

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

«РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ
НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ УНІВЕРСИТЕТУ, ДЛЯ СТВОРЕННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТУ УСТАНОВИ»

Виконав: здобувач вищої освіти групи ЗЕЕМ-22 Денис КИРИЛЕНКО

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

КИРИЛЕНКО Денис Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи моніторингу електроспоживання навчального корпусу університету, для створення енергетичного паспорту установи»

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: є розробка системи моніторингу електроспоживання навчального корпусу №1 Криворізького національного університету для формування енергетичного паспорту установи.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)
У пояснювальній записці необхідно розглянути сучасні підходи до моніторингу електроспоживання будівель, нормативну базу енергоефективності та структуру енергетичного паспорту. Також потрібно виконати розрахунок встановленої і розрахункової потужності навчального корпусу, побудувати графіки електроспоживання, розробити структурну схему системи моніторингу та виконати математичне моделювання режимів роботи з урахуванням сезонності й резервного живлення від ВДЕ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графічна частина роботи повинна містити структурну схему системи моніторингу електроспоживання корпусу №1 КНУ, схему розміщення основних точок обліку та блок-схему алгоритму збору й обробки даних. Також необхідно подати добові та сезонні графіки навантаження, діаграму структури електроспоживання, модель інтеграції ВДЕ для критичних навантажень і макет енергетичного паспорту навчального корпусу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		
II	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		
III	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Добір і аналіз літературних джерел, нормативних документів та готових рішень з енергомоніторингу будівель	12 травня 2026 р.
2	Формування структури роботи, визначення мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження	15 травня 2026 р.
3	Написання першого розділу: аналіз існуючих рішень, досліджень і нормативної бази	18 травня 2026 р.
4	Збір вихідних даних про навчальний корпус №1 КНУ та класифікація основних груп електричних споживачів	22 травня 2026 р.
5	Виконання розрахунку встановленої, розрахункової потужності, добового та річного електроспоживання корпусу	25 травня 2026 р.
6	Розробка структурної схеми системи моніторингу, вибір точок вимірювання та засобів обліку електроенергії	29 травня 2026 р.
7	Побудова математичної моделі електроспоживання, моделювання сезонних режимів та оцінка використання ВДЕ при відключеннях електроенергії	02 червня 2026 р.
8	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу, висновків, списку літератури та підготовка роботи до перевірки	05 червня 2026 р.
9	Добір і аналіз літературних джерел, нормативних документів та готових рішень з енергомоніторингу будівель	08 червня 2026 р.

Дата видачі завдання 12 травня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Денис КИРИЛЕНКО.

(Ім'я Прізвище)

Керівник роботи _____

(підпис)

Ігор ПЕРЕСУНЬКО

(Ім'я Прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Розробка системи моніторингу електроспоживання навчального корпусу університету, для створення енергетичного паспорту установи»: 70 с., 15 рис., 58 літературних джерел.

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5

Досліджуваний об'єкт — навчальний корпус №1 Криворізького національного університету як об'єкт електроспоживання, що включає аудиторії, адміністративні приміщення, комп'ютерні класи, лабораторії, системи освітлення, кондиціонування, вентиляції та допоміжне електрообладнання.

У першому розділі виконано аналіз сучасних підходів до моніторингу електроспоживання будівель, розглянуто нормативну базу енергоефективності, енергетичної сертифікації та енергоменеджменту. Також проаналізовано готові технічні рішення для збору, передавання, архівації та візуалізації даних про споживання електричної енергії.

У другому розділі проведено розрахунок встановленої та розрахункової потужності навчального корпусу №1 КНУ, визначено основні групи електричних споживачів і побудовано структуру добового та річного електроспоживання. На основі отриманих розрахунків сформовано показники, які можуть бути використані для створення енергетичного паспорту навчального корпусу.

У третьому розділі розроблено блок-схему системи моніторингу електроспоживання, визначено точки вимірювання, інформаційні зв'язки та порядок обробки даних. Також виконано математичне моделювання сезонної зміни електроспоживання та оцінено можливість використання відновлюваних джерел енергії для резервного живлення критичних навантажень під час відключень електроенергії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: електроспоживання, енергомоніторинг, енергетичний паспорт, навчальний корпус, енергоефективність.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Кириленко Л				Зміст	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Пересунько І						6	1
Н. Контр.	Пересунько І					КНУ		
Затвердж.	Пересунько І					гр. ЗЕЕМ-22		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГОТОВИХ РІШЕНЬ, НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ.....	9
1.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження та актуальність моніторингу.....	9
1.2. Нормативно-методична база енергетичної паспортизації та енергоменеджменту.....	11
1.3. Енергетичний паспорт навчального корпусу як інформаційна модель енергоспоживання.....	15
1.4. Аналіз готових технічних рішень для вимірювання та збору даних.....	18
1.5. Комунікаційна архітектура систем моніторингу: локальний, серверний та хмарний рівні.....	20
1.6. Аналіз готових технічних рішень для вимірювання та збору даних.....	22
1.6. Порівняння навчального корпусу з типовим підприємством зі збирання металоконструкцій.....	23
1.8. Постановка задачі подальших розрахунків і моделювання.....	25
Висновки до розділу 1.....	26
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ КОРПУСУ №1 КРИВОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ТА ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТУ.....	28
2.1. Вихідні дані для розрахункової моделі корпусу №1 КНУ.....	28
2.2. Класифікація електроприймачів та прийняті одиничні потужності.....	30
2.3. Розрахунок встановленої та розрахункової потужності корпусу.....	32
2.4. Очікуваний ефект від модернізації.....	35
2.5. Розрахунок річного електроспоживання та питомих показників.....	37
2.6. Формування розрахункових таблиць енергетичного паспорту корпусу.....	39
2.8. Оцінка потенціалу енергозбереження за результатами розрахунків.....	42
Висновки до розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННОСТІ, ВДЕ ТА ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	47
3.1. Вимоги до системи моніторингу та вибір контрольованих показників.....	47
3.2. Структурна схема системи моніторингу корпусу №1 КНУ.....	49
3.3. Математична модель сезонної зміни електроспоживання.....	50
3.4. Модель роботи СЕС та акумуляторної батареї під час відключень.....	53
3.5. MATLAB Live Script модель для розрахунку сезонних показників.....	55
3.6. Аналіз результатів моделювання та показників енергетичного паспорту.....	60
3.7. Практичні рекомендації щодо впровадження системи моніторингу.....	61
Висновки до розділу 3.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Кириленко Л				Зміст	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Пересунько І						6	1
						КНУ		
Н. Контр.	Пересунько І					гр. ЗЕЕМ-22		
Затвердж.	Пересунько І							

ВСТУП

Підвищення енергоефективності будівель громадського призначення є одним із практичних напрямів зменшення витрат на утримання установ, підвищення прозорості використання енергоресурсів та формування обґрунтованих програм енергозбереження. Для закладів вищої освіти ця задача має подвійне значення: з одного боку, навчальні корпуси є значними споживачами електричної енергії, а з іншого — університет може використовувати власну інфраструктуру як навчально-дослідну базу для підготовки фахівців з електричної інженерії, енергоменеджменту та автоматизації.

Актуальність теми зумовлена тим, що традиційний облік електроспоживання на рівні одного загального лічильника не дозволяє встановити, які саме групи навантаження формують пікове споживання, яке обладнання працює поза навчальним або адміністративним графіком, як змінюється споживання у робочі, вихідні та канікулярні дні. Для корпусу №1 Криворізького національного університету така задача є особливо важливою, оскільки в будівлі розміщені навчальні аудиторії, лабораторії, комп'ютерні класи, ректорат, деканати, бухгалтерія та допоміжні служби. За попередніми даними, у корпусі наявно приблизно 550 приміщень різного функціонального призначення, з яких близько 100 приміщень використовуються адміністративними й допоміжними службами постійно протягом робочого дня.

Особливістю навчального корпусу є нерівномірність електроспоживання. На відміну від виробничого підприємства зі стабільною зміною, навчальний корпус має пікове споживання у періоди проведення занять, роботи комп'ютерних класів, лабораторних робіт та адміністративних служб. У вечірній та нічний час повинно залишатися лише мінімальне фонове навантаження: чергове освітлення, мережеве обладнання, сервери, охоронні системи, окремі

холодильні або телекомунікаційні споживачі. Якщо фактичне нічне споживання					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Кириленко Л			Вступ				
Перевірів		Пересунько І							
Н. Контр.		Пересунько І			КНУ гр. ЗЕЕМ-22				
Затвердж.		Пересунько І							

перевищує розрахункове, це є ознакою нерационального використання електроенергії.

Метою бакалаврської роботи є розробка структури системи моніторингу електроспоживання корпусу №1 Криворізького національного університету та формування методичної основи для створення енергетичного паспорту установи на основі вимірних і розрахункових даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати готові технічні рішення та дослідження у сфері моніторингу електроспоживання будівель; сформулювати вихідну розрахункову модель навчального корпусу; класифікувати основні групи електричних споживачів; визначити вимоги до точок вимірювання; обґрунтувати вибір вимірювальних пристроїв та комунікаційної архітектури; підготувати підхід до розрахунку добових, місячних і річних показників електроспоживання; створити основу для побудови енергетичного паспорту корпусу.

Об'єктом дослідження є система електроспоживання корпусу №1 Криворізького національного університету. Предметом дослідження є методи вимірювання, збору, обробки та аналізу даних електроспоживання для формування енергетичних показників будівлі.

