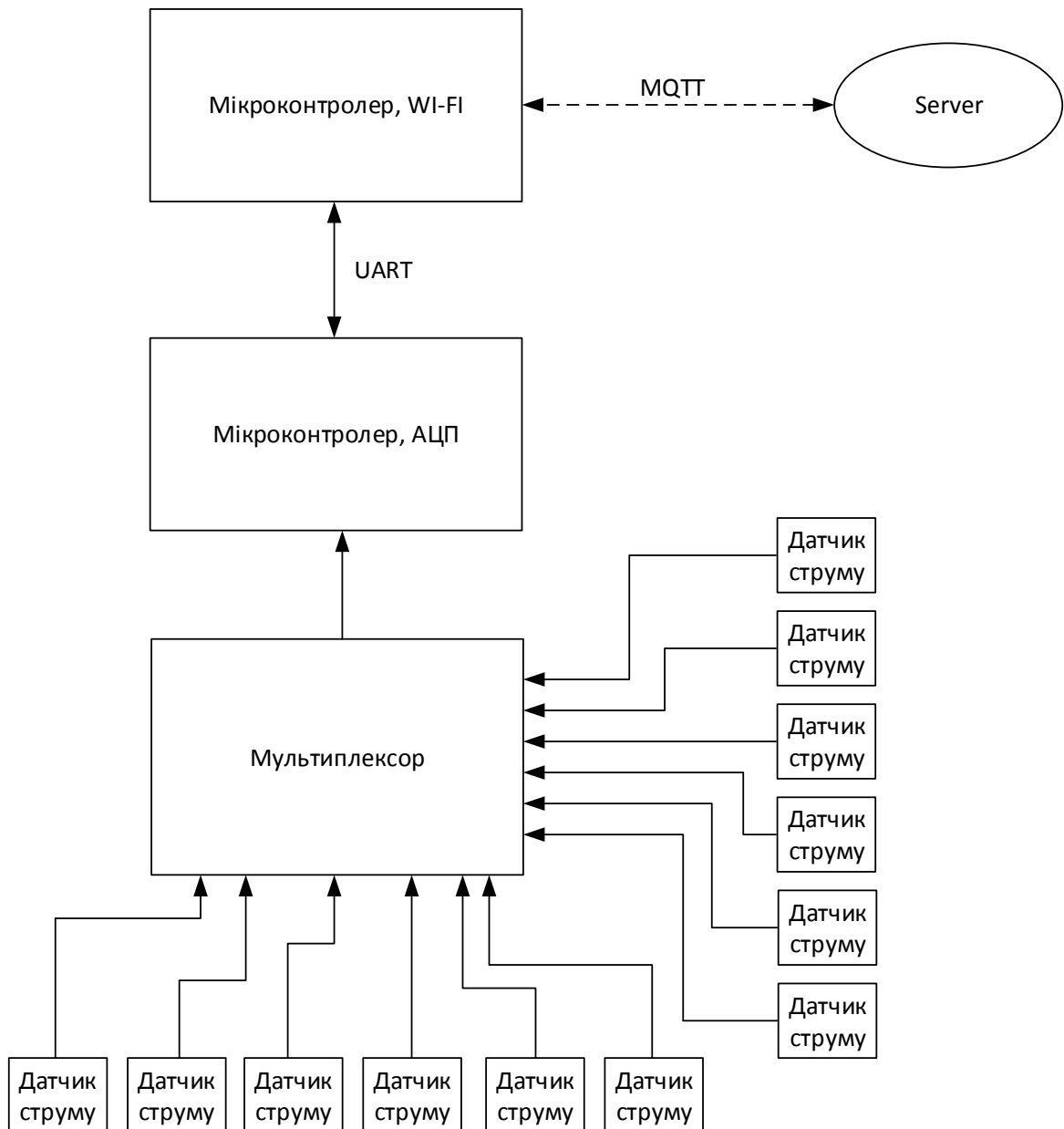


Рис.3.4 - Структурна схема пристрою для моніторингу поточного електроспоживання.

Стосовно витрат на впровадження такої системи варто зауважити, що сумарна розрахункова вартість впровадження (включаючи витрати на прилади, комплектуючі, монтажні та пусконаладжувальні роботи, а також вартість ліцензії) становить близько 11,55 тис. грн. (за умови можливості підключення 16 точок вимірювання). Тоді питома вартість підключення однієї точки вимірювання має становити близько 0,72 тис. грн. Порівняння середніх вартісних показників впровадження однієї точки АСКОЕ та

запропонованої інформаційної системи моніторингу і короткострокового прогнозування обсягів споживання електроенергії закладами освіти KODROS СумДУ, яку створено за наведеними принципами та алгоритмами, показує доцільність впровадження такої системи. Результати стендових випробувань елементів системи, її дослідна експлуатація показує, що за рахунок впровадження нормативних показників електроспоживання та їх дотримання за інформаційної підтримки вказаною системою можливо зменшити обсяги споживання електроенергії навчальним закладом у межах 7 - 8%.

Проведений аналіз показав, що обсяг фактичного електроспоживання у одному із навчальних корпусів Сумського державного університету в середньому становить 1318,2 кВт*год. на тиждень. В табл. 3.1 наведено укрупнені розрахунки техніко-економічних показників вузла моніторингу електроспоживання.

Таблиця 3.1 – Техніко-економічні показники вузла моніторингу електроспоживання.

№	Показник	Розмірність	Значення
1	Вартість обладнання (прилади та комплектуючі)	тис. грн.	7,0
2	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	25% від п.1, тис. грн.	1,75
3	Витрати на програмне забезпечення	Частина від загальних на один вузол вимірювання, тис. грн.	1,3
4	Вартість ліцензії	тис. грн.	1,5
5	Всього витрат на один вузол вимірювання	тис. грн.	11,55
6	Кількість точок вимірювання	шт.	16
7	Всього витрат на одну точку вимірювання	тис. грн.	0,72
8	Середнє тижневе споживання електроенергії	кВт*год.	1318,2

Продовження таблиці 3.1

9	Кількість навчальних тижнів		32
10	Тариф	Грн/кВт*год.	2,6
11	Річні витрати на електроенергію	грн.	42182,4
12	Розрахункова економія витрат на електроенергію	8% від п. 11. грн.	3374,6
13	Простий термін окупності	років	3,4

Необхідно зазначити, що наведені в таблиці 3.1 розрахунки є попередніми. Практично, при вирішенні задач загального моніторингу електроспоживання, прилад, з шістнадцятьма точками контролю, може забезпечувати збір і обробку даних в двох-трьох суміжних корпусах у залежності від існуючої схеми електроживлення. Тоді простий термін окупності одного вузла вимірювання складатиме 1,2...1,4 роки. Система моніторингу окрім функції «визначення слабких місць» електроспоживання, може слугувати інструментом контролю додержання технологічних, санітарно-гігієнічних та інших нормативів (в тому числі забезпечення навчального процесу) функціонування будівель (корпусів, лабораторій та ін.) навчального закладу.

Порівняння поточних значень і тих, що отримані за допомогою модулю прогнозу надає змогу проаналізувати відхилення прогнозу та реально спожитої електроенергії. Якщо похибка прогнозу не перевищує допустиме значення, автоматично робиться висновок щодо належного функціонування систему моніторингу та правильного виконання всієї технологічної карти процесу. Якщо спостерігається суттєва розбіжність між прогнозними та реальними даними, тоді проводяться наступні заходи:

1. Корегування моделі прогнозу електроспоживання та, при необхідності, її повторне «навчання»;
2. Виявлення навантаження, яке не було занесено до переліку встановленого, а потім або корегування переліку встановленого обладнання

(та технологічної карти процесу, за необхідності), або виявлення причин чому додаткове обладнання було задіяне у виробничому процесі;

3. Виявлення робіт технологічного процесу, які не були виконані.

За результатами пунктів 2) та 3) мають формуватися управлінські рішення щодо посилення виробничої дисципліни, або зміни послідовності технологічних операцій, або корегування карти технологічного процесу.

3.2 Результати прогнозування обсягів споживання електроенергії на основі апаратно-програмного комплексу KODROS

Першим кроком прогнозування є визначення струмоприймачів системи освітлення у навчальних приміщеннях корпусу та обрахування їх установленої електричної потужності для кожного приміщення (див. табл. 3.2 - 3.2 в).

Таблиця 3.2 – Аудиторні приміщення основного навчального процесу 1 поверх

Назва приміщення	Аудиторія 103	Аудиторія 108	Аудиторія 110	Аудиторія 112
Установлена ел. потужність струмоприймачів системи освітлення $P_{у\text{ освітл.}}$ (кВт)	0,064	0,4	0,8	0,6
Установлена ел. потужність струмоприймачів, що використ. у навч. Процесі $P_{у\text{ навч.}}$ (кВт)	0,380 (0,080 лекції)	0,380	0	0

Таблиця 3.2 а –Аудиторні приміщення основного навчального процесу
2 поверх

Назва приміщення	Аудиторія 203	Аудиторія 205	Аудиторія 206	Аудиторія 209
Установлена ел. потужність струмоприймачів системи освітлення $P_{у\text{ освітл.}}$ (кВт)	0,4	0,6	0,4	0,6
Установлена ел. потужність струмоприймачів, що використ. у навч. Процесі $P_{у\text{ навч.}}$ (кВт)	0,380 (0,080 лекції)	5,860 (0,61 лекції)	0,380 (0,080 лекції)	0,550

Таблиця 3.2 б Аудиторні приміщення основного навчального процесу 3
поверх

Назва приміщення	Аудиторія 304	Аудиторія 305	Аудиторія 306	Аудиторія 308	Аудиторія 310
Установлена ел. потужність струмоприймачі в системи освітлення $P_{у\text{ освітл.}}$ (кВт)	0,9	0,7	0,7	0,064	0,7

Продовження таблиці 3.2 б

Назва приміщення	Аудиторія 304	Аудиторія 305	Аудиторія 306	Аудиторія 308	Аудиторія 310
Установлена ел. потужність струмоприймачів, що використ. у навч. процесі $P_{у навч.}$ (кВт)	0,462 (0,292 лекції)	1,00	0,080	2,0 (0,180 лекції)	1,297 (0,323 лекції)

Таблиця 3.2 – в Аудиторні приміщення основного навчального процесу
4 поверх

Назва приміщення	Аудиторія 409	Аудиторія 410	Аудиторія 412	Аудиторія 414
Установлена ел. потужність струмоприймачів системи освітлення $P_{у освітл.}$ (кВт)	0,7	0,6	0,8	0,6
Установлена ел. потужність струмоприймачів, що використ. у навч. процесі $P_{у навч.}$ (кВт)	4,720 (0,550 лекції)	0,380	0,480	0,50

3.2.1 Споживання електроенергії системами освітлення

При розрахунку обсягів споживання електроенергії $A_{освітл. i}$ системами освітлення у навчальних приміщеннях використовується відома спрощена математична залежність, за якою :

$$A_{освітл.учб.i} = P_{уосвітл.учб.i} \cdot T_{учб.i} \cdot K_{погод.} \quad (3.1)$$

де: $P_{уосвітл.учб.i}$ - сумарна установлена електрична потужність струмоприймачів i -го учбового приміщення (кВт);

$T_{учб.i}$ - тривалість заняття у годинах ;

$K_{погодн.}$ - погодний (кліматичний) коефіцієнт, за яким визначається достатність рівня природного освітлення на робочих місцях у навчальних приміщеннях.

За тривалість проведення заняття прийнято регламентовану протяжність у годинах однієї «пари». Як відомо, вона становить 1 годину 20 хвилин без перерви, тобто 1,3 год.

Згідно чинних санітарних норм освітленість (лк) робочого місця має бути регламентована показником освітленості, що має забезпечуватися природним освітленням. Для підтримання необхідного рівня освітленості у разі зниження природного освітлення використовуються у приміщеннях системи штучного освітлення. Зазвичай режим системи штучного освітлення залежить від розкладу функціонування закладу (розкладу занять) та тривалості світлового дня. У нашому випадку розглядаємо реальний розклад занять з 07.09.2020 р. до 11.10.2020 р. включно.