У роботі використано аналітичні, розрахункові та імітаційні методи. Аналітичні методи застосовуються для огляду нормативної бази, готових технічних рішень та наукових досліджень. Розрахункові методи використовуються для визначення встановленої та розрахункової потужності основних груп навантаження. Імітаційне моделювання доцільно застосувати у другому та третьому розділах для побудови добових графіків навантаження, оцінки питомого споживання та перевірки сценаріїв енергозбереження.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої структури моніторингу як основи для поступового впровадження системи енергетичного обліку в корпусі №1 КНУ, створення внутрішнього

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергетичного паспорту та підготовки рекомендацій щодо зниження витрат електроенергії.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ГОТОВИХ РІШЕНЬ, НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

1.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження та актуальність моніторингу

Корпус №1 Криворізького національного університету розглядається як складний об'єкт електроспоживання громадського призначення. За адресною інформацією кафедри електромеханіки, корпус №1 розміщений за адресою м. Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича, 11 [11]. Офіційна структура університету включає ректорат, деканати, навчальні, наукові, адміністративні та допоміжні підрозділи, що визначає змішаний характер використання електроенергії у головному корпусі [9].

У межах цієї бакалаврської роботи приймається, що корпус №1 містить приблизно 550 приміщень різного функціонального призначення. Близько 100 приміщень належать до постійно працюючої адміністративної та допоміжної групи: ректорат, деканати, бухгалтерія, відділи, кабінети служб забезпечення, приймальні та допоміжні офіси. Для таких приміщень характерним є тривале денне навантаження від персональних комп'ютерів, принтерів, кондиціонерів, мережевого обладнання та періодичних побутових електроприймачів.

Офіційна інформація щодо матеріально-технічного забезпечення КНУ підтверджує наявність у навчальній інфраструктурі комп'ютерного класу, лабораторії відновлюваних джерел енергії, фізичної лабораторії, навчальних аудиторій та центру автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Siemens [10]. Це дозволяє обґрунтовано виділити в моделі корпусу такі групи електричних споживачів: освітлення, адміністративне комп'ютерне навантаження, комп'ютерні класи, лабораторні стенди, мультимедійне

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ		
Розробив	Кириленко Л						
Перевірів	Пересунько І						
Н. Контр.	Пересунько І						
Затвердж.	Пересунько І				КНУ гр. ЗЕЕМ-22		

обладнання, вентиляція, кондиціонування, серверне та мережеве обладнання, побутові споживачі.

Основна проблема енергоспоживання навчального корпусу полягає не лише у величині споживання, а й у недостатній деталізації даних. Загальний лічильник дає інформацію про сумарне споживання, але не дозволяє встановити, яка частина електроенергії припадає на освітлення, комп'ютерні класи, адміністративні кабінети, лабораторії або фонове нічне споживання. Для створення енергетичного паспорту потрібна не тільки сума кВт·год за місяць, а й структура споживання, пікові значення активної потужності, режимні графіки та питомі показники.

Для подальших розрахунків у роботі пропонується прийняти попередню класифікацію приміщень, наведену в табл. 1.1. У другому розділі ці дані мають бути уточнені шляхом інвентаризації фактичних приміщень, встановленого обладнання та режимів роботи.

Таблиця 1.1 – Попередня класифікація приміщень корпусу №1 КНУ для розрахункової моделі

Група приміщень	Орієнтовна кількість	Основні електроприймачі	Характер режиму
Навчальні аудиторії та лекційні приміщення	280	Освітлення, мультимедійне обладнання, розетки, іноді кондиціонер	Переважно за розкладом занять
Адміністративні кабінети та служби	100	2 ПК, 1–2 принтери, кондиціонер, мережеве обладнання, чайник	Постійне денне навантаження
Навчальні та наукові лабораторії	48	Лабораторні стенди, вимірювальні прилади, комп'ютери, вентиляція	Нерівномірне, залежить від занять

Комп'ютерні класи	12	12–20 ПК, комутатори, проектор, кондиціонер	Пікове під час занять
Допоміжні та технічні приміщення	110	Освітлення, щитове обладнання, сервери, охоронні системи	Постійне або чергове

Орієнтовна структура приміщень корпусу №1 КНУ для розрахункової моделі

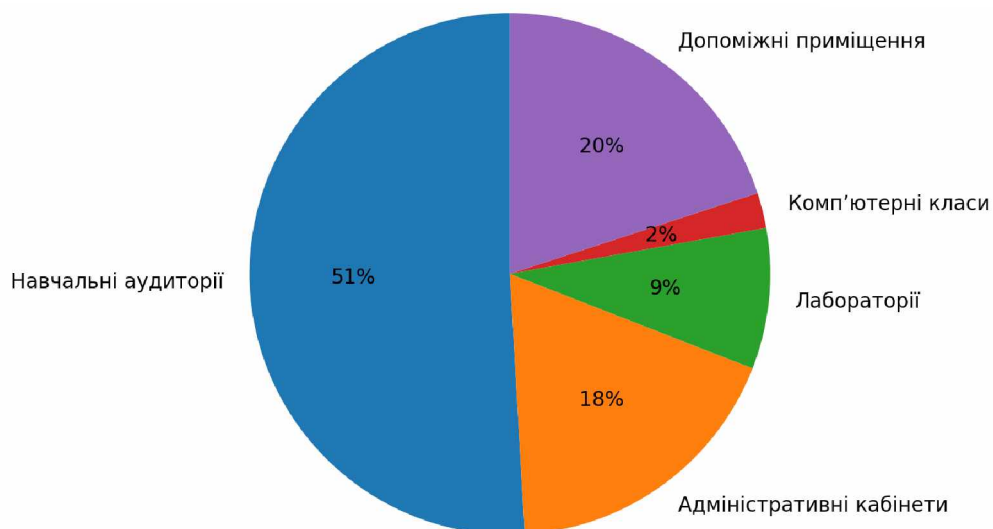


Рисунок 1.1 – Орієнтовна структура приміщень корпусу №1 КНУ, прийнята для первинної розрахункової моделі

1.2. Нормативно-методична база енергетичної паспортизації та енергоменеджменту

Розробка системи моніторингу електроспоживання навчального корпусу повинна спиратися на чинну нормативно-методичну базу у сфері енергоефективності будівель та енергетичного менеджменту. В Україні питання енергетичної ефективності будівель регулюються Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [1]. Закон визначає підходи до енергетичної

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

сертифікації та встановлює вимоги щодо визначення показників енергетичної ефективності будівель.

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України визначає енергетичний сертифікат як електронний документ установленої форми, у якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, а також наведено рекомендації щодо підвищення її енергоефективності [3]. Для бакалаврської роботи доцільно розмежувати офіційний енергетичний сертифікат, який оформлюється енергоаудитором відповідно до вимог законодавства, та внутрішній енергетичний паспорт установи, який може бути створений університетом як інструмент постійного моніторингу та управління споживанням.

Методика визначення енергетичної ефективності будівель, затверджена наказом Мінрегіону України №169, встановлює механізм визначення енергетичної ефективності, перелік показників, метод розрахунку, особливості приміщень різного функціонального призначення, порядок визначення первинної енергії, викидів парникових газів та класу енергоефективності [2]. Для цієї роботи особливо важливим є те, що навчальний корпус містить приміщення з різними режимами використання: аудиторії, лабораторії, кабінети, комп'ютерні класи, технічні приміщення.

У 2022 році було прийнято ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання», який введено в дію з 01.03.2023 на заміну ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [4; 5]. Для теми цієї роботи важливо, що стандарт передбачає використання методики для оцінювання загального енергоспоживання, енергетичної сертифікації, встановлення ефекту від заходів з енергоефективності та моніторингу енергетичної ефективності будівлі й інженерних систем.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

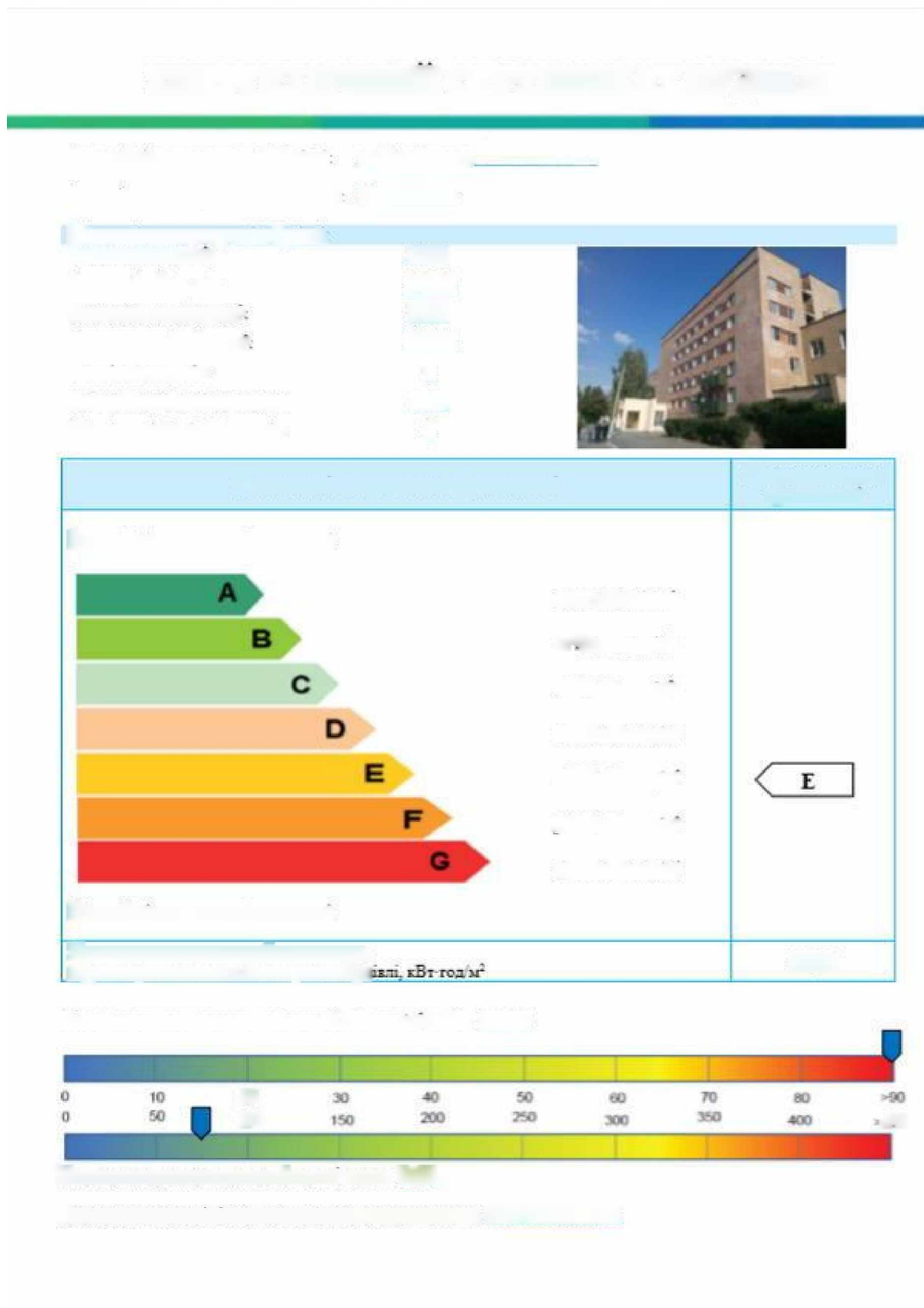


Рисунок 1.2 – Приклад енергетичного паспорту будівлі в Україні

Міжнародна логіка енергоменеджменту ґрунтується на ISO 50001, який пропонує організаціям системний підхід до поліпшення використання енергії

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

через систему енергетичного менеджменту [6]. Для навчального корпусу це означає необхідність не разового вимірювання, а постійного циклу: збір даних, аналіз, встановлення базового рівня, вибір показників, впровадження заходів, перевірка результату. ДСТУ ISO 50006:2016 деталізує використання базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності, а ДСТУ ISO 50015:2016 задає принципи вимірювання і верифікації досягнутої енергоефективності [7; 8].

З позиції цієї бакалаврської роботи нормативна база формує такі вимоги до системи моніторингу:

- дані повинні бути регулярними, порівнюваними та придатними для формування базового рівня електроспоживання;
- облік має бути достатньо деталізованим для визначення суттєвих споживачів електроенергії;
- показники енергоефективності повинні бути пов'язані з площею, кількістю користувачів, режимом роботи та функціональним призначенням приміщень;
- результати моніторингу мають використовуватися для перевірки ефекту від енергоощадних заходів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

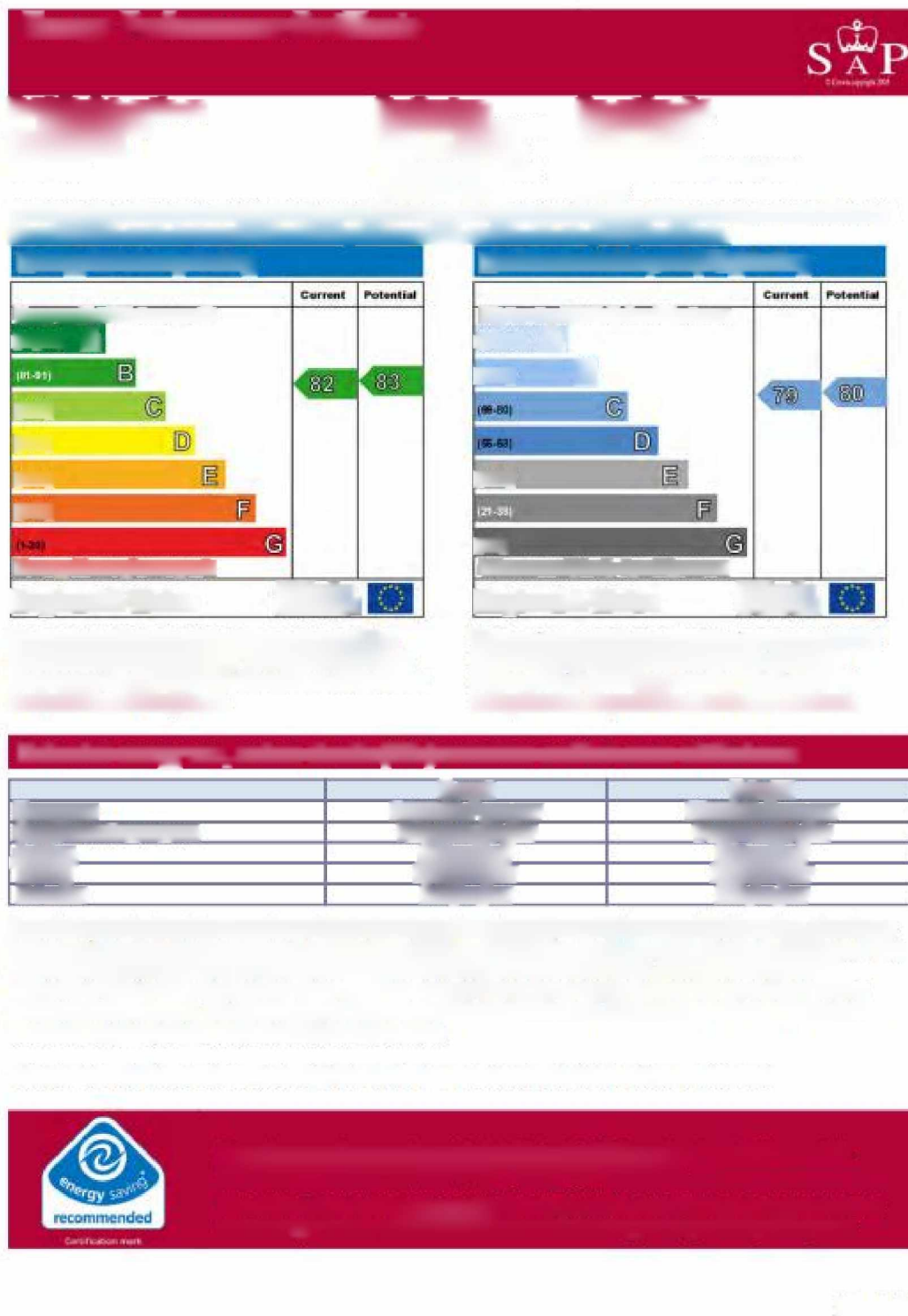


Рисунок 1.3 - Приклад енергетичного паспорту будівлі в Європі

1.3. Енергетичний паспорт навчального корпусу як інформаційна модель енергоспоживання

Енергетичний паспорт навчального корпусу в межах цієї роботи розглядається як структурований документ, що поєднує загальні характеристики будівлі, дані про електричні навантаження, результати вимірювання, розрахункові показники та рекомендації з енергоефективності. На відміну від разового звіту, такий паспорт повинен періодично оновлюватися на основі даних системи моніторингу.

Для корпусу №1 КНУ енергетичний паспорт має враховувати змішаний характер будівлі. Одна частина приміщень працює за навчальним розкладом, друга — за адміністративним графіком, третя — має періодичне лабораторне або технічне навантаження, а четверта формує постійне фонове споживання. Тому паспорт не може обмежуватися лише загальною річною сумою кВт·год. Він повинен містити структуру навантажень, графіки, питомі показники та перелік суттєвих споживачів.

Основні дані, які доцільно включити до енергетичного паспорта навчального корпусу, наведено в табл. 1.2. У другому розділі ці дані можуть бути перетворені на розрахункові таблиці для визначення встановленої потужності, добового споживання, річного споживання та питомих показників.

Таблиця 1.2 – Пропонована структура енергетичного паспорта корпусу №1 КНУ

Блок паспорта	Зміст блоку	Джерело даних
Загальні відомості	Адреса, призначення, кількість поверхів, площа, кількість приміщень	Паспорт будівлі, інвентаризація
Електричні навантаження	Встановлена потужність груп споживачів, розрахункова потужність, коефіцієнти використання	Огляд обладнання, розрахунки

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Моніторинг	Покази лічильників, активна і реактивна потужність, напруга, струм, cosφ, енергія	Система вимірювання
Графіки навантаження	Добові, тижневі, місячні графіки; пікові та мінімальні значення	Архів даних
Питомі показники	кВт·год/м², кВт·год/користувача, кВт·год/аудиторію	Розрахунки за даними моніторингу
Рекомендації	Заходи з LED-освітлення, автоматизації, управління кондиціонерами, графіків роботи	Аналіз відхилень та сценаріїв

Для формування енергетичного паспорту пропонується використовувати такі базові показники:

$$E_{\text{річ}} = \sum E_{\text{міс}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік},$$

$$w_A = E_{\text{річ}} / A, \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік}),$$

$$k_n = P_{\text{ср}} / P_{\text{max}},$$

де $E_{\text{річ}}$ — річне споживання електроенергії; $E_{\text{міс}}$ — місячне споживання; A — площа корпусу; k_n — коефіцієнт нерівномірності або використання максимуму; $P_{\text{ср}}$ — середня активна потужність за період; P_{max} — максимальна активна потужність за період.