Проведені попередньо енергетичні обстеження корпусу та інформація щодо метеоумов (заходу сонця) вказують на те, що у цей період має функціонувати система освітлення після 17.00 до закінчення занять згідно розкладу. Тобто, для подальшого включення у базу даних системи автоматизованого розрахунку, виконано розрахунок обсягу споживання електричної енергії системами штучного освітлення i -го учбового

приміщення упродовж однієї «пари» згідно формули (3.1), у якій погодний (кліматичний) коефіцієнт $\kappa_{\text{погодн.}}$ може приймати два числових значення: «1», або «0». Якщо на занятті необхідно вмикати струмоприймачі системи освітлення, то $\kappa_{\text{погодн.}} = 1$ і розрахунковий обсяг споживання електроенергії автоматизована система включить до сумарного розрахункового добового споживання електроенергії за визначеним навчальним приміщенням. Якщо штучне освітлення не вмикається на занятті, то у цьому випадку $\kappa_{\text{погодн.}} = 0$ і за формулою $A_{\text{освітл. } i}$ також дорівнює нулю.

У таблицях 3.3 - 3.5 (як ілюстрація) представлено розрахункове споживання електроенергії струмоприймачами систем штучного освітлення навчальних приміщень відповідно до розкладу занять 07.09 - 11.10.2020р.

Таблиця 3.3 – Споживання електроенергії розрахункове струмоприймачами систем штучного освітлення навчальних приміщень, розраховане згідно розкладу занять (кВт·год) Понеділок 07.09.2020.

Аудитор.	8.30 9.50	10.05- 11.25	11.40- 13.00	14.00- 15.20	15.35- 16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35		Спож. Освітл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 поверх										
М 103										
М 108										
М 110						0,8				0,8
М 112						0,6				0,6
Сума 1	0	0	0	0	0	1,4	0	0		1,4
2 поверх										
М 203										
М 205										
М 206										
М 209										
Сума 2	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3 поверх										
М 304										
М 305										
М 306										
М 308										
М 310										
Сума 3	0	0	0	0	0	0	0	0		0
4 поверх										
М 409										
М 410										
М 412										
М 414										
Сума 4	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Сума заг.	0	0	0	0	0	1,4	0	0		1,4

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3 поверх										
М 304										
М 305										
М 306										
М 308										
М 310										
Сума 3	0	0	0	0	0	0	0	0		0
4 поверх										
М 409										
М 410										
М 412										
М 414										
Сума 4	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Сума заг.	0	0	0	0	0	1	0	0		1

Таблиця 3.5 – Споживання електроенергії розрахункове струмоприймачами систем штучного освітлення навчальних приміщень, розраховане згідно розкладу занять (кВт·год) Серeda 09.09.2020

Аудитор.	8.30 9.50	10.05- 11.25	11.40- 13.00	14.00- 15.20	15.35- 16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35		Спож. Освітл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 поверх										
М 103										
М 108										
М 110										
М 112										
Сума 1	0	0	0	0	0	0	0	0		0
2 поверх										
М 203										
М 205										
М 206										
М 209										
Сума 2	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3 поверх										
М 304						0,7				0,7
М 305										
М 306										
М 308										
М 310										
Сума 3	0	0	0	0	0	0,7	0	0		0,7
4 поверх						0,7				0,7
М 409										
М 410										
М 412										
М 414										
Сума 4	0	0	0	0	0	0,7	0	0		0,7
Сума заг.	0	0	0	0	0	1,4	0	0		1,4

3.2.2 Споживання електроенергії струмоприймачами

Для подальшого розрахунку прогнозного електроспоживання необхідно мати перелік аудиторій задіяних у навчальному процесі та їх характеристики (див. табл. 3.6).

Таблиця 3.6 Перелік аудиторій задіяних у навчальному процесі та їх характеристика

Назва аудиторії	Установлена електрична потужність струмоприймачів навчального процесу, що використовуються на лекційному занятті (кВт)	Установлена електрична потужність струмоприймачів навчального процесу, що використовуються на практичному (лабораторному) занятті (кВт)	Максимальна установлена ел. потужність струмоприймачів, що використовуються у навчальному процесі (кВт)
Поверх 1			
М 103	0.080	0.380	0.380
М 108	0.380	0.080	0.380
М 110	0	0	0
М 112	0	0.080	0.08
Поверх 2			
М 203	0.080	0.380;	0.380
М 205	5.860	5.860;	5.860
М 206	0.380	0.380	0.380

Продовження таблиці 3.6

М 209	0.55	0.55	0.55
Поверх 3			
М 304	0.462	0.462	0.464
М 305	0	1.0	1.0
М 306	0	0.080	0,08
М 308	0.180	2.0;	2,0
М 310	1.297	1.297	1,297
Поверх 4			
М 409	0.55	4.720	4,720
М 410	0.38	0.38	0,38
М 412	0.48	0.48	0.48
М 414	0.50	0.50	0.50

Коефіцієнт завантаження струмоприймачів навчального процесу K_3 , що використовуються на заняттях при вивченні навчальних дисциплін, а також перелік навчальних дисциплін наведено у таблиці 3.7. Дані K_3 приведено та уточнено у відповідності до максимальних значень P_y аудиторій (тривалість роботи електрообладнання під час проведення занять). Значення коефіцієнтів завантаження для режиму навчання «on-line» приймаємо «0».

Таблиця 3.7 – Перелік навчальних дисциплін, види занять та значення K_3

Назва дисципліни	Викладач	Коефіцієнт завантаження K_3 струмоприймачів навчального процесу на лекційному занятті (Л)	Коефіцієнт завантаження K_3 струмоприймачів навчального процесу на практичному (лабораторному) занятті (ПЗ)
Стратегії для бізнесу та пром.	Кобушко Яна Володимирівна	1,0	1,0
Транспортна логістика	Гончаренко Олексій Сергійович	0,9	0,9
Мотиваційний механізм в підпр.	Маценко Олександр Михайлович	0,9	0,9
Торгівля з ЄС та європейський	Кубатко Олександра Вікторівна	0,9	0
Бізнес – право та фінансова сана.	Тютюнник Інна Володимирівна	1,0	1,0
Управління ефективністю	Ілляшенко Тетяна Олексіївна	0,9	0,5

Продовження таблиці 3.7

Аудит і інформаційні системи	Басанцов Ігор Володимирович	0,9	0,9
Фін. контролінг	Ілляшенко Тетяна Олексіївна	0,9	0,5
Наукові дослідження	Тютюник Інна Володимирівна	0,9	0,3
Фандрейзинг та альтернативні ф.	Ілляшенко Тетяна Олексіївна	0,9	0,5
Корпоративна стратегія	Дегтярєва Ірина Борисівна	0,9	+0,9
Вища математика	Ячменьов Володимир Олександрович	0	0
Фінансові стратегії підприємств.	Захаркіна Людмила Сергіївна	1,0	0,3
Фінанс. менеджм.	Захаркін Олексій Олександрович	1,0	0,5
Бізнес кооперації та масштабув.	Похилько Світлана Василівна	0,9	0,9

Продовження таблиці 3.7

Комп'ютерна механіка	Жигилій Дмитро Олексійович	0,9	0,9
Опір матеріалів	Жигилій Дмитро Олексійович	0	0
Теретична механіка	Калініченко Павло Михайлович	0	0
Корпоративні фінанси	Гриценко Лариса Леонідівна	1,0	1,0
Банківська справа	Кривич Яна Миколаївна	0,9	0,3
Ціноутворення на ринку активів	Лукаш Ольга Анатоліївна	1,0	0
Управління міжнародним бізнесом	Сабадаш Віктор Володимирович	0,9	0,9
Реінж. бізн.- процесів підпр.	Гриценко Павло Валерійович	0,9	0,9
Організація взаємозв'язків з к.	Гриценко Павло Валерійович	0,9	0,9
Бюджетування бізнесу	Карпіщенко Олексій Іванович	0,5	0,5

Продовження таблиці 3.7

Економіка логістичних рішень	Гончаренко О.С.	0,9	0,5
Глобальні ринки і конкуренція	Сабадаш В.В	0,9	0,9
Економіка транспорту	Вороненко В'ячеслав Ігорович	0,9	0,9
Інформац. економіка	Ковальов Богдан Леонідович	0,9	0,3
Обг. господ. рішень і оцін. риз.	Сабадаш В.В	0,9	0,9
Стратегія підприємства	Харченко Микола Олексійович	0,9	0
Звітність підприємств	Гуменна Юлія Григорівна	0,9	0
Внутрішній корпоративній контр.	Кобушко Ігор Миколайович	1,0	1,0
Публічні фінанси	Жукова Тетяна Анатоліївна	1,0	1,0
ІТ- технології для бізнесу	Александров Вадим Трофимович	0,9	0,9

Продовження таблиці 3.7

Правові основи електронного пі.	Гуменна Юлія Григорівна	0,9	0,8
Аудит	Жукова Тетяна Анатоліївна	0,9	0,5
Проблемні кейси у фінансах і	Плікус Ірина Йосипівна	0,9	0,9
Financial Derivaties	Рубанов Павло Миколайович	0,9	0,9
Правові основи електронного під.	Гуменна Юлія Григорівна	0,9	0,8
Основи обліку	Гриценко Олена Іванівна	0,9	0,8
Електронні гроші	Зайцев Олександр Васильович	1,0	1,0
Інвестиційний аналіз	Салтикова Ганна Василівна	0,9	0,9
Фінансовий облік	Плікус Ірина Йосипівна	0,9	0,9
Efficiency Management	Ілляшенко Константин Вікторович	0,9	0,9
Аналіз поведінки споживачів в	Кобушко Ігор Миколайович	0,9	0,9
Фінанси різних форм бізнесу	Пігуль Наталія Георгіївна	0,9	0

Продовження таблиці 3.6

Управл. Інформац. зв.	Вакуленко Ігор Анатолійович	0,9	0,9
Внутрішній корпоративний контр.	Іляшенко Тетяна Олексіївна	0,9	0,5
Осн. Бірж. діяльності	Пімоненко Тетяна Володимирівна	0	0
Комерціалізація технологій	Захаркіна Людмила Сергіївна	1,0	0,5
Готельно- ресторанний бізнес	Гриценко Павло Валерійович	0,9	0,9
EU Policies of Economic Securi	Кубатко Олександр Васильович	0,9	0,9
Рег. розв. соц - екон. сист.	Дерев'янку Юрій Миколайович	0,9	0
Управління витратами підприємс.	Харченко М.О.	0,9	0
EU Policies of Green Econom	Кубатко Олександр Васильович	0,9	0,9
Бізнес – розвиток та інвестиції	Салтикова Г.В.	0,9	0,9

Продовження таблиці 3.6

Економ. підприємництва	Сотник Ірина Миколаївна	0,9	0,9
Психологія інтернет-бізнесу	Антонюк Наталія Анатоліївна	1,0	0,9
Аналіз підприємницької діяльно.	Мішенін Євген Васильович	1,0	1,0
Startup: the First Step	Ковальов Богдан Леонідович	0,9	0,3
Корпоративна стратегія	Дегтярєва І.Б.	0,9	0
ERP – технології	Вороненко В'ячеслав Ігорович	0,9	0,9
Іноземна мова проф.	Дегтярєва І.Б.	0,9	0
Іноземна мова (поглиблений курс)	Скарлупіна Юлія Анатоліївна	0,9	0
Економіка і організація сфери	Гриценко П.В.	0,9	0,9
Торговельна політика	Лукаш Ольга Анатоліївна	0,9	0
Соціальна та солідарна економіка	Сотник І.М.	0,9	0,9

Продовження таблиці 3.6

Бізнес діагностика	- Дегтярьова І.Б.	0,9	0,9
Управління людськими ресурсами	Євдокімов Андрій Валерійович	0,9	0,9
Злиття поглинання	та Харченко М.О.	0,9	0
Охорона праці	Лебединський Ігор Леонідович	0,9	0,9
Оптимізація процесів електропо.	Загородня Тетяна Миколаївна	0,9	0,9
Електропост. Пром. Підприєм.	Василега Петро Олександрович	0,9	1,0
Планування операційної діяльно.	Карпіщенко Олексій Іванович	0,5	0,5
Ел. станцій та підстанцій	Дяговченко Ілля Миколайович	0,9	1,0
Осн. рел зах. та авт. ен.	Жемаєв Сергій Степанович	0	1,0
Ел. системи та мережі	Волохін Віталій Васильович	0,9	1,0