Окремо в енергетичному паспорті потрібно виділити базовий рівень електроспоживання. Базовий рівень є умовною «нормальною» моделлю споживання корпусу за певний період. Наприклад, для навчального корпусу можна встановити окремі базові рівні для навчального тижня, вихідного дня, канікулярного режиму та літнього періоду. Порівняння фактичного споживання з базовим рівнем дозволяє виявляти відхилення: надмірне нічне навантаження, перевищення потужності кондиціонування, залишене освітлення або нераціональну роботу обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У подальшому енергетичний паспорт може стати не лише звітним документом, а й інструментом оперативного управління. Наприклад, якщо система моніторингу фіксує, що споживання у вихідний день наближається до рівня робочого дня, відповідальна служба може перевірити роботу освітлення, кондиціонерів, комп'ютерних класів або лабораторій.

1.4. Аналіз готових технічних рішень для вимірювання та збору даних

Сучасна система моніторингу електроспоживання будівлі може бути побудована на різних рівнях деталізації. Найпростіший варіант передбачає зчитування даних лише з головного електролічильника. Такий підхід дешевий, але не дає інформації про структуру споживання. Більш ефективним є поєднання головного обліку з груповими лічильниками на поверхах, щитах освітлення, комп'ютерних класах, лабораторіях, вентиляції та адміністративних зонах.

Для корпусу №1 КНУ доцільно застосувати багаторівневу структуру вимірювання. На головному вводі потрібно встановити або використати наявний багатофункціональний лічильник чи аналізатор мережі, який вимірює активну та реактивну енергію, активну потужність, напругу, струм, коефіцієнт потужності та, за можливості, показники якості електроенергії. На рівні поверхів або функціональних груп доцільно встановити окремі лічильники для деталізації енергетичного балансу.

У готових рішеннях для енергомоніторингу часто використовуються багатофункціональні прилади з підтримкою Modbus RTU або Modbus TCP. Наприклад, прилади Schneider Electric EasyLogic PM2200 забезпечують вимірювання параметрів трифазної мережі, енергії та потужності, а в окремих модифікаціях мають клас точності 0,5S для активної енергії [15]. Лічильники Easton SDM630 Modbus підтримують роботу через RS-485 та можуть інтегруватися у SCADA-системи через протокол Modbus [16]. Прилади Siemens SENTRON PAC3200 та Socomec DIRIS також належать до класу пристроїв для

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання та моніторингу електричних параметрів у розподільних мережах [17; 18].

Для бакалаврської роботи не обов'язково обмежуватися одним виробником. Важливо сформулювати функціональні вимоги до приладу: вимірювання U , I , P , Q , S , $\cos\phi$, частоти та електроенергії; підтримка промислового інтерфейсу; можливість архівації або регулярного зчитування; клас точності, достатній для технічного моніторингу; монтаж у щитах корпусу; сумісність із базою даних або програмним забезпеченням візуалізації.

Таблиця 1.3 – Порівняння готових технічних рішень для моніторингу електроспоживання

Пристрій / клас рішення	Основні можливості	Переваги для корпусу	Обмеження
Головний електrolічильник	Сумарний облік кВт·год	Мінімальні витрати, простота	Не показує структуру споживання
Багатофункціональний аналізатор мережі	U , I , P , Q , S , $\cos\phi$, частота, енергія, іноді THD	Дає повну картину режиму вводу	Потребує налаштування та трансформаторів в струму
Групові лічильники Modbus	Облік окремих щитів або груп навантаження	Дозволяє виділити суттєві споживачі	Потрібна мережа зв'язку
PLC або промисловий шлюз	Збір даних з лічильників, передача на сервер	Надійність, масштабування	Вища вартість впровадження
Хмарна платформа	Візуалізація, архів, аналітика, звіти	Зручна для енергоменеджменту	Залежність від інтернету та сервісу

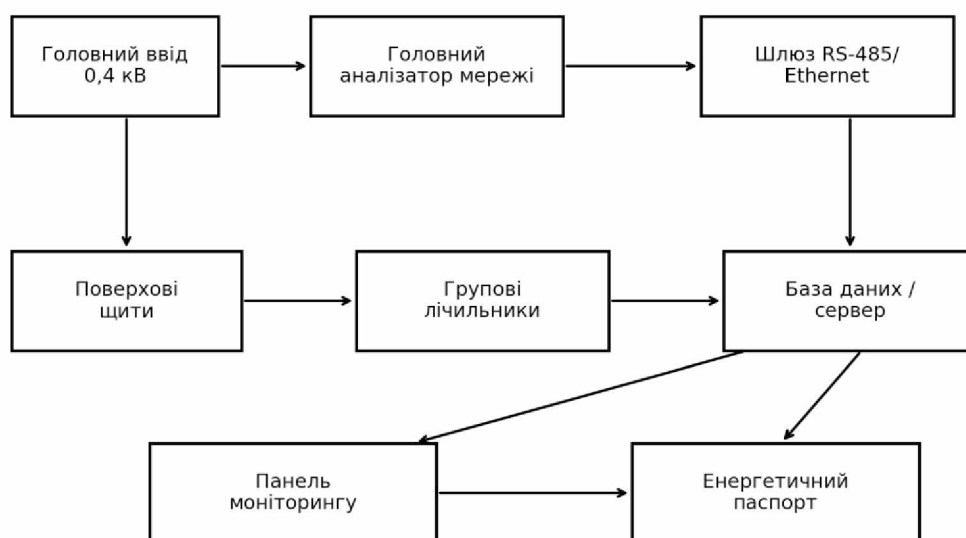


Рисунок 1.4 – Узагальнена структура технічного рішення для моніторингу електроспоживання корпусу

1.5. Комунікаційна архітектура систем моніторингу: локальний, серверний та хмарний рівні

Після вибору вимірювальних пристроїв необхідно визначити архітектуру передавання та зберігання даних. Для навчального корпусу можливі три основні підходи: локальна система на одному комп'ютері, серверна система у внутрішній мережі університету та хмарна система з віддаленим доступом. У практичному впровадженні ці підходи можуть комбінуватися.

Локальний варіант є найпростішим: лічильники підключаються до комп'ютера або ноутбука енергетика через перетворювач RS-485/USB чи RS-485/Ethernet. Дані періодично зчитуються у таблицю або базу даних. Такий варіант може бути достатнім для лабораторного стенду або першого етапу дослідження, але він не забезпечує надійного довготривалого архіву та постійного доступу відповідальних осіб.

Серверний варіант передбачає розміщення бази даних і програмного забезпечення моніторингу на внутрішньому сервері університету. Вимірювальні пристрої передають дані через промисловий шлюз або PLC. Перевагою є контроль над даними, можливість інтеграції з локальною мережею, гнучке налаштування графіків і звітів. Такий варіант найбільш доцільний для корпусу №1, оскільки дозволяє організувати поетапне підключення поверхів і груп навантаження.

Хмарний варіант зручний для віддаленого доступу, автоматичного формування звітів і порівняння декількох корпусів. Однак він потребує врахування питань кібербезпеки, стабільності інтернет-з'єднання, прав доступу та довгострокової вартості сервісу. Для бакалаврської роботи хмарний рівень можна розглядати як перспективний розвиток системи.

Найбільш раціональною для корпусу №1 є змішана архітектура: лічильники на рівні вводу та групових щитів передають дані через Modbus RTU у шлюз RS-485/Ethernet, далі інформація зберігається у локальній базі даних, а панель моніторингу формує графіки, таблиці та звіти для енергетичного паспорту.

Алгоритм збору даних у такій системі може бути описаний послідовністю:

- ініціалізація переліку лічильників і Modbus-адрес;
- циклічне зчитування активної потужності, напруги, струму, $\cos\phi$ та електроенергії;
- перевірка коректності отриманих значень і фіксація помилок зв'язку;
- запис даних у таблицю з часовою міткою;
- побудова добових, тижневих і місячних графіків;
- розрахунок питомих показників та формування фрагментів енергетичного паспорту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6. Аналіз готових технічних рішень для вимірювання та збору даних

Наукові дослідження енергоспоживання університетських будівель показують, що кампуси мають складну структуру навантажень. Вони поєднують навчальні, адміністративні, лабораторні, побутові та інженерні функції. Тому ефективне управління електроспоживанням потребує не лише обліку, а й аналізу режимів роботи, прогнозування, порівняння базових і фактичних значень, виявлення аномалій та оцінки заходів енергозбереження [12–14].

У сучасних дослідженнях університетські будівлі часто розглядаються як частина концепції «розумного кампусу». Такий підхід передбачає використання датчиків, лічильників, автоматизованих систем збору даних, інформаційних панелей і алгоритмів оптимізації. Дослідження енергоспоживання кампусів підкреслюють важливість моделювання різних типів будівель, оскільки навчальні корпуси, лабораторні будівлі, бібліотеки та адміністративні приміщення мають різні профілі споживання [12].

Окремий напрям досліджень стосується зв'язку між присутністю людей та електроспоживанням. У навчальному корпусі споживання залежить від розкладу занять, кількості студентів у приміщеннях, проведення лабораторних робіт, роботи деканатів та служб. Саме тому у моделі корпусу №1 КНУ доцільно передбачити сценарії: звичайний навчальний день, день з підвищеним лабораторним навантаженням, канікулярний день, вихідний день і режим енергозбереження.

Для бакалаврської роботи важливо використати результати наукових досліджень не як абстрактний огляд, а як обґрунтування структури моделі. Зокрема, потрібно не лише вимірювати сумарне електроспоживання, а й виділяти суттєві групи: освітлення, комп'ютерні класи, адміністративні ПК, лабораторії, вентиляція і кондиціонування. Такий підхід дозволить у другому

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розділі сформувати енергетичний баланс корпусу, а в третьому — змодельовати роботу системи моніторингу.

У роботі пропонується використовувати такі дослідницькі гіпотези:

- адміністративні приміщення формують тривале стабільне денне навантаження;
- комп’ютерні класи і лабораторії формують короткочасні піки залежно від розкладу занять;
- кондиціонери можуть стати однією з найбільших складових літнього пікового споживання;
- нічне споживання має бути мінімальним і використовується як індикатор нераціональної роботи обладнання;
- деталізований груповий моніторинг дозволяє точніше визначити заходи енергозбереження, ніж загальний облік.

1.6. Порівняння навчального корпусу з типовим підприємством зі збирання металоконструкцій

Для кращого розуміння специфіки навчального корпусу доцільно порівняти його з умовним типовим підприємством зі збирання металоконструкцій. Таке підприємство не є основним об’єктом дослідження, але використовується як порівняльний приклад іншого характеру електричного навантаження. У виробничому об’єкті переважають зварювальні пости, електроприводи кранів, компресори, вентиляція, верстати для різання та допоміжні механізми. Для навчального корпусу переважають освітлення, комп’ютерна техніка, офісні споживачі, мультимедійне обладнання, кондиціонування та лабораторні стенди.

Головна відмінність полягає у характері графіка навантаження. Підприємство зі збирання металоконструкцій має більш виражений виробничий максимум протягом зміни, а також значні пускові та технологічні навантаження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навчальний корпус має прив'язку до розкладу занять, графіка роботи адміністративних служб та сезонної роботи кондиціонерів. Тому для корпусу №1 КНУ важливо не просто визначити максимальну потужність, а й побудувати типові добові профілі для різних сценаріїв.

Порівняння умовних добових графіків наведено на рис. 1.3. Графік не є фактичним вимірюванням; він використовується як ілюстративна модель для пояснення різниці між навчальним і виробничим профілем електроспоживання. Фактичний графік корпусу №1 повинен бути отриманий після впровадження системи моніторингу або за наявними даними обліку.

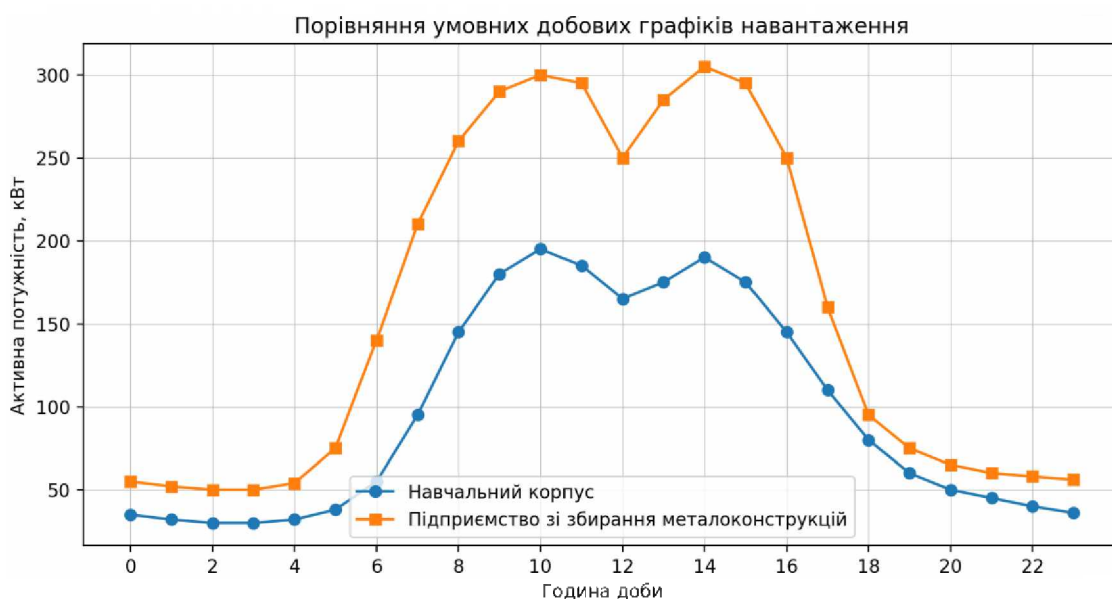


Рисунок 1.5 – Порівняння умовних добових графіків навантаження навчального корпусу та підприємства зі збирання металокопструкцій

Таблиця 1.4 – Порівняння характеру електроспоживання двох типів об'єктів

Ознака	Корпус №1 КНУ	Підприємство зі збирання металокопструкцій
Основні споживачі	Освітлення, ПК, принтери, кондиціонери, лабораторії, мережеве обладнання	Зварювання, крани, компресори, вентиляція, верстати

Профіль добового навантаження	Залежить від розкладу занять і роботи адміністрації	Залежить від виробничої зміни та технології
Пікові періоди	8:00–16:00, лабораторні заняття, робота кондиціонерів	Початок і середина виробничої зміни
Нічне споживання	Має бути мінімальним	Може включати чергові системи та неперервні процеси
Ключовий показник	кВт·год/м ² , кВт·год/користувача, частка нічного споживання	кВт·год/т продукції, кВт·год/виріб, пікова потужність

1.8. Постановка задачі подальших розрахунків і моделювання

Проведений аналіз показує, що для корпусу №1 КНУ доцільно розробляти не лише систему технічного обліку, а комплексну модель моніторингу електроспоживання. Така модель повинна об'єднувати вихідні дані про приміщення, встановлену потужність, графіки роботи, виміряні електричні параметри, добові профілі та питомі показники.

У другому розділі роботи необхідно виконати розрахунок встановленої та розрахункової потужності основних груп споживачів. Для адміністративного кабінету можна прийняти типовий набір: два персональні комп'ютери, один або два принтери, кондиціонер, освітлення, мережеве обладнання та періодичний побутовий електроприймач. Для комп'ютерного класу доцільно прийняти 12–20 ПК, проектор, комутатор, освітлення та кондиціонер. Для лабораторій — окремі групи стендів і вимірювального обладнання.

У третьому розділі потрібно розробити модель системи моніторингу. Вона повинна містити структуру точок вимірювання, алгоритм збору даних, формування добового графіка, розрахунок електроспоживання, виявлення аномального нічного навантаження та автоматичне заповнення таблиць енергетичного паспорту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключовими результатами подальших розділів мають стати: енергетичний баланс корпусу; добовий графік навантаження; оцінка річного споживання; питомі показники; структура точок вимірювання; модель збору даних; рекомендації з енергоефективності.

Для другого розділу пропонується використати такі основні формули:

$$P_{\text{вст,гр}} = \sum(n_i \cdot P_i), \text{ кВт}; \quad P_{\text{розр}} = K_{\text{п}} \cdot K_{\text{о}} \cdot P_{\text{вст,гр}}, \text{ кВт};$$

$$E_{\text{доб}} = \sum(P_t \cdot \Delta t), \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad E_{\text{рік}} = E_{\text{доб,навч}} \cdot N_{\text{навч}} + E_{\text{доб,кан}} \cdot N_{\text{кан}} + E_{\text{доб,вих}} \cdot N_{\text{вих}};$$

$$E_{\text{ніч,\%}} = (E_{\text{ніч}} / E_{\text{доб}}) \cdot 100 \%,$$

де $K_{\text{п}}$ — коефіцієнт попиту; $K_{\text{о}}$ — коефіцієнт одночасності; $E_{\text{ніч,\%}}$ — частка нічного споживання, яка може використовуватися як індикатор нераціональної роботи обладнання.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто корпус №1 Криворізького національного університету як складний об'єкт електроспоживання громадського призначення, у якому поєднуються навчальні, адміністративні, лабораторні та допоміжні функції.

– Встановлено, що для створення енергетичного паспорту недостатньо загального обліку електроенергії. Необхідно виділяти основні групи споживачів, будувати добові та місячні графіки, визначати пікові навантаження, нічне фонове споживання та питомі показники.

– Проаналізовано нормативно-методичну базу енергетичної ефективності будівель та енергоменеджменту. Для роботи важливими є положення Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», Методики визначення енергетичної ефективності будівель, ДСТУ 9190:2022, ISO 50001, ДСТУ ISO 50006 та ДСТУ ISO 50015.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Показано, що готові технічні рішення для моніторингу можуть будуватися на базі багатофункціональних аналізаторів мережі, групових лічильників, промислових протоколів Modbus RTU/TCP, локальних серверів та інформаційних панелей.
- Обґрунтовано доцільність багаторівневої системи моніторингу: головний ввід корпусу, поверхові щити, групи освітлення, комп'ютерні класи, лабораторії, адміністративні кабінети, вентиляція та кондиціонування.
- Порівняння з типовим підприємством зі збирання металоконструкцій показало, що навчальний корпус має інший характер електроспоживання: менші технологічні пуски, але більшу залежність від розкладу занять, присутності людей, адміністративного графіка та сезонної роботи кондиціонерів.
- Отримані результати першого розділу є основою для другого розділу, у якому необхідно виконати розрахунок встановленої та розрахункової потужності, побудувати добові графіки навантаження та сформувати розрахункову частину енергетичного паспорту корпусу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2.