Продовження таблиці 3.6

Електропостачання	Василега Петро Олександрович	0,9	0,5
Теорія електр. та електр. кіл	Дяговченко Ілля Миколайович	0,9	0
Теорет. осн. електротехніки	Дяговченко Ілля Миколайович	0,9	1,0
Розрахунки конструктивних елем.	Волохін Віталій Васильович	0,9	0
Основи електротехніки та електр.	Завгородня Тетяна Миколаївна	0,9	0
Електричні машини	Костян Андрій Андрійович	0,9	0
Комп. модел процесів і сист.	Дяговченко Ілля Миколайович	0,9	1,0
Інформаційні технології управл	Петровський Михайло Васильович	0,9	0,9
Оптимізація процесів електропо.	Лебединський Ігор Леонідович	0,9	1,0
Монт., нал. та випроб. електроо.	Загородня Тетяна Миколаївна	0	0

Продовження таблиці 3.6

Електротехн. установки	Василега Петро Олександрович	0,9	0
Алгоритмічні задачі в електрое.	Макуха Дмитро Миколайович	0,9	1,0
Курси	Борзенков Ігор Іванович	1,0	0
Економіка промисловості	Карпіщенко О.І.	0,5	0,5
Оптимізаційні моделі	Койбічук Віталія Василівна	0,9	0,9
Ефект. економ. Систем	Дерев'янку Ю.М.	0,9	0,5
Прикладна статистика	Миненко Сергій Володимирович	0,9	0,9
Зовнішньоекон. діяльність	Сабадаш В.В	0,9	0,9
CRM	Гриценко П.В.	0,9	0,9
Держ. та муніц. управл.	Мішеніна Галина Анатоліївна	0,9	0
Економіка	Жулавський Аркадій Юрійович	0,9	0

Продовження таблиці 3.6

Управління корпоративною соціа.	Кубатко Вікторія Василівна	0,9	0
Інтегрований курс «Демократія»	Козинцева Тетяна Олександрівна	0,9	0
Управління діловою кар'єрою	Матвєєва Юлія Тагібеківна	0,9	0
Стратегічне та операційне упр.	Деміхов Олексій Ігорович	0,9	0,5
Економіка розвитку	Дерев'янку Ю.М.	0,9	0
Техніка високих напруг	Загородня Тетяна Миколаївна	0,9	0
Енергонагляд в електр. пром. п.	Никифоров Микола Анатолійович	0,9	0

Для наглядного прикладу у таблицях 3.7 розраховано споживання електричної енергії гаджетами згідно розкладу занять за період 07.09 – 11.09.2020 р..

У таблицях:

K_3 – коефіцієнт завантаження струмоприймачів, задіяних у навчальному процесі;

$P_{у\text{ навч.}}$ – сумарне установлене ел. навантаження струмоприймачів, задіяних у навчальному процесі на конкретному занятті (кВт);

A – розрахунковий обсяг споживання ел.енергії струмоприймачами, задіяними у навчальному процесі на конкретному занятті (кВт·год).

$$A = P_{у\text{ навч.}} \times K_3 \times 1,3 \text{ (кВт}\cdot\text{год)};$$

Приклади розрахункового споживання електричної енергії у навчальному процесі за аудиторіями згідно розкладу занять з 07.09.2020 по 11.09. 2020 навчального корпусу М СумДУ представлено в табл. 3.7 – 3.11.

Таблиця 3.8 – Розрахункове споживання електричної енергії у навчальному процесі аудиторією 103

Аудитор. 103	8.30- 9.50	10.05- 11.25	11.40-13.00	14.00-15.20	15.35-16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35	За добу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Понеділок 7.09.2020	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ А $= 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ А $= 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Вівторок 8.09.2020	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Середа 9.09.2020	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Четвер 10.09.2020	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
П'ятниця 11.09.2020	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0

Таблиця 3.9 – Розрахункове споживання електричної енергії у навчальному процесі аудиторією 108

Аудитор. 108	8.30- 9.50	10.05- 11.25	11.40- 13.00	14.00-15.20	15.35-16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35	За добу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Понеділок 7.09.2020	$K_3=0;A$ $= 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A$ $= 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A$ $= 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A$ $= 0$ $P_{у навч.}=0$	0

Таблиця 3.10 – Розрахункове споживання електричної енергії у навчальному процесі аудиторією 110

Аудитор. 110	8.30- 9.50	10.05- 11.25	11.40-13.00	14.00-15.20	15.35-16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35	За добу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Понеділок 7.09.2020	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0.9;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$ Комп. механіка	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$ Опір матеріал.	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$ Терет. механіка	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Вівторок 8.09.2020	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Середа 9.09.2020	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0; A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середа 9.09.2020	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Четвер 10.09.2020	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
П'ятниця 11.09.2020	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0

Таблиця 3.11 – Розрахункове споживання електричної енергії у навчальному процесі аудиторією 112

Аудитор. 112	8.30- 9.50	10.05- 11.25	11.40-13.00	14.00-15.20	15.35-16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35	За добу	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Понеділок 7.09.2020	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0.08$ Терет. механіка	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0.08$ Опір матеріал	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0
Вівторок 8.09.2020	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0	
Середа 9.09.2020	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0	
Четвер 10.09.2020	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;A =$ 0 $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0 ;$ $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0	

Продовження таблиця 3.11

П'ятниця 11.09.2020	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	$K_3=0$; $A = 0$ $P_{у навч.}=0$	0

3.2.3 Розрахункове споживання електроенергії у навчальному процесі

У таблицях 3.12 – 3.14 представлено приклади щоденного сумарно-розрахункового споживання електроенергії у навчальному процесі гаджетами та системою освітлення за аудиторіями згідно розкладу занять з 07.09.2020 р. по 11.10.2020 р. навчального корпусу М СумДУ.

Таблиця 3.12 – Розрахункове споживання електроенергії у навчальному процесі згідно розкладу занять (кВт·год)

Понеділок 07.09.2020

Аудитор.	8.30 9.50	10.05- 11.25	11.40- 13.00	14.00- 15.20	15.35- 16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35		Спож. Освітл	За добу гадж.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 поверх											
М 103											0
М 108											0
М 110						0,8				0,8	0
М 112						0,6				0,6	0
Сума 1	0	0	0	0	0	1,4	0	0		1,4	0
2 поверх											
М 203				0,494	0,494						0,988
М 205				7,618							7,618
М 206		0,494	0,494								0,988
М 209				0,358							0,358
Сума 2	0	0,494	0,494	8,47	0,494	0	0	0		0	9,952

Продовженн таблиці 3.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3 поверх											
М 304											0
М 305			1,3								1,3
М 306											0
М 308											0
М 310		1,686									1,686
Сума 3	0	1,686	1,3	0	0	0	0	0		0	2,986
4 поверх											
М 409		3,068		5,522	5,522						14,112
М 410											0
М 412											0
М 414											0
Сума 4	0	3,068	0	5,522	5,522	0	0	0		0	14,112
Сума заг.	0	5,248	1,794	13,992	6,016	1,4	0	0		1,4	27,05

Таблиця 3.13 – Розрахункове споживання електроенергії у навчальному процесі згідно розкладу занять (кВт·год)

Вівторок 08.09.2020

М 304											0
М 305											0
М 306											0
М 308											0
М 310											0
Сума 3	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
4 поверх											
М 409	5,522										5,522
М 410											0
М 412											0
М 414											0
Сума 4	5,522	0	0	0	0	0	0	0		0	5,522
Сума заг.	13,022	7,183	0,445	8,157	0,341	1,891	0	0		1	30,039

Таблиця 3.14 – Розрахункове споживання електроенергії у навчальному процесі згідно розкладу занять (кВт·год)

Середа 09.09.

Аудитор.	8.30 - 9.50	10.05- 11.25	11.40- 13.00	14.00- 15.20	15.35- 16.55	17.10- 18.30	18.45- 20.05	20.15- 21.35		Спож. Освітл	За добу гадж.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 поверх											
М 103											0
М 108											0
М 110											0
М 112											0
Сума 1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
2 поверх											0
М 203											0
М 205				2,285	7,618						9,903
М 206											0
М 209				0,644	0,644						1,288
Сума 2	0	0	0	2,929	8,262	0	0	0		0	11,191

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 07.09.2020 по 13.09.2020 складає 133,79 кВт·год, з яких:

- *Освітлення* – 4,5 кВт·год – 3,4 %
- *Функціонування гаджетів* – 129, 29 кВт·год – 96,6 %

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 14.09.2020 по 20.09.2020 складає 155,73 кВт·год, з яких:

- *Освітлення* – 5,1 кВт·год – 3,3 %
- *Функціонування гаджетів* – 150,63 кВт·год – 96,7%

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 21.09.2020 по 27.09.2020 складає 224,36 кВт·год, з яких:

- *Освітлення* – 32,89 кВт·год – 14,7 %
- *Функціонування гаджетів* – 191,47 кВт·год – 85,3 %

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 28.09.2020 по 04.10.2020 складає 141,72 кВт·год, з яких:

- *Освітлення* – 3,8 кВт·год - 13,5 %
- *Функціонування гаджетів* – 137,92 кВт·год - 86,5 %

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 05.10.2020 по 11.10.2020 складає 150,22 кВт·год, з яких:

- *Освітлення* – 20,22 кВт·год – 14,5 %
- *Функціонування гаджетів* – 130 кВт·год - 86,5 %

Отже, розрахунковий обсяг споживання електроенергії на аудиторних заняттях корпусу (гаджети + освітлення) у період з 07.09.2020 по 11.10.2020 складає **807,43 кВт·год**, з яких:

- *Освітлення* – 66,51 кВт·год – 8 %
- *Функціонування гаджетів* – 740,92 кВт·год – 92 %

3.3 Розрахунок та аналіз добового споживання електроенергії

Для аналізу добового споживання електроенергії використано терміни, якими апелюють автори [32] – профіль та «спектр» електроспоживання.

Профіль електроспоживання – обсяг спожитої електричної енергії електрообладнанням за добу з детальним розподілом на часові проміжки (відповідно до розклау занять).

«Спектр» електроспоживання – обсяги споживання струмоприймачами кожної з систем електроспоживання будівлі (гаджети, освітлення та ін.) у визначені профілем часові періоди доби.

3.3.1 Алгоритм розрахунку добового споживання електроенергії:

Покрокові дії за алгоритмом розрахунку добового споживання електроенергії включають:

1. Визначення інтегральних профілей добового споживання електричної енергії струмоприймачами, розміщеними у будівлі, за використанням бази вихідних даних АСКОЕ.
2. Аналіз профілю споживання електроенергії для визначення «фонового»

споживання системами забезпечення життєдіяльності будівлі корпусу М.

3. Визначення загального фактичного електроспоживання у навчальному та допоміжних процесах.
4. Аналіз прогнозованого розрахункового споживання електроенергії у навчальному процесі згідно розкладу занять відповідно до профілю електроспоживання корпусу.
5. Визначення складових «спектру» електроспоживання струмоприймачами системи освітлення та струмоприймачів гаджетів, які використовуються у допоміжних процесах.
6. Формування графічної інтерпретації прогнозованого «спектру» добового електроспоживання.

Розглянемо детально послідовність дій по кожному із пунктів алгоритму.

3.3.2 Визначення інтегральних профілей добового споживання електричної енергії струмоприймачами, розміщеними у будівлі, за використанням бази вихідних даних АСКОЕ.

Для визначення інтегрального профілю необхідно затвердити часовий «крок» профілю (у період проведення занять згідно розкладу приймаємо тривалість, яка відповідає тривалості заняття, у інші періоди доби приводимо її до однієї години);

Добовий часовий період розіб'ємо на періоди T_i :

з 0 години до 8.30 години ранку на погодинні інтервали (дискретність 1 година, останній інтервал – 1 год 30 хвилин);

з 8 години 30 хвилин до 21 години 35 хвилин на інтервали, які відповідають розкладу занять:

8.30 – 9.50;

9.50 – 11.25;
11.25 – 13.00;
13.00 – 14.00– перерва;
14.00 - 15.20;
15.20 – 16.55;
16.55 – 18.30;
18.30 – 20.05;
20.05– 21.35.