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ КОРПУСУ №1 КРИВОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ТА ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТУ

2.1. Вихідні дані для розрахункової моделі корпусу №1 КНУ

Об'єктом дослідження є корпус №1 Криворізького національного університету. За прийнятими вихідними даними у корпусі розташовано приблизно 550 приміщень різного функціонального призначення. Близько 100 кабінетів зайняті адміністративними та службовими підрозділами: ректоратом, деканатами, бухгалтерією, допоміжними службами та іншими структурними підрозділами. Для таких кабінетів приймається типовий набір обладнання: два персональні комп'ютери, два принтери або багатофункціональні пристрої, освітлення, мережеве обладнання, кондиціонер, а в окремих кабінетах також побутове навантаження у вигляді електрочайника [9; 10; 21].

Інша частина приміщень використовується як навчальні аудиторії, лабораторії, комп'ютерні класи, допоміжні та технічні приміщення. Для побудови моделі прийнято, що у корпусі є 320 навчальних аудиторій, 25 комп'ютерних класів, 35 лабораторій та 70 допоміжних приміщень. Коридори, сходові клітини, холи та санвузли враховано окремо як загальні зони. Такий поділ потрібний не лише для розрахунку встановленої потужності, але й для подальшого формування енергетичного паспорту, де має бути показано структуру споживання за функціональними зонами [4; 7; 13].

Розрахункова площа корпусу прийнята за укрупненою моделлю. Для адміністративного кабінету прийнято середню площу 22 м², для навчальної аудиторії — 40 м², для комп'ютерного класу — 55 м², для лабораторії — 70 м²,

	для допоміжного приміщення — 25 м ² . Площа загальних зон визначається як ЕТФ:КНУ.РБ.14Г.26.249С-5								
Змн.	Дак.	№ докум.	Підпис	Дата	визначеної частини, необхідна для забезпечення коридорів, холів, санітарно-				
Розробив	Кириленко Л				Розділ		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Пересунько І								
							КНУ гр. ЗЕЕМ-22		
Н. Контр.	Пересунько І								
Затвердж.	Пересунько І								

побутових та технічних зон. Загальна розрахункова площа становить приблизно 28000 м².

Таблиця 2.1 – Розрахункова структура приміщень корпусу №1 КНУ

Функціональна зона	Кількість приміщень	Середня площа одного приміщення, м²	Сумарна площа, м²	Основні електроприймачі
Адміністративні та службові кабінети	100	22	2200	ПК, принтери, кондиціонери, освітлення, побутові прилади
Навчальні аудиторії	320	40	12800	Освітлення, мультимедіа, викладацький ПК
Комп'ютерні класи	25	55	1375	ПК, проектор, комутатор, кондиціонер, освітлення
Навчальні та наукові лабораторії	35	70	2450	Стенди, прилади, ПК, освітлення, вентиляція
Допоміжні та технічні приміщення	70	25	1750	Освітлення, щитове, мережеве та допоміжне обладнання
Коридори, холи, сходові клітини, санвузли	-	-	7425	Освітлення, аварійне освітлення, чергові споживачі

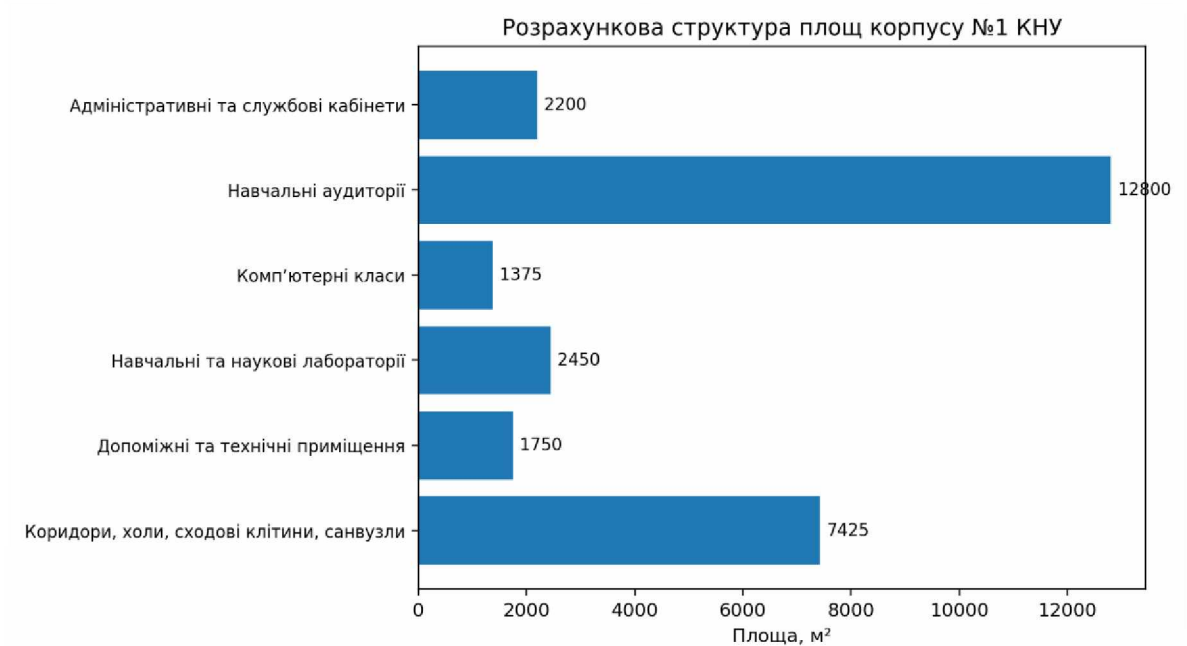


Рисунок 2.1 – Розрахункова структура площ корпусу №1 КНУ за функціональними зонами

Для подальших розрахунків використовуються такі позначення: A — площа корпусу, м²; n_i — кількість електроприймачів i -го типу; P_i — одинична активна потужність електроприймача, кВт; $P_{\text{вст}}$ — встановлена потужність, кВт; $P_{\text{розр}}$ — розрахункова активна потужність, кВт; K_p — коефіцієнт попиту або використання; $\cos\phi$ — коефіцієнт потужності.

2.2. Класифікація електроприймачів та прийняті одиничні потужності

Корпус №1 КНУ має змішану структуру електроспоживання. На відміну від виробничого об'єкта, де основну частку можуть формувати електроприводи, компресори, зварювальні установки та технологічні лінії, у навчальному корпусі істотними є освітлення, офісна техніка, комп'ютерні класи, лабораторні стенди, кондиціонери та допоміжні інженерні системи. Така структура обумовлює необхідність не лише загального, але й групового моніторингу [12; 13; 31].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для освітлення прийнято питому встановлену потужність 8–10 Вт/м² залежно від функціональної зони. Значення є розрахунковим і відповідає припущенню про використання переважно світлодіодного або модернізованого люмінесцентного освітлення. У подальшому фактична потужність освітлення має уточнюватися за паспортами світильників та результатами огляду щитів освітлення. Нормативною основою оцінювання освітлення приміщень є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» та відповідні зміни до нього [21; 22].

Для адміністративного кабінету приймається: два персональні комп'ютери потужністю 0,15 кВт кожний, два принтери або багатофункціональні пристрої з установленою потужністю до 0,5 кВт кожний, один кондиціонер із середньою електричною потужністю 1,2 кВт, освітлення та періодичне побутове навантаження. Для комп'ютерного класу приймається 16 персональних комп'ютерів, мережеве обладнання, проектор, освітлення та кондиціонер. Для лабораторій потужність приймається укрупнено за групами стендів і вимірювального обладнання [15; 16; 25; 26].

Таблиця 2.2 – Прийняті одиничні та групові потужності електроприймачів

Група споживачів	Розрахункова кількість/площа	Одинична або питома потужність	Прийнята встановлена потужність, кВт	Примітка
Адміністративні ПК	100 каб. × 2 ПК	0,15 кВт/ПК	30,0	Постійна робота у робочий час
Принтери/БФП	100 каб. × 2 од.	0,5 кВт/од.	100,0	Короткочасне навантаження
Електрочайники	40 од.	2,0 кВт/од.	80,0	Періодичне побутове навантаження
Кондиціонери адміністративної зони	90 од.	1,2 кВт/од.	108,0	Пікове літнє навантаження
Освітлення навчальних аудиторій	12800 м ²	8 Вт/м ²	102,4	Залежить від розкладу занять
Комп'ютерні класи: ПК	25 кл. × 16 ПК	0,15 кВт/ПК	60,0	Пікове під час занять
Лабораторні стенди	35 лабораторій	5 кВт/лаб.	175,0	Нерівномірне навчальне навантаження
Коридори та загальні зони: освітлення	7425 м ²	6,8 Вт/м ²	50,4	Тривале денне навантаження
Вентиляція та допоміжні електроприводи	укрупнено	за групою	40,0	Двигуни, вентилятори, допоміжні системи
Серверне та мережеве обладнання	укрупнено	за групою	15,0	Безперервне фонове навантаження

Встановлена потужність окремої групи визначається за формулою:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк. 31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{вст,гр}} = \sum(n_i \cdot P_i), \text{ кВт},$$

де $P_{\text{вст,гр}}$ — встановлена потужність групи; n_i — кількість однотипних електроприймачів; P_i — одинична потужність електроприймача.

Для навантажень, які визначаються через площу, використовується залежність:

$$P_{\text{осв}} = A_{\text{зони}} \cdot p_{\text{осв}} / 1000, \text{ кВт},$$

де $A_{\text{зони}}$ — площа відповідної функціональної зони, м^2 ; $p_{\text{осв}}$ — питома потужність освітлення, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

2.3. Розрахунок встановленої та розрахункової потужності корпусу

Розрахунок встановленої потужності показує максимальну сумарну потужність електроприймачів, якщо всі вони умовно можуть бути ввімкнені одночасно. У реальних умовах навчального корпусу така ситуація малоймовірна, тому для визначення навантаження на ввіді використовується розрахункова активна потужність. Вона враховує коефіцієнти використання, попиту та одночасності роботи окремих груп обладнання [4; 7; 24].

Для кожної групи електроприймачів розрахункова активна потужність визначається за формулою:

$$P_{\text{розр,гр}} = P_{\text{вст,гр}} \cdot K_{\text{п}}, \text{ кВт},$$

де $P_{\text{розр,гр}}$ — розрахункова активна потужність групи; $P_{\text{вст,гр}}$ — встановлена потужність групи; $K_{\text{п}}$ — прийнятий коефіцієнт попиту, який враховує режим роботи та ймовірність одночасного використання обладнання.

Реактивна потужність для групи визначається через коефіцієнт потужності:

$$Q_{\text{розр,гр}} = P_{\text{розр,гр}} \cdot \text{tg}(\arccos(\cos\phi)), \text{ квар},$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а повна потужність:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}}^2 + Q_{\text{розр}}^2}, \text{ кВА.}$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок встановленої, активної, реактивної та повної потужності

Група електроприймачів	Р _{вст} , кВт	К _п	Р _{розр} , кВт	cosφ	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
Адміністративні кабінети: освітлення	22.0	0.80	17.6	0.95	5.8	18.5
Адміністративні ПК	30.0	0.90	27.0	0.90	13.1	30.0
Принтери/копіювальна техніка	100.0	0.15	15.0	0.90	7.3	16.7
Електрочайники та побутові споживачі	80.0	0.15	12.0	1.00	0.0	12.0
Кондиціонери адміністративної зони	108.0	0.65	70.2	0.85	43.5	82.6
Навчальні аудиторії: освітлення	102.4	0.65	66.6	0.95	21.9	70.1
Мультимедіа та викладацькі ПК	48.0	0.40	19.2	0.90	9.3	21.3
Комп'ютерні класи: ПК	60.0	0.80	48.0	0.90	23.2	53.3
Комп'ютерні класи: освітлення	13.8	0.75	10.4	0.95	3.4	10.9
Комп'ютерні класи: кондиціонери	24.0	0.65	15.6	0.85	9.7	18.4
Лабораторні стенди й обладнання	175.0	0.35	61.2	0.85	38.0	72.1
Лабораторії: освітлення	24.5	0.70	17.1	0.95	5.6	18.1

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коридори та загальні зони: освітлення	50.4	0.85	42.8	0.95	14.1	45.1
Вентиляція та допоміжні електроприводи	40.0	0.50	20.0	0.85	12.4	23.5
Серверне, мережеве та охоронне обладнання	15.0	1.00	15.0	0.90	7.3	16.7
Разом	893.1	-	457.8	0.91	214.5	505.5

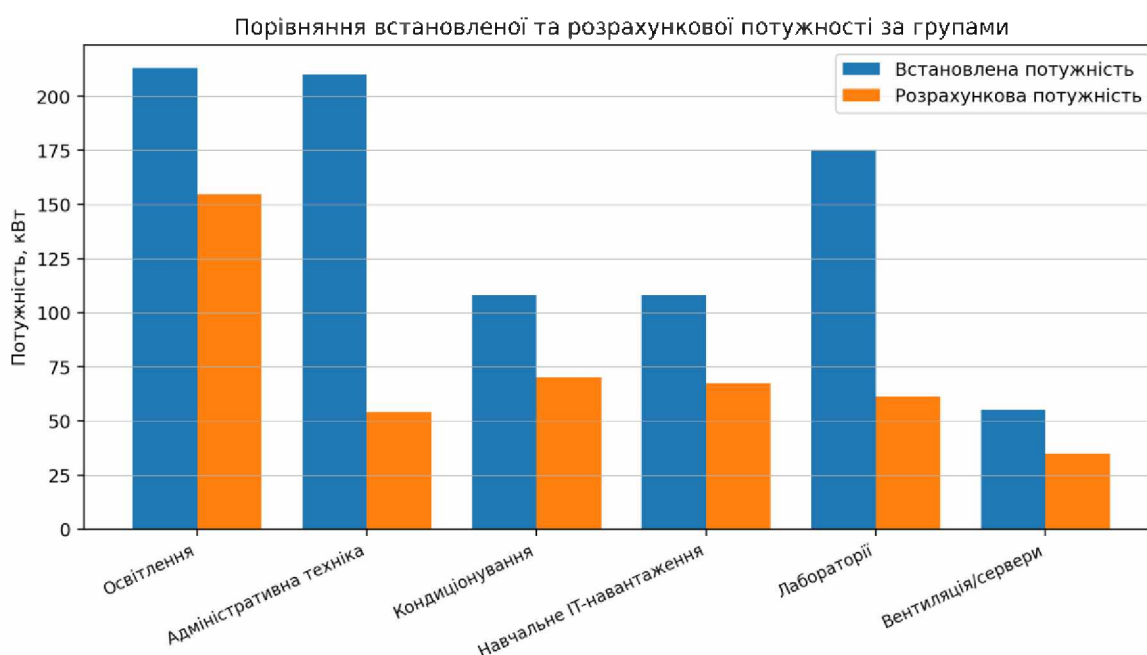


Рисунок 2.2 – Порівняння встановленої та розрахункової потужності основних груп споживачів корпусу №1 КНУ

За результатами розрахунку встановлена потужність прийнятих груп електроприймачів становить 893.1 кВт. Розрахункова активна потужність у літній період з урахуванням роботи кондиціонерів становить 457.8 кВт. Без урахування одночасної роботи кондиціонерів розрахункова активна потужність зменшується приблизно до 371.9 кВт. Таким чином, кондиціонування є одним із чинників формування літнього пікового навантаження.

Сумарна реактивна потужність становить 214.5 квар, повна потужність — 505.5 кВА, а усереднений коефіцієнт потужності за розрахунковою моделлю — 0.91. Для трифазної мережі 0,4 кВ орієнтовний лінійний струм у літньому максимумі може бути оцінений за формулою:

$$I = S_{\text{розр}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}), \text{ A},$$

$$I = 505.5 / (1,732 \cdot 0,4) = 730 \text{ A}.$$

Отримане значення не є підставою для остаточного вибору ввідного обладнання, оскільки фактична схема електропостачання корпусу може мати декілька вводів або окремі живильні лінії. Проте воно дозволяє оцінити порядок навантаження, необхідний клас вимірювального обладнання та діапазон трансформаторів струму для системи моніторингу [23; 24; 33; 34].

2.4. Очікуваний ефект від модернізації

Для енергетичного паспорту навчального корпусу важливо визначити не лише максимальну потужність, але й форму добового графіка. У корпусі №1 КНУ графік електроспоживання формується під впливом розкладу занять, роботи адміністративних підрозділів, увімкнення освітлення, роботи комп'ютерних класів, лабораторних занять, сезонного кондиціонування та фоновому навантаження серверного й мережевого обладнання [12; 13; 29; 31].

Добове споживання електроенергії визначається інтегруванням графіка активної потужності за часом. Для дискретного графіка з кроком 1 година використовується формула:

$$E_{\text{доб}} = \Sigma(P_{\text{t}} \cdot \Delta t), \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

де P_{t} — середня активна потужність протягом t -ї години; Δt — інтервал часу, год. У цій роботі прийнято $\Delta t = 1$ год.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для корпусу розглянуто чотири характерні режими: звичайний навчальний день; літній робочий день з активною роботою кондиціонерів; канікулярний робочий день; вихідний або черговий режим. Результати моделювання подано в табл. 2.4 та на рис. 2.3.

Таблиця 2.4 – Розрахункові показники добових графіків корпусу №1 КНУ

Режим роботи	Едоб, кВт·год/добу	Р _{max} , кВт	Р _{ср} , кВт	Коефіцієнт нерівномірності Р _{max} /Р _{ср}	Частка нічного споживання, %
Навчальний день	4049	395	168.7	2.34	5.5
Літній день з кондиціонуванням	4697	475	195.7	2.43	5.4
Канікулярний робочий день	2069	200	86.2	2.32	10.5
Вихідний / черговий режим	825	58	34.4	1.69	22.9