З 21 години 35 хвилин до 24 години вечора на погодинні інтервали (дискретність 1 година, перший інтервал – 1 год 25 хвилин).

Відповідно до визначених часових інтервалів T_i розраховуємо (профіль) обсяги інтегрального споживання електроенергії A_i інтегральне у кожному з інтервалів, користуючись статистичними даними бази даних АСКОЕ.

Часова дискретність статистичних даних становить 60 хвилин, тому цю особливість враховуємо при розрахунках. Дискретні величини обсягів електроспоживання, які не відповідають даному періоду визначаємо шляхом інтерполяції.

3.3.3 Аналіз профілю споживання електроенергії для визначення «фонового» споживання системами забезпечення життєдіяльності будівлі навчального корпусу.

Для визначення «фонового» електроспоживання проаналізовано статистичні дані АСКОЕ щодо обсягів електроспоживання у вихідні дні 13.09.2020, 20.09.2020, 17.10.2020. 18.10.2020. Виходячи з того, що у вихідні дні навчальна та адміністративна діяльність у будівлі відсутня, електрична енергія витрачається лише на функціонування систем підтримання будівлі (охорона, холодильне обладнання, сервери інформаційних систем, чергове та аварійне освітлення і т. і.). Вважаємо, що ці функції виконуються у будівлі

постійно і незалежно від процесів основної діяльності у будівлі, тому зазначені обсяги електроспоживання ми можемо виділити як складову постійного електроспоживання $A_{i \text{ фон}}$.

Зазначену складову розраховано як середнє арифметичне погодинного електроспоживання у вихідні дні за винятком періодів, коли ввімкнено систему зовнішнього освітлення території. За вихідними даними період функціонування системи зовнішнього освітлення приймаємо з 19.00 години до 24.00 години та з 00 годин до 5.00 години щодобово.

За результатами аналізу та розрахунку середнє арифметичне погодинного електроспоживання у вихідні дні за винятком періодів, коли ввімкнено систему зовнішнього освітлення території становить 1,133 кВт·год. Це значення прийнято за величину «фонового» електроспоживання $A_{i \text{ фон}}$.

3.3.4 Визначення загального фактичного електроспоживання у навчальному та допоміжних процесах.

Витрати електроенергії на зовнішнє освітлення $A_{i \text{ зовн. освітл.}}$ будівлі та прилеглої території розраховано як різницю між фактичним споживанням електроенергії вихідними днями у години, коли функціонує система зовнішнього освітлення і «фонове» електроспоживання $A_{i \text{ фон}}$.

$$A_{i \text{ зовн. освітл.}} = A_{i \text{ інтегральне}} - A_{i \text{ фон}} \quad (3.2)$$

За вихідними даними у періоди з 5.00 години до 8 години 30 хвилин щодобово проводяться, обсяги електроспоживання якими розраховуємо як різницю між $A_{i \text{ інтегральне}}$ та $A_{i \text{ фон}}$:

$$A_{i \text{ доп. процес}} = A_{i \text{ інтегральне}} - A_{i \text{ фон}} \quad (3.3)$$

3.3.5 Аналіз прогнозованого розрахункового споживання електроенергії у навчальному процесі згідно розкладу занять відповідно до профілю електроспоживання навчального корпусу.

За результатами розрахунків прогнозного розрахункового споживання електричної енергії струмоприймачами у навчальному процесі на аудиторних заняттях у корпусі згідно розкладу занять до таблиці заносяться дані щодо споживання електричної енергії у навчальному процесі.

Далі розраховуються сумарні обсяги електроспоживання струмоприймачами у навчальному процесі (сумарне споживання струмоприймачами системи освітлення та пристроїв, які використовуються на заняттях).

Масиви розрахункових даних формуються за добою розглядуваного розкладу занять як сума обсягів споживання за всіма навчальними приміщеннями, у яких проводиться навчальний процес у проміжку часу T_i :

- розрахункові дані щодо обсягів споживання електричної енергії струмоприймачами системи освітлення у навчальному процесі періоду T_i - «електроспоживання системами освітлення у навчальному процесі»;
- розрахункові дані щодо обсягів споживання електричної енергії струмоприймачами пристроїв, які використовуються на заняттях у навчальному процесі періоду T_i - «електроспоживання гаджетами у навчальному процесі»;
- розрахункові дані щодо обсягів сумарного споживання електричної енергії струмоприймачами систем освітлення та пристроїв, які використовуються на заняттях у навчальному процесі періоду T_i - «сумарне електроспоживання у навчальному процесі».

Алгоритм, який застосовується при розрахунках для періоду T_i :

«сумарне електроспоживання у навчальному процесі $A_{i \text{ навч}}$ » = «електроспоживання системами освітлення у навчальному процесі» + «електроспоживання гаджетами у навчальному процесі».

3.3.6 Визначення складових «спектру» електроспоживання струмоприймачами системи освітлення та струмоприймачів гаджетів, які використовуються у допоміжних процесах.

Відокремивши від визначеного у кроці три профілю загального електроспоживання струмоприймачами у навчальному та допоміжних процесах розрахунковий профіль споживання електроенергії струмоприймачами навчального процесу (освітленням та гаджетами), отримуємо профіль електроспоживання струмоприймачами, які використовуються у допоміжних процесах;

Тобто, для періоду T_i : «електроспоживання у допоміжних процесах $A_{i \text{ допом}}$ » = «загальне споживання електроенергії $A_{i \text{ загальне}}$ » - «сумарне електроспоживання у навчальному процесі $A_{i \text{ навч}}$ »

У таблицях 3.15 – 3.17 представлено приклади результатів розрахунку добового електроспоживання будівлі учбового корпусу за період 07.09 – 11.10.2020 р

Таблиця 3.14 – Складові елементи добового електроспоживання струмоприймачами будівлі корпусу навчального закладу 07.09.2020 р.

Період часу, год., T_i	Фактич. сумарне спожив., кВт*год $A_i \text{ інтеграл}$	Пост. склад. факт. спож. «фон», кВт*год $A_i \text{ фон}$	Спож. освітл. навч. проц. (розр.), кВт*год	Спож. гаджет навч. проц. (розр), кВт*год	Спож. гадж., освітл. допом. проц. (розр.), кВт*год	Спож. учбов. проц. (розр.), кВт*год $A_i \text{ навч}$	Зовніш. Освітл., інші проц., кВт*год	Факт. заг. спож. у проц., кВт*год $A_i \text{ заг}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00 ⁰⁰ -01 ⁰⁰	1,144	1,133					0,011	
01 ⁰⁰ -02 ⁰⁰	1,137	1,133					0,004	
02 ⁰⁰ -03 ⁰⁰	1,412	1,133					0,279	
03 ⁰⁰ -04 ⁰⁰	1,137	1,133					0,004	
04 ⁰⁰ -05 ⁰⁰	1,509	1,133					0,376	
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	1,247	1,133					0,114	
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	2,071	1,133					0,938	

Продовження таблиці 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
07 ⁰⁰ -08 ³⁰	6,891	1,700						5,191
08 ³⁰ -09 ⁵⁰	7,950	1,507		0	6,443	0		6,443
09 ⁵⁰ -11 ²⁵	9,709	1,790		5,248	2,671	5,248		7,919
11 ²⁵ -13 ⁰⁰	6,271	1,790		1,794	2,686	1,794		4,480
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	3,794	1,133			2,661			2,661
14 ⁰⁰ -15 ²⁰	6,938	1,507		13,992	-8,561	13,992		5,431
15 ²⁰ -16 ⁵⁵	12,795	1,790		6,016	4,989	6,016		11,005
16 ⁵⁵ -18 ³⁰	15,967	1,790	1,4	0	12,777	1,4		14,177
18 ³⁰ -20 ⁰⁵	10,951	1,790			9,161	0		9,161
20 ⁰⁵ -21 ³⁵	1,898	1,700			0,199	0		0,199
21 ³⁵ -22 ⁰⁰	0,447	0,472					-0,025	
22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	1,240	1,133					0,107	
23 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	1,191	1,133					0,058	

Таблиця 3.16 – Складові елементи добового електроспоживання струмоприймачами будівлі корпусу навчального закладу 08.09.2020 р.

Період часу, год.,хв. T_i	Фактич. сумарне спожив., кВт*год A_i інтеграл	Пост. склад. факт. спож. «фон», кВт*год A_i фон	Спож. освітл. навч. проц. (розр.), кВт*год	Спож. гаджет навч. проц. (розр), кВт*год	Спож. гадж., освітл. допом. проц. (розр.), кВт*год	Спож. учбов. проц. (розр.), кВт*год A_i навч	Зовніш Освітл., інші проц., кВт*год	Факт. заг. спож. у проц., кВт*год A_i заг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00 ⁰⁰ -01 ⁰⁰	1,127	1,133					-0,006	
01 ⁰⁰ -02 ⁰⁰	1,329	1,133					0,196	
02 ⁰⁰ -03 ⁰⁰	1,114	1,133					-0,019	
03 ⁰⁰ -04 ⁰⁰	1,131	1,133					-0,002	
04 ⁰⁰ -05 ⁰⁰	1,367	1,133					0,234	
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	1,175	1,133					0,042	
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	2,212	1,133					1,079	
07 ⁰⁰ -08 ³⁰	5,998	1,700						4,298
08 ³⁰ -09 ⁵⁰	5,185	1,507		13,022	-9,344	13,022		3,678

Продовження таблиці 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
09 ⁵⁰ -11 ²⁵	7,344	1,790		7,183	-1,629	7,183		5,554
11 ²⁵ -13 ⁰⁰	10,878	1,790		0,445	8,642	0,445		9,087
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	7,596	1,133			6,463			6,463
14 ⁰⁰ -15 ²⁰	10,234	1,507		8,157	0,570	8,157		8,727
15 ²⁰ -16 ⁵⁵	11,336	1,790		0,341	9,205	0,341		9,546
16 ⁵⁵ -18 ³⁰	5,567	1,790	1	0,891	1,886	1,891		3,777
18 ³⁰ -20 ⁰⁵	5,155	1,790			3,365	0		3,365
20 ⁰⁵ -21 ³⁵	3,465	1,700			1,766	0		1,766
21 ³⁵ -22 ⁰⁰	1,209	0,472					0,737	
22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	1,294	1,133					0,161	
23 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	1,435	1,133					0,302	

Таблиця 3.17 – Складові елементи добового електроспоживання струмоприймачами будівлі корпусу навчального закладу 09.09.2020 р.

Період часу, год.,хв. T_i	Фактич. сумарне спожив., кВт*год $A_i \text{ інтеграл}$	Пост. склад. факт. спож. «фон», кВт*год $A_i \text{ фон}$	Спож. освітл. навч. проц. (розр.), кВт*год	Спож. гаджет навч. проц. (розр), кВт*год	Спож. гадж., освітл. допом. проц. (розр.), кВт*год	Спож. учбов. проц. (розр.), кВт*год $A_i \text{ навч}$	Зовніш Освітл., інші проц., кВт*год	Факт. заг. спож. у проц., кВт*год $A_i \text{ заг}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00 ⁰⁰ -01 ⁰⁰	1,284	1,133					0,151	
01 ⁰⁰ -02 ⁰⁰	1,289	1,133					0,156	
02 ⁰⁰ -03 ⁰⁰	1,468	1,133					0,335	
03 ⁰⁰ -04 ⁰⁰	1,302	1,133					0,169	
04 ⁰⁰ -05 ⁰⁰	1,490	1,133					0,357	
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	1,334	1,133					0,201	
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	2,371	1,133					1,238	
07 ⁰⁰ -08 ³⁰	5,568	1,700						3,869
08 ³⁰ -09 ⁵⁰	7,630	1,507		0	6,123	0		6,123

Продовження таблиці 3.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
09 ⁵⁰ -11 ²⁵	14,486	1,790		0	12,696	0		12,696
11 ²⁵ -13 ⁰⁰	16,240	1,790		0	14,450	0		14,450
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	7,693	1,133			6,560			6,560
14 ⁰⁰ -15 ²⁰	8,346	1,507		2,929	3,911	2,929		6,840
15 ²⁰ -16 ⁵⁵	9,106	1,790		13,784	-6,468	13,784		7,316
16 ⁵⁵ -18 ³⁰	8,582	1,790	1,4	3,068	2,324	4,468		6,792
18 ³⁰ -20 ⁰⁵	6,642	1,790			4,852	0		4,852
20 ⁰⁵ -21 ³⁵	5,219	1,700			3,519	0		3,519
21 ³⁵ -22 ⁰⁰	1,130	0,472					0,657	
22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	2,576	1,133					1,443	
23 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	1,202	1,133					0,069	

Проведений аналіз складових «спектру» електроспоживання показує, що у процентному відношенні осереднені обсяги споживання електричної енергії струмоприймачами у будівлі навчального корпусу розподіляються за системами:

- «фонове» споживання близько 951,72 кВт·год ~ 41%;
- споживання у учбовому процесі (розрахункове) 807,43 кВт·год ~ 38%, у якому: системами освітлення близько 66,51 кВт·год ~ 8 %; гаджетами навчальними близько 740,92 кВт·год ~ 92 %;
- споживання системою зовнішнього освітлення та іншими процесами близько 99,31 кВт·год ~ 5%;
- споживання у допоміжних процесах близько 353,58 кВт·год ~ 16 %.