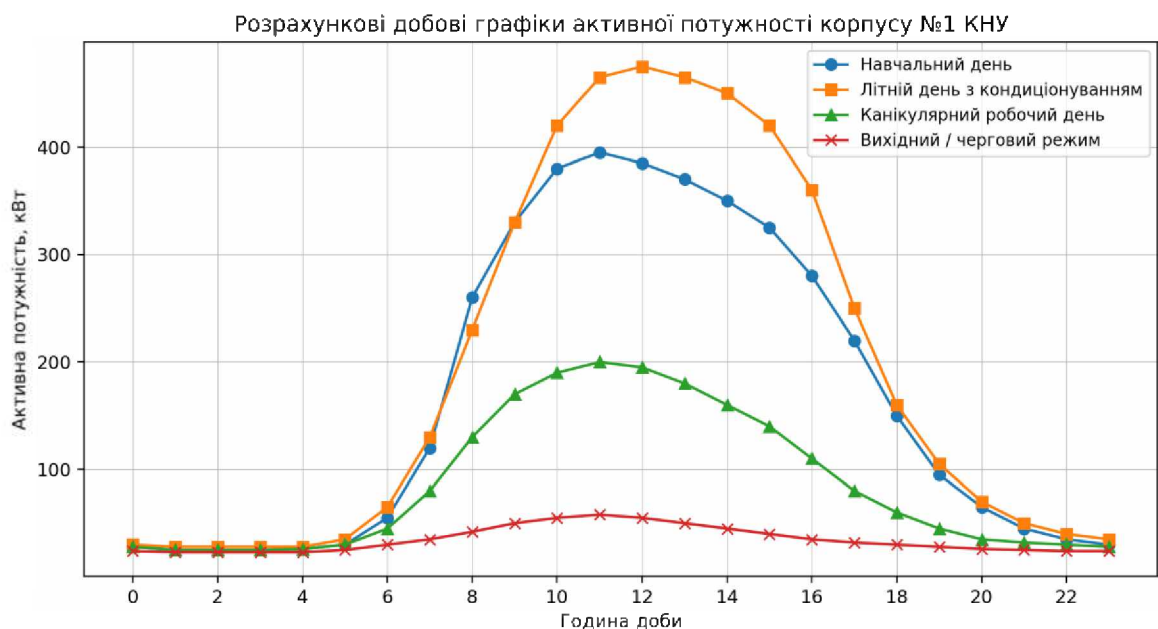


Рисунок 2.3 – Розрахункові добові графіки активної потужності корпусу №1 КНУ для різних режимів роботи

Найбільша добова витрата електроенергії спостерігається у літньому режимі з кондиціонуванням — 4697 кВт·год/добу. Для звичайного навчального дня вона становить 4049 кВт·год/добу. Канікулярний робочий день має зменшене навантаження — 2069 кВт·год/добу, а вихідний режим — 825 кВт·год/добу. Такі розрахунки показують, що для енергетичного паспорту корпусу потрібно використовувати не один середній добовий графік, а набір типових профілів за режимами роботи.

Частка нічного споживання для навчального дня становить приблизно 5.5 %. Для вихідного режиму вона зростає до 22.9 %, оскільки загальне денне навантаження зменшується, а фонові споживачі залишаються увімкненими. У майбутній системі моніторингу цей показник доцільно використовувати як індикатор залишеного обладнання, надмірного чергового освітлення або нераціональної роботи вентиляції.

2.5. Розрахунок річного електроспоживання та питомих показників

Річне електроспоживання корпусу визначається за сумою добових профілів різних режимів роботи. Для попереднього енергетичного паспорту прийнято: 210 навчальних днів, 45 літніх робочих днів з активним використанням кондиціонерів, 45 канікулярних робочих днів та 65 вихідних або чергових днів. Такий розподіл є укрупненим і може бути уточнений відповідно до календаря навчального року та графіка роботи університету [4; 7; 8].

Річне споживання визначається за формулою:

$$E_{\text{рік}} = E_{\text{навч}} \cdot N_{\text{навч}} + E_{\text{літ}} \cdot N_{\text{літ}} + E_{\text{кан}} \cdot N_{\text{кан}} + E_{\text{вих}} \cdot N_{\text{вих}},$$

кВт·год/рік,

де $E_{\text{навч}}$, $E_{\text{літ}}$, $E_{\text{кан}}$, $E_{\text{вих}}$ — добові витрати електроенергії для відповідних режимів; $N_{\text{навч}}$, $N_{\text{літ}}$, $N_{\text{кан}}$, $N_{\text{вих}}$ — кількість днів відповідних режимів протягом року.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляючи прийняті значення, отримаємо:

$$E_{\text{рік}} = 4049 \cdot 210 + 4697 \cdot 45 + 2069 \cdot 45 + 825 \cdot 65 = 1\,208\,385 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}.$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок річного електроспоживання корпусу №1 КНУ

Режим роботи	Кількість днів на рік	Добове споживання, кВт·год	Річне споживання, кВт·год	Частка, %
Навчальні дні	210	4049	850 290	70.4
Літній режим з кондиціонуванням	45	4697	211 365	17.5
Канікулярні робочі дні	45	2069	93 105	7.7
Вихідні та чергові дні	65	825	53 625	4.4
Разом	365	-	1 208 385	100,0

Структура річного електроспоживання за режимами роботи

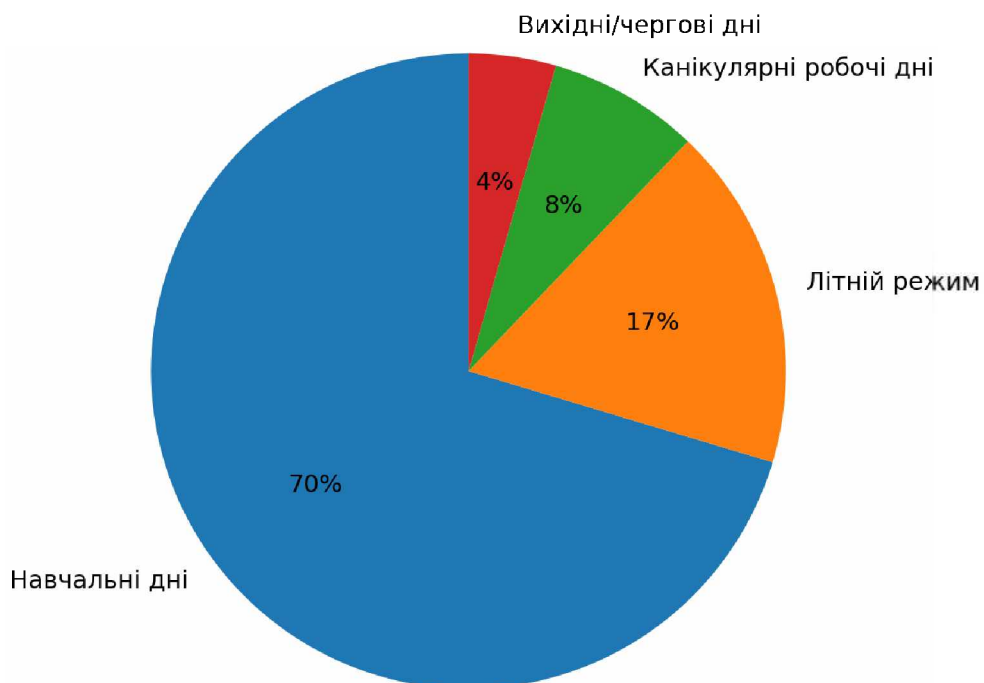


Рисунок 2.4 – Структура річного електроспоживання корпусу №1 КНУ за режимами роботи

Одним із головних показників енергетичного паспорту є питоме електроспоживання на одиницю площі:

$$w_A = E_{\text{рік}} / A, \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік}),$$

$$w_A = 1\,208\,385 / 28000 = 43.2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік}).$$

Також можна визначити питоме споживання на одне приміщення:

$$w_{\text{прим}} = E_{\text{рік}} / N_{\text{прим}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{приміщення} \cdot \text{рік},$$

$$w_{\text{прим}} = 1\,208\,385 / 550 = 2197 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{приміщення} \cdot \text{рік}.$$

Для оцінювання нерівномірності річного графіка використовується коефіцієнт використання максимуму:

$$k_m = P_{\text{ср,рік}} / P_{\text{max}},$$

$$P_{\text{ср,рік}} = E_{\text{рік}} / 8760 = 137.9 \text{ кВт}; \quad k_m = 137.9 / 475 = 0.29.$$

Отримані питомі показники показують, що електроспоживання корпусу суттєво залежить від режиму використання приміщень. Показник кВт·год/(м²·рік) у цій роботі охоплює лише електричну енергію та не включає теплову енергію для опалення, гаряче водопостачання або інші енергоносії. Тому його не можна напряму ототожнювати з офіційним класом енергетичної ефективності будівлі. Він використовується як внутрішній електричний індикатор для енергетичного паспорту установи [1; 2; 3; 4].

2.6. Формування розрахункових таблиць енергетичного паспорту корпусу

Енергетичний паспорт установи повинен містити не лише загальне річне споживання, але й систему показників, які можуть регулярно оновлюватися за даними моніторингу. У межах цієї роботи енергетичний паспорт розглядається

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як внутрішній технічний документ університету, що допомагає відстежувати динаміку електроспоживання, виявляти нераціональні режими та обґрунтовувати заходи з енергозбереження [4; 6; 7; 8].

Основними блоками такого паспорту для корпусу №1 КНУ є: загальні дані будівлі; структура приміщень; встановлена потужність; розрахункова потужність; добові профілі; річне електроспоживання; питомі показники; частка нічного споживання; рекомендації щодо моніторингу та енергоефективності. На рис. 2.5 показано логіку перетворення розрахункових даних у блоки енергетичного паспорту.

Перетворення розрахункових даних у блоки енергетичного паспорту



Рисунок 2.5 – Перетворення розрахункових даних у блоки енергетичного паспорту корпусу №1 КНУ

Таблиця 2.6 – Основні показники для енергетичного паспорту корпусу №1 КНУ

Показник	Позначення	Розрахункове значення	Одиниця вимірювання	Призначення
Загальна площа корпусу	А	28000	м ²	Нормування споживання

Кількість приміщень	Nприм	550	од.	Опис об'єкта
Встановлена потужність	Pвст	893.1	кВт	Інвентаризація електроприймачів
Розрахункова активна потужність	Pрозр	457.8	кВт	Оцінка навантаження вводу
Розрахункова повна потужність	Sрозр	505.5	кВА	Вибір діапазону вимірювання
Річне електроспоживання	Ерік	1 208 385	кВт·год/рік	Енергетичний баланс
Питоме електроспоживання