Для наглядності сформовано графічну інтерпретацію профілю та «спектру» добового електроспоживання струмоприймачами учбового корпусу. Використовуючи дані таблиці за 21.09.2020 р., побудовано стовпчикові діаграми профілю та «спектру» добового електроспоживання з графічним визначенням обсягів складових «спектру». По вісі абсцис розташовано добовий часовий інтервал T (год), за віссю ординат розташовано шкалу електроспоживання A (кВт·год).

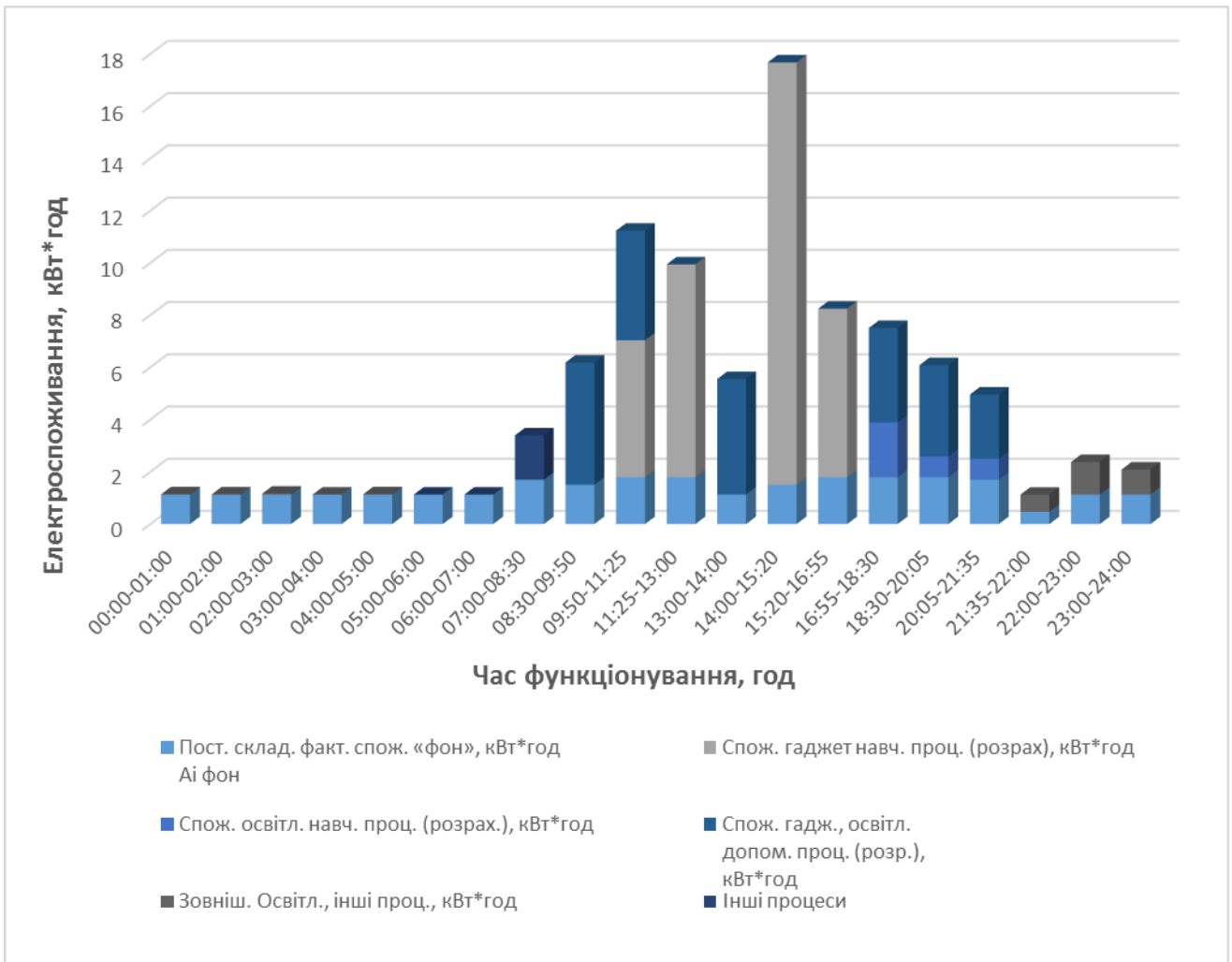


Рис. 3.5 – «Спектр» прогнозованого споживання електроенергії за складовими (елементами) та періодами доби 21.09.2020 р.

Аналізуючи «спектр» прогнозованого споживання електроенергії за складовими та періодами доби 21.09.2020 р., можна говорити про те, що в різні періоди доби споживається різна кількість електроенергії. Пік використання електроенергії спостерігається з 14⁰⁰ до 15²⁰ і становить майже 18 кВт·год, проте за фактичними показниками в даний проміжок часу споживання становило лише 6,22 кВт·год. Під час розрахунку прогнозованого споживання у навчальному процесі використовувалися коефіцієнти завантаження, що були надані викладачами дисциплін. Порівнюючи показники фактичного та прогнозованого електроспоживання, можливо зробити висновки, що вплив людського фактору є глобальним, адже

викладачі завищили час використання гаджетів у навчальному процесі і фактична кількість студентів присутніх в аудиторіях є меншою від списочної.

Даний аналіз підтверджує, що для максимально точного прогнозування споживання електроенергії необхідне створення автоматизованих комплексів короткотермінового прогнозування та моніторингу їх електроспоживання для уникнення всіх факторів що негативно впливають на розрахунки.

4 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ СЕРЕД ПРАЦІВНИКІВ СЛУЖБИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТА РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

4.1 Система підвищення мотивації

Мотивація - це процес свідомого вибору людиною того або іншого типу поведінки, обумовленої комплексним впливом зовнішніх (стимули) і внутрішніх (мотиви) чинників [41].

Система підвищення мотивації (СПМ) – це система принципів, направлених на підвищення мотивації у колективі працівників системи енергетичного менеджменту (СЕМ). У різних установах у різний час було введено незалежні один від одного принципи, що позитивно впливали на зростання продуктивності серед працюючих. У цьому дослідженні був проведений детальний аналіз цих принципів за критеріями вірогідності їх реалізації та ефективності, після чого була створена наступна СПМ, що складається з:

1. Соціальної складової (5 основних принципів):

1.1 Створення простої лінії комунікації на ієрархічній вертикалі. Тобто створення рівних соціальних відносин між керуючими та підпорядкованими ланками.

1.2 Створення стимулюючої атмосфери змагання на ієрархічній горизонталі, шляхом створення серед СЕМ декількох груп працівників, які матимуть однакову мету, при цьому винагородження отримає група, що досягне мети першою.

1.3 Інформування колективу про відзнаки того чи іншого співробітника використовуючи соціальні мережі. Це створить позитивну соціальну динаміку, направлену на заохочення співробітників до підвищення свого соціального статусу.

1.4 Створення можливості обирати винагородження за досягнення мети кожним співробітником окремо і групою в цілому.

1.5 Створення розкладу праці в залежності від пропозицій співробітників СЕМ, що базується на принципах строків досягнення мети, а не обов'язкових трудових годинах.

2. Фінансової складової (2 основних принципи):

2.1 Створення виплати процентів співробітникам від загального економічного ефекту, досягнутого за рахунок праці СЕМ.

2.2 Створення фіксованого процентного кроку додатку до основної заробітної плати працівників, що нараховується в арифметичній прогресії за кожну досягнуту мету, поставлену керівництвом СЕМ.

4.2 Розрахунок математичного очікування

Розрахунок припустимого підвищення продуктивності від впровадження вище описаної системи підвищення мотивації буде наведений за допомогою математичних інструментів теорії ймовірності.

У контексті енергоменеджменту продуктивність слід розглядати як співвідношення проценту скорочення витрат до загального обсягу витрат на енергоресурси [40]:

$$P_{\text{фак}} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} c_i}{100\%}, \quad (4.1)$$

де $P_{\text{фак}}$ – фактична продуктивність, одиниць;

c_i – i -ий процент скорочених витрат, %, у роботі оперуємо змінною X ($X = c$).

Оперуючи цим показником, проаналізуємо динаміку інновації диференційовано по кожній із складових системи, а потім і інтегрально.

Для тих принципів, що уже мали досвід введення у різних економічних та державних структурах, обрано метод вираховування математичного сподівання на основі зібраних даних.

Як відомо, математичне сподівання, середнє значення — одна з основних числових характеристик кожної числової змінної. Воно є узагальненим поняттям середнього значення сукупності чисел на той випадок, коли елементи множини значень цієї сукупності мають різну "вагу", ціну, важливість, пріоритет, що є характерним для значень випадкової змінної [42].

Математичне очікування знаходиться за формулою:

$$M(X) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i, \quad (4.2)$$

де $M(X)$ – математичне очікування, %;

x_i – деяке дискретне значення, якого може набувати змінна X у результаті певної події;

p_i – ймовірність настання події, при якій змінна X набуває дискретного значення x_i . У даному дослідженні у якості змінної X виступає процент зниження витрат на енергоресурси, з x_i конкретними значеннями.

Для цих значень вираховується ймовірність згідно з отриманими даними досвіду впровадження принципів системи підвищення мотивації в різних університетах світу III-IV рівнів акредитації [43].

Ймовірністю називається кількісна міра можливості настання певної події [7]:

$$P(X) = \frac{n}{m}, \quad (4.3)$$

де $P(X)$ – ймовірність;

n – кількість сприятливих подій;

m – кількість загальних подій.

У якості сприятливих подій у цьому дослідженні розглядаються події, при яких значення процентів зменшення витрат досягає певного позитивного рівня, а в якості загальних подій, усі спостережені значення. При цьому загальний обсяг подій являє собою 12 місяців, а обсяг сприятливих подій - кількість місяців, у яких показник набував певного процентного значення. Обирається три таких значення, приближених до цілих з малим кроком відхилення.

Для проведення аналізу ймовірності обираємо малу вибірку з 5 університетів, в яких впроваджувались розглянуті принципи, при цьому генеральна сукупність складає 50 університетів.

У таблиці 4.1 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 1.1 – створення простої лінії комунікацій на ієрархічній вертикалі [43].

Таблиця 4.1 – Розподіл подій по принципу 1.1

Університет	Значення проценту зменшення витрат, $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
1	2	3	4
National University of Lewis, USA	$x_1=0,1$	7	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	1	
1	2	3	4
University of Vermont, USA	$x_1=0,1$	5	12
	$x_2=0,2$	3	
	$x_3=0,3$	4	
University of Aberdeen, UK	$x_1=0,1$	8	12
	$x_2=0,2$	2	
	$x_3=0,3$	2	
University of Leeds, UK	$x_1=0,1$	7	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	1	
Université de Franche-Comté, FR	$x_1=0,1$	5	12
	$x_2=0,2$	5	
	$x_3=0,3$	2	

Знаходимо середню ймовірність для кожного окремого x_i -го за формулою [42]:

$$P(x_i) = \frac{\sum_{k=1}^n P_k(x_i)}{n}, \quad (4.4)$$

де $P(x_i)$ – середня ймовірність;

$P_k(x_i)$ – k -та ймовірність події x_i ;

n – кількість ймовірностей, $n = 5$.

Отже для x_1 :

$$P(x_1) = \frac{P_1(x_1) + P_2(x_1) + P_3(x_1) + P_4(x_1) + P_5(x_1)}{5} = \frac{0,58 + 0,41 + 0,66 + 0,58 + 0,41}{5} = 0,53.$$

Таким же чином робимо розрахунок для x_2 та x_3 :

$$P(x_2) = \frac{P_1(x_2) + P_2(x_2) + P_3(x_2) + P_4(x_2) + P_5(x_2)}{5} = \frac{0,33 + 0,25 + 0,16 + 0,33 + 0,41}{5} = 0,28.$$

$$P(x_3) = \frac{P_1(x_3) + P_2(x_3) + P_3(x_3) + P_4(x_3) + P_5(x_3)}{5} = \frac{0,08 + 0,33 + 0,16 + 0,08 + 0,16}{5} = 0,16.$$

Знаходимо математичне очікування для значення проценту зменшення витрат, викликаним введенням принципу 1.1 СПМ за формулою (4.2):

$$\begin{aligned} M(X_{1,1}) &= \sum_{i=1}^{\infty} x_i P(x_i) = x_1 \cdot P(x_1) + x_2 \cdot P(x_2) + x_3 \cdot P(x_3) = \\ &= 0,1 \cdot 0,53 + 0,2 \cdot 0,28 + 0,3 \cdot 0,16 = 0,15 \%. \end{aligned}$$

Таким чином за результатами розрахунків математичне очікування для зменшення витрат, викликаним виконанням принципу 1.1 СПМ, становить 0,15 %.

У таблиці 4.2 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 1.2 – створення стимулюючої атмосфери змагання на ієрархічній горизонталі [43].

Таблиця 4.2 – Розподіл подій по принципу 1.2

Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
Université d'Artois,FR	$x_1=0,3$	3	12
	$x_2=0,4$	5	
	$x_3=0,5$	4	
Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
University de Vray,USA	$x_1=0,3$	8	12
	$x_2=0,4$	2	
	$x_3=0,5$	2	
Judson University,USA	$x_1=0,3$	4	12
	$x_2=0,4$	4	
	$x_3=0,5$	4	
Keele University,UK	$x_1=0,3$	3	12
	$x_2=0,4$	8	
	$x_3=0,5$	1	
University of Wales, Swansea,UK	$x_1=0,3$	6	12
	$x_2=0,4$	5	
	$x_3=0,5$	1	

Отримані дані та подальші розрахунки зведені до табличного вигляду та наведені в таблиці 4.8.

У таблиці 4.3 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 1.3 – інформування колективу про їх відзнаки через соціальні мережі [43].

Таблиця 4.3 – Розподіл подій по принципу 1.3

Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
Lincoln University,NZ	$x_1=0,1$	6	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	2	
Judson University,USA	$x_1=0,1$	7	12
	$x_2=0,2$	5	
	$x_3=0,3$	0	
University of Sussex,UK	$x_1=0,1$	7	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	1	
Technische Universitaet Berlin,DE	$x_1=0,1$	5	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	3	
Massey University,NZ	$x_1=0,1$	8	12
	$x_2=0,2$	4	
	$x_3=0,3$	0	

У таблиці 4.4 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 1.4 – створення можливості обирати винагородження за досягнення мети [43].

Таблиця 4.4 – Розподіл подій по принципу 1.4

Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
Julius-Maximilians- Universitaet Wuerzburg,DE	$x_1=1$	0	12
	$x_2=1,1$	8	
	$x_3=1,2$	4	
Technische Universitaet Berlin,DE	$x_1=1$	4	12
	$x_2=1,1$	6	
	$x_3=1,2$	2	
Lincoln University,NZ	$x_1=1$	3	12
	$x_2=1,1$	5	
	$x_3=1,2$	4	
University of Sussex,UK	$x_1=1$	2	12
	$x_2=1,1$	3	
	$x_3=1,2$	5	
University of Chicago,USA	$x_1=1$	2	12
	$x_2=1,1$	0	
	$x_3=1,2$	10	

У таблиці 4.5 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 1.5 – створення розкладу праці в залежності від пропозицій співробітників [43].

Таблиця 4.5 – Розподіл подій по принципу 1.5

Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
Keele University, UK	$x_1=3$	4	12
	$x_2=4$	6	
	$x_3=5$	2	
University of Wales, Swansea, UK	$x_1=3$	5	12
	$x_2=4$	6	
	$x_3=5$	1	
University of Canterbury, NZ	$x_1=3$	4	12
	$x_2=4$	7	
	$x_3=5$	1	
Judson University, USA	$x_1=3$	7	12
	$x_2=4$	5	
	$x_3=5$	0	
Lincoln University, NZ	$x_1=3$	3	12
	$x_2=4$	8	
	$x_3=5$	1	

У таблиці 4.6 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 2.1 – створення виплати процентів співробітникам від загального економічного ефекту [43].

Таблиця 4.6 – Розподіл подій по принципу 2.1

Університет	Значення проценту зменшення витрат $x_i(\%)$	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
Massey University,NZ	$x_1=8$	2	12
	$x_2=9$	3	
	$x_3=10$	7	
Quincy University,USA	$x_1=8$	1	12
	$x_2=9$	0	
	$x_3=10$	11	
Ludwig-Maximilians-Universitaet Muenchen,DE	$x_1=8$	2	12
	$x_2=9$	7	
	$x_3=10$	3	
Université Clermont-Ferrand I,FR	$x_1=8$	2	12
	$x_2=9$	7	
	$x_3=10$	3	
North Park University,USA	$x_1=8$	4	12
	$x_2=9$	5	
	$x_3=10$	2	

У таблиці 4.7 відображений розподіл подій серед 5 університетів, в яких у різний час впроваджувався принцип 2.2 – створення фіксованого процентного кроку додатку до основної заробітної плати працівників [43].

Таблиця 4.7 – Розподіл подій по принципу 2.2

Університет	Значення проценту зменшення витрат x_i (%)	Кількість сприятливих подій (місяців), n	Загальна кількість подій (місяців), m
University Erickson, USA	$x_1=4$	6	12
	$x_2=4,5$	2	
	$x_3=5$	4	
Université IV,FR Bordeaux	$x_1=4$	5	12
	$x_2=4,5$	3	
	$x_3=5$	4	
Brunel University,UK	$x_1=4$	7	12
	$x_2=4,5$	3	
	$x_3=5$	2	
Universitaet Passau,DE	$x_1=4$	6	12
	$x_2=4,5$	3	
	$x_3=5$	3	
Quincy University,USA	$x_1=4$	8	12
	$x_2=4,5$	1	
	$x_3=5$	3	

Таблиця 4.8 – Результати розрахунків

Показник		Принцип						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2
Середня ймовірність	$P(x_1)$	0,53	0,39	0,54	0,18	0,38	0,17	0,53
	$P(x_2)$	0,28	0,39	0,34	0,36	0,53	0,36	0,19
	$P(x_3)$	0,16	0,19	0,09	0,40	0,08	0,43	0,26
Математичне очікування ,%		0,15	0,36	0,15	1,05	3,66	8,95	4,27

4.3 Розрахунок похибок розподілу подій

Визначимо середню помилку розрахунків за формулою [40]:

$$\Delta m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \quad (4.5)$$

де Δm – середня помилка, %;

m_i – i -та помилка;

n – кількість розрахунків по вибіркам, $n=7$.

У свою чергу визначимо помилку по кожній з вибірок окремо за формулою [42]:

$$m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \% \quad (4.6)$$

де σ^2 – дисперсія дискретної змінної X , %;

n – обсяг вибірки.

Дисперсію знаходимо за формулою [40]:

$$\sigma^2 = M(|X - M(X)|^2), \% \quad (4.7)$$

Розраховуємо дисперсію та середню помилку для кожного принципу СПМ:

Для $X_{1,1}$:

$$\sigma^2(X_{1,1}) = |0,1 - 0,15|^2 \cdot 0,53 + |0,2 - 0,15|^2 \cdot 0,28 + |0,3 - 0,15|^2 \cdot 0,16 = 0,005\%;$$

$$m(X_{1,1}) = \sqrt{\frac{0,005}{5}} = 0,031\%.$$

Результати розрахунків наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Дисперсія та середня помилка для кожного принципу СПМ

Показник	Принцип						
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2
Дисперсія,%	0,005	0,011	0,005	0,010	0,360	0,520	0,210
Помилка ,%	0,031	0,046	0,031	0,044	0,260	0,320	0,200

Тоді середня помилка становить:

$$\Delta m = \frac{0,031 + 0,046 + 0,031 + 0,044 + 0,26 + 0,32 + 0,2}{7} = 0,13\%.$$

4.4 Розрахунок продуктивності

Розрахуємо очікувану продуктивність після введення СПМ за формулою (4.1):

$$P_{фак} = \frac{0,15 + 0,36 + 0,15 + 1,05 + 3,66 + 8,9 + 4,27}{100} = 0,18.$$

$$P_{фак} = 18\%.$$

Тобто, слід очікувати підвищення економічного ефекту від впровадження СПМ у СЕМ на 18%, що є досить вагомим аргументом на користь запропонованої системи.

У результаті впровадження інженерно-технічних заходів, наукових розробок, елементів енергетичного менеджменту Сумського державного університету (включаючи матеріальне стимулювання працівників СЕМ)

вдалося майже на 20 % скоротити споживання тільки за рахунок економії теплової енергії, що забезпечило значну економію коштів. При цьому було збільшено опалювальні площі та покращено комфортність умов роботи. Що корелюється з теоретичними вищенаведеними розрахунками [44].

На рисунку 4.1 відображена гістограма підвищення продуктивності, при взятому початковому рівні за умовну одиницю.

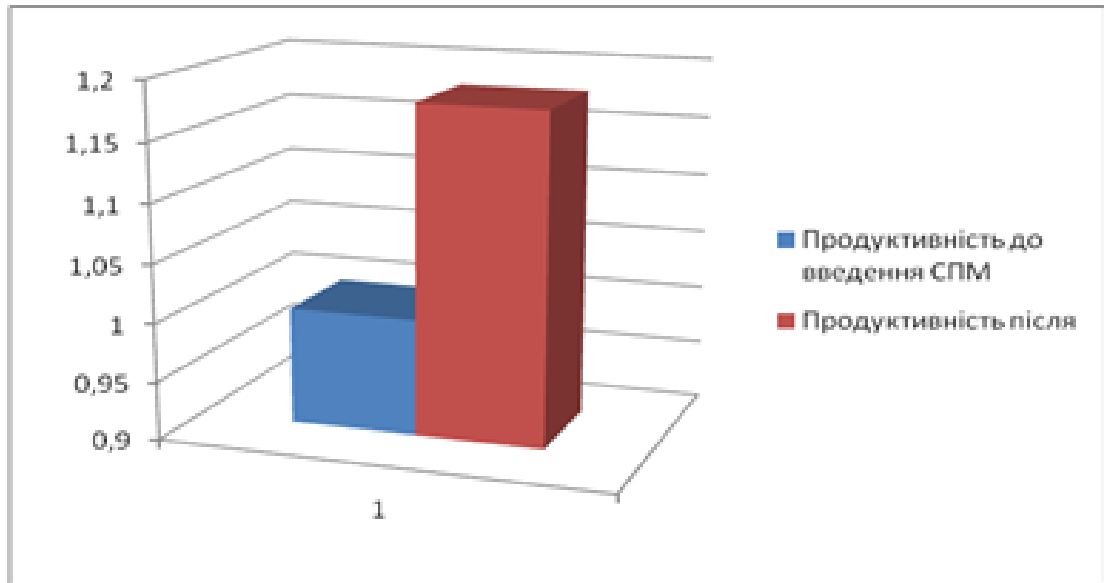


Рис. 4.1 – Гістограма продуктивності

4.5 Практичний досвід впровадження системи мотивації у Сумському державному університеті

В Сумському державному університеті (СумДУ) введено в дію Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників Сумського державного університету за економію паливно-енергетичних ресурсів, яке розроблено на підставі «Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств, організацій та установ за економію паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві», затвердженого Наказом Держкоменергозбереження та Мінекономіки № 47/127 від 21.06. 2000 року та зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 10 липня 2000 року за № 405/4526 [45].

Положення має на меті посилення творчої та ділової активності працівників СумДУ і їх матеріальної зацікавленості в питаннях економії ПЕР та їх ефективного використання.

Положення застосовується для матеріального стимулювання працівників, які забезпечили економію ПЕР і води в результаті:

- підвищення ефективності використання ПЕР;
- впровадження енергоощадних заходів, технологій та обладнання;
- виконання основних напрямків по збереженню тепла, електроенергії та води, які передбачені в Програмі енергозбереження та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів в СумДУ.

Матеріальне стимулювання здійснюється за ефективне використання енергоресурсів та впровадження енергоощадних заходів (технологій, обладнання) шляхом преміювання працівників у межах встановленої частини вартості зекономлених ПЕР, яка підтверджена бухгалтерською звітністю з використанням допоміжної інформації даних оперативного обліку в підрозділах (будівлях) СумДУ.

Економія енергоресурсів визначається як різниця між наскрізними базовими і фактичними (звітними) витратами (платежами) ПЕР та води. Показники лічильників знімаються відповідальною особою, яка призначена наказом по університету на протязі 3-х днів по закінченню звітного місяця та заносяться в журнал оперативного обліку з датою та її підписом.

Підставою для матеріального стимулювання є розрахунок зекономлених ПЕР та води, що оформляються планово-фінансовим відділом, підписується головним енергетиком, начальником планово-фінансового відділу, керівником спеціалізованої групи для забезпечення проведення енергетичних обстежень ВУЗів, ПТУ та інших установ і затверджується проректором з адміністративно-господарчої частини університету.

Матеріальне стимулювання може здійснюватися для колективів окремих підрозділів (служб, кафедр, деканатів, відділів тощо) - щомісячно

або щоквартально за фактичну економію ПЕР та води, при наявності обґрунтованого підтвердження економії.

Як правило за економію ПЕР та води нижчепереліченим категоріям працівників:

1 Електричної енергії - комендант, черговий сторож, електрик, електромеханік по ліфтам, керівник підрозділу.

2 Холодної води - комендант, черговий сторож, сантехнік, керівник підрозділу.

3 Гарячої води - комендант, черговий сторож, сантехнік.

4 Теплової енергії - комендант, сантехнік.

5 Газу - керівник підрозділу, черговий сторож, комендант.

Для окремих працівників за впровадження енергоощадних заходів, технологій та обладнання преміювання може проводитись тільки за наявності економії придбаних палива, електроенергії та інших енергоносіїв у цілому по СумДУ накопичувальним підсумком за 6 місяців з коригуванням розмірів премії. Якщо за попередні 5 місяців мали місце перевитрати ПЕР, то розмір фонду, який спрямовується на матеріальне стимулювання колективу, підлягає зменшенню на величину, яка відповідає цим перевитратам.

Матеріальному заохоченню підлягають працівники, які безпосередньо виконали роботи по впровадженню енергозберігаючих заходів.

Встановлено, що загальна сума коштів, що спрямовується на матеріальне стимулювання становить до 30 % вартості зекономлених ресурсів (платежів).

З виділених коштів на матеріальне заохочення 15 % можуть бути направлені на преміювання працівників загальноуніверситетських служб (підрозділів) та адміністративних працівників.

Сума премії, яка виплачується одному працівнику за економію конкретних видів ПЕР або за впровадження енергоефективних технологій та обладнання граничними розмірами не обмежується.

Пропозиції щодо списку осіб на преміювання та розміру премій у межах суми, яка виділяється для преміювання, представляється проректором з адміністративно-господарчої частини та затверджується наказом по університету.

Ректор університету може змінити розмір премії, або позбавити її повністю за невиконання завдання щодо зниження чи перевитрат ПЕР.

Наразі готується друга версія Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників Сумського державного університету за економію паливно-енергетичних ресурсів.

ВИСНОВКИ

Наукові дослідження, проведені в рамках виконання науково-дослідної роботи, дозволили сформулювати наступні основні висновки та пропозиції.

1. «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.07.2008 року №436-р «Про затвердження плану заходів на 2006-2030 роки» щодо реалізації Енергетичної стратегії України та «Програмою Міністерства освіти і науки України щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти, підпорядкованими Міністерству і фінансування яких здійснюється з державного бюджету», визначені основні завдання щодо суттєвого скорочення питомих витрат електроенергії на виробництво одиниці продукції/послуг.

2. У світовій практиці існують методики прогнозування споживання електроенергії. Але всі вони базуються на інформації, яка надходить від кожної точки споживання за допомогою лічильників, які мають можливість передавати інформацію про миттєві значення спожитих потужностей у центри обробки даних. В Україні не існує подібної розвинутої інфраструктури, що унеможлиблює використання закордонних методик. Створення подібної розгалуженої системи датчиків та лічильників у масштабах країни потребує досить значних витрат часу та капіталовкладень.

3. Пропоновані в проекті основні положення теорії моделювання систем управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії споживачами враховують закономірності динаміки часових рядів внутрішніх (техніко-економічних, структурних, режимних) та зовнішніх (метеорологічних, екологічних, паливно-енергетичних, макроекономічних) факторів, які характеризують систему «генерація – кліматичні умови – енергоспоживання». Динаміка часових рядів цих факторів характеризується слабкою прогнозованістю. Разом з тим було встановлено, що не зважаючи на їх слабку прогнозованість, між ними існує взаємозв'язок (коінтеграція), який

призводить до деякої спільної, взаємопов'язаної зміни. Саме ця особливість динаміки часових рядів внутрішніх та зовнішніх факторів, дозволяє застосувати, при їх дослідженні, теорію Р. Енглу та К. Гренджера.

Характерною особливістю системи «об'єкт енергоспоживання» є стаціонарний характер часових рядів факторів її функціонування. Інакше, – функції розподілу стаціонарних динамічних рядів не змінюються при зсуві часу. Ця особливість динаміки часових рядів системи «об'єкт енергоспоживання» дозволяє застосувати, при їх дослідженні, теорію авторегресійного моделювання.

4. В ході дослідження було проведено збір та підготовку статистичних даних, тестування різних методик моделювання, перевірку моделей на адекватність та оцінювання якості отриманих прогнозів. Важливим етапом було поєднання різних авторегресійних підходів, структурного моделювання та нейромережевого прогнозування для математичної та комп'ютерної реалізації адаптивної моделі енергоспоживання з елементами штучного інтелекту. В результаті тестування різних методик моделювання була обгрунтована можливість вирішення задачі прогнозування та управління споживанням електроенергії на основі інтелектуальних систем (ARIMA моделей).

5. Вирішення завдань проекту базується на міждисциплінарному системному дворівневому підході до формування системи енергетичного менеджменту. Зокрема, для дослідження основних компонентів системи енергетичного менеджменту була створена розрахункова модель об'єкту досліджень. При цьому, система електроспоживання розглядалась як складна система на яку діють зовнішні фактори. Були визначені стохастичні та детерміновані компоненти моделі споживання електроенергії. Після цього проводився аналіз факторів та виявлені значущі фактори, що впливають на поведінку складної системи. Розроблена модель досліджувалась за допомогою комп'ютерного експерименту при значних відхиленнях від номінальних параметрів з метою її верифікації і перевірки адаптивності до

суттєвої зміни структури системи споживання і при значних відхиленнях зовнішніх факторів.

6. В результаті виконання теоретичної частини проекту були суттєво вдосконалені теоретичні основи моделювання систем управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії споживачами, що базуються на поєднанні елементів узагальнених авторегресійних моделей ковзної середньої (ARIMA), структурних та коінтеграційних (теорія Р. Енглу та К. Гренджера) моделей. На теоретичному рівні вперше обгрунтовано нову концепцію автоматизованої системи прогнозування та моніторингу електроспоживання струмоприймачами, яка базується на: способі неінвазивного підключення первинних пристроїв вимірювання до існуючих електромереж для фіксації поточних параметрів струмоприймачів; автоадаптивних моделях довго- та короткострокового прогнозування з урахуванням стахостичних та детермінованих факторів впливу на систему електроспоживання, що дозволяє сформулювати інформаційно-аналітичну базу для раціоналізації електроспоживання за визначеними циклами технологічного процесу.

7. На основі теоретичних моделей з метою практичного впровадження системи управління та прийняття рішень з питань використання та збереження електроенергії, була проведена деталізація міждисциплінарних, системних підходів, що дозволило забезпечити функціонування системи енергозаощадження на всіх рівнях, включаючи питання: аналізу та порівняння об'єктів з іншими, оптимізації витрат бюджетних та власних коштів закладів освіти на оплату електроенергії, розробку форм звітності та методичних і супровідних документів, створення автоматизованого програмного комплексу для впровадження системи збору та аналізу інформації щодо використання об'єктами галузі освіти електроенергії, впровадження пілотних системи управління ефективністю використання електричної енергії для окремих закладів освіти.

Пропонований в проекті підхід не потребує впровадження масштабної технічної інфраструктури, маловитратний і може бути швидко адаптований до зміни інфраструктури системи «споживач – виробник».

8. Спосіб автоматизованого короткотермінового прогнозування та моніторингу електроспоживання навчальними закладами полягає в тому що, до серверу системи вносять фактичні показники електроспоживання, з інформаційної бази системи, що має пристрої збору даних поточного споживання, які об'єднані у окрему підсистему, або одержані з автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), які порівнюють з розрахунковими прогнозними показниками електроспоживання, що отримані з використанням постійної бази даних, в яку входять інформаційні масиви щодо учбових та допоміжних приміщень будівлі з визначенням переліку струмоприймачів та їх установленої електричної потужності, перелік струмоприймачів за системами енергоспоживання будівлі, визначені сумарні установлені електричні потужності струмоприймачів за системами кожної будівлі, такі як: системи штучного освітлення, системи виконання основного технологічного процесу та допоміжних процесів, системи забезпечення адміністративної діяльності та побутових потреб, системи енергозабезпечення будівель та процесів, а також їх підтримки, який відрізняється тим, що додатково створюють змінну базу даних, в яку входить розклад занять, перелік струмоприймачів, що використовуються при проведенні занять та їх установлену електричну потужність та розраховують значення коефіцієнта завантаження сумарної установленої електричної потужності струмоприймачів та коефіцієнт використання сумарної установленої електричної потужності струмоприймачів. Також до серверу системи з погодних сайтів по мережі Інтернет надходять дані метеорологічних спостережень та прогнозів щодо прогнозного рівня хмарності, тривалості світлового дня на поточну та наступну добу, за якими визначають значення погодного коефіцієнта у проміжках часу проведення занять чи робочого часу протягом доби, який

приймає значення 0 – при достатній природній освітленості приміщень, 1 – при зниженні природної освітленості нижче нормованого рівня, після чого в автоматичному режимі виконують розрахунок обсягів прогнозного споживання електричної енергії за системами кожного приміщення будівлі.

На основі отриманих даних, сервер системи формує інформаційний протокол у вигляді таблиць та графіків щодо прогнозних розрахункових обсягів електроспоживання наступної доби, прогнозних скорегованих розрахункових обсягів електроспоживання минулої доби, фактичного електроспоживання поточної доби, відкоригованих у відповідності до змін у розкладі та погодних показників розрахункових обсягів електроспоживання минулої доби та проводить порівняння прогнозних відкоригованих розрахункових обсягів електроспоживання минулої доби з фактичними обсягами електроспоживання минулої доби і на основі фактичних поточних даних електроспоживання, порівнюючи з прогнозним обсягом поточного споживання, за алгоритмом системи сервером обраховується величина невідповідності зазначених показників і у разі перевищення поточного електроспоживання над прогнозним формується та видається команда на автоматичне відключення не відповідальних струмоприймачів для узгодження обсягів поточного фактичного електроспоживання з прогнозним. Також, на основі розрахованих системою даних, є можливість прийняття рішень та надання рекомендацій персоналу щодо ефективного використання та заощадження електричної енергії.

9. Для вирішення задачі поточного моніторингу система має пристрої збору даних поточного споживання, які об'єднані у окрему підсистему. Її побудовано на базі мікропроцесорної техніки та організовано як безконтактну з мережею електропостачання. Один пристрій дозволяє отримувати інформацію з 16 датчиків одночасно і концентрувати її для подальшої передачі одним мультиплексором. Похибка вимірювань складає від 1% до 5%. Тобто систему можна використовувати як інформаційну, точність зафіксованих показань якої задовольняє вимоги до АСКОЕ.

10. Сумарна розрахункова вартість впровадження (включаючи витрати на прилади, комплектуючі, монтажні та пусконаладжувальні роботи, а також вартість ліцензії) становить близько 11,55 тис. грн. (за умови можливості підключення 16 точок вимірювання). Питома вартість підключення однієї точки вимірювання становить близько 0,72 тис. грн. Порівняння середніх вартісних показників впровадження однієї точки АСКОВЕ та запропонованої інформаційної системи моніторингу і короткострокового прогнозування обсягів споживання електроенергії закладами освіти KODROS Сумського державного університету, яку створено за наведеними принципами та алгоритмами, показує доцільність впровадження такої системи. Результати стендових випробувань елементів системи, її дослідна експлуатація показує, що за рахунок впровадження нормативних показників електроспоживання та їх дотримання за інформаційної підтримки вказаною системою можливо зменшити обсяги споживання електроенергії навчальним закладом у межах 7-8%. Простий термін окупності одного вузла вимірювання складає 1,2...1,4 роки. Система моніторингу окрім функції «визначення слабких місць» електроспоживання, може слугувати інструментом контролю додержання технологічних, санітарно-гігієнічних та інших нормативів (в тому числі забезпечення навчального процесу) функціонування будівель (корпусів, лабораторій та ін.).

11. Результати проекту будуть корисними при плануванні та визначенні об'ємів фінансування закладів бюджетної сфери. Функціонування такої системи дозволяє сформувавши прогноз витрат електричної енергії у навчальних закладах за видами (елементами) їх діяльності: навчальний процес, обслуговування навчального процесу, госпдоговірні тематика та ін. Такий прогноз та система поточного контролю фактичних витрат електроенергії має стати основою подальшого формування важелів впливу на заохочення персоналу і керівного складу закладів освіти та інших закладів до дієвого впровадження енергозбереження. При цьому, вона має стати базовою

щодо створення системи прогнозування споживання електричної енергії для конкретного регіону, а, отже, і формування балансів споживання та генерації електричної енергії на регіональному та загальнодержавному рівнях. Тобто, вона має стати базовим елементом, на якому ґрунтується та розвивається регіональна та державна система короткострокового прогнозування споживання електричної енергії, оптимізація енергетичних балансів раціонального споживання електричної енергії та її генерації. Такий підхід дозволяє з одного боку, встановити дієвий контроль за споживанням електроенергії, а з іншого, – мінімізувати її вироблення, що має зменшити екологічне навантаження на зовнішнє середовище.

12. Результати НДР направлено до Сумської обласної адміністрації для їх використання при розробці «Регіональної програми модернізації систем теплопостачання Сумської області на 2021-2026 р.р.» Результати НДР доповідались на науково-технічній раді Сумської обласної державної адміністрації з питань розвитку систем енергозабезпечення житла та соціально орієнтованих об'єктів житлово-комунальної сфери Сумської області (щодо використання результатів наукових досліджень при розробленні систем моніторингу, схем тепло- та водопостачання населених пунктів) в листопаді 2020 року, що проводилася під головуванням заступника Голови обласної державної адміністрації Сумської області Похальчука С.І. За результатами НДР розроблено та впроваджено у дослідну експлуатацію локальну систему короткострокового прогнозування та моніторингу електроспоживання струмоприймачами корпусу «М» Сумського державного університету. Результати НДР впроваджено в навчальний процес Сумського державного університету, зокрема при викладанні дисциплін «Глобальні проблеми енергетики та екології» «Маркетинг енергії», «Applied Econometrics», «Математичні методи в економіці», «Об'єктно-орієнтоване програмування» та ін. За тематикою НДР виконано 49 господарчих договорів на загальну суму 1159,17 тис. грн. з ПДВ, зокрема, завершено роботи за договором: «Послуги з розробки енерго- та екологоефективної Схеми

теплопостачання міста Лебедин»; «Підготовка вхідних даних для заміни та встановлення нового обладнання для впровадження вистеми моніторингу теплоспоживання на Сумському ДНЗ №1, №3, №5, №13 та ін.».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Application of ARIMA for forecasting energy consumption and GHG emission: A case study of an Indian pig iron manufacturing organization / P. Sen, M. Roy, P. Pal. // *Energy*. – 2016. – Vol. 116, – P. 1031–1038. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.068>.
2. Kalinchyk VP Methodology of operational management of electricity consumption / VP Kalinchyk // *Energy*. – 2013. – №1. – P. 49-53. Link to: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2013_1_10..
3. Time series forecasting for building energy consumption using weighted Support Vector Regression with differential evolution optimization technique / [F. Zhang, C. Deb, S. Lee and oth.] // *Energy and Buildings*. – 2016. – Vol. 126. – P. 94–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.028>
4. Statistic linear parametric techniques for residential electric energy demand forecasting. A review and an implementation to Chile / H. Verdejo, A. Awerkin, C. Becker, G. Olguin // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 74. – P. 512–521. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.110>.
5. Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks / A. Rahman, V. Srikumar, A. Smith // *Applied Energy*. – 2018. – Vol. 212. – P. 372–385. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.051>.
6. OECD/IEA 2015 Energy and Climate Change – World Energy Outlook Special Report, IEA Publishing. – Mode of access: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>.
7. A review on time series forecasting techniques for building energy consumption / [C. Deb, F. Zhang, J. Yang and oth.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 74. – P. 902–924. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.085>.

8. Building electrical energy consumption forecasting analysis using conventional and artificial intelligence methods: A review / [M. Daut, M. Hassan, H. Abdullah and oth.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.015>.
9. Son H. Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variables / H. Son, C. Kim // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2017. – Vol. 123. – P. 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.016>.
10. Official site of the State Statistics Service of Ukraine. Link to: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
11. Policies to enhance the drivers of green housing development in China / L. Zhang, J. Wu, H. Liu // *Energy Policy*. – 2018. – Vol. 121. – P. 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.029>.
12. Su Y.–W. Electricity demand in industrial and service sectors in Taiwan / Y.–W. Su // *Energy Efficiency*. – 2018. – Vol. 11, Issue 6. – P. 1541–1557. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9615-y>.
13. Carvalho A. Energy efficiency in transition economies: A stochastic frontier approach / A. Carvalho // *Economics of Transition*. – 2018. – Vol. 26, Issue 3. – P. 553–578. <https://doi.org/10.1111/ecot.12152>.
14. Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. *Forecasting: principles and practice*. 2013. Mode of access: <https://www.otexts.org/fpp>.
15. Kantorovich, G.G. Analysis of time series. *Economic Journal of the Higher School of Economics*. – 2002. №2. – P. 251-273. Link to: <http://ecsocman.hse.ru/text/16150199/>.BP Statistical Review of World Energy 2018. URL:<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>.
16. US Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/>.
17. BP Energy Outlook 2019 edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business->

[sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf).

18. ATFBank JSC of the Republic of Kazakhstan. Link to: https://www.atfbank.kz/docs/economics/energi_ru.pdf.

19. Central Intelligence Agency. The World Factbook. URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

20. List of cities by sunshine duration. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cities_by_sunshine_duration#Europe

21. On the approval of Methodological recommendations for calculating the level of economic security of Ukraine: Order of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine dated October 29, 2013, №1277. Link to: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1277731-13#Text>

22. Energy Security Risk Index Report. [Electronic resource]. – Link to: www.energyxxi.org/energy-security-risk-index.

23. Adolfson, M., Laseen, S., Linde, J., and Villani, M. (2007). Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE Model with Incomplete Pass-Through. *Journal of International Economics*, 72(2):481–511, doi:10.1016/j.jinteco.2007.01.003.

24. On the approval of Methodological recommendations for calculating the level of economic security of Ukraine: Order of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine dated October 29, 2013, №1277. Link to: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1277731-13#Text>.

25. Energy Security Risk Index Report. Link to: www.energyxxi.org/energy-security-risk-index

26. Ghysels E. Mixed Frequency Data Sampling Regression Models: The R Package midasr / E. Ghysels, V. Kvedaras, V. Zemlyys // *Journal of Statistical Software*. – 2016. – Vol. 72, Issue 4. – P. 1–35. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v072.i04>

27. World energy balances and statistics // International Energy Agency Forum [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/>. – Дата звернення: 12.05.2020.
28. World Bank Open Data // The World Bank [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://data.worldbank.org/>. – Дата звернення: 12.05.2020.
29. Economic Freedom of the World: 2018 Annual Report // The Fraser Institute [Electronic resource]. – Режим доступу: www.fraserinstitute.org/studies/economic-freedom-of-the-world-2018-annual-report. – Дата звернення: 05.05.2020.
30. EViews 11. Innovative Solutions for econometric analysis, forecasting & simulation // EViews [Electronic resource]. – Режим доступу: <http://www.eviews.com/>. – Дата звернення: 03.06.2020.
31. Dumitrescu, E. I. Testing for granger non-causality in heterogeneous panels / E. I. Dumitrescu, C. Hurlin // Economic Modelling [Electronic resource]. – 2012. – Vol. 29, Issue 4, – P. 1450–1460. – DOI: 10.1016/j.econmod.2012.02.014. – Дата звернення: 17.06.2020.
32. Monitoring and forecasting systems for electricity consumption in educational institutions/ Sotnyk M., Marynych T., Drozdenko A., Leontiev P., Telizhenko O. – Boston (USA) 2020 – 21с.
33. Мартиненко В.І., Босий Д.О. Дослідження ефективності автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії побутових споживачів/ В.І. Мартиненко, Д.О. Босий// Електрифікація транспорту – 2018. - № 15. - с. 99-108.
34. Досвід зарубіжних країн (ОЕСР, ЄС, Росія) та України з упровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії на об'єктах електроенергетики та у споживачів електроенергії / УКРЕНЕРГО / [Електронний інтернет - ресурс]. – режим доступу до ресурсу <https://ua.energy/mediya/galereya/analitichni-materialy/>
35. Національний стандарт України ДСТУ Б.А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання

при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні /Мінрегіон України. Видання офіційне.//Державне підприємство «Укрархбудінформ», Київ - 2015. -140 с.

36. Волошко А.В., Бедерак Я.С. Система моніторингу режимів електроспоживання промислового підприємства/ А.В. Волошко, Я.С. Бедерак//Енергетика: економіка, технології, екологія – 2014. - № 4. - с. 50-55.

37. Чернявський А.В., Якобюк Д.В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтовидобувної галузі/ А.В. Чернявський, Д.В. Якобюк// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. - № 2. – с. 111-115.

38. Офіційний сайт СумДУ [Електронний інтернет-ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://sumdu.edu.ua/>

39. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація .- 4 с.

40. Кудінова М. М. Мотивація праці як інструмент соціальної політики / М. М. Кудінова, Н. К. Мугдусієва, А. С. Чернишова // Електронний журнал «Ефективна економіка». – 2017. - № 4. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5543>

41. Мотивація і стимулювання праці / О. Єськов // Економіка України. – 2001. №2. – с. 82 – 83.

42. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч.-метод. посібник. У 2 ч. — Ч. І. Теорія ймовірностей. — К.: КНЕУ, 2000. — 304 с.

43. Clean Energy Research Center: [Електронний ресурс]//Oakland University.- URL:<http://www.oakland.edu/cerc>. (Дата звернення: 5.10.2012).

44. Сайт Сумського державного університету – Режим доступу: <https://sumdu.edu.ua/uk/about-sumdu/korysni-posylannia/green-university/energy-efficient-university.html>

45. Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств, організацій та установ за економію паливно-

енергетичних ресурсів у суспільному виробництві, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 липня 2000 р. за №405/4626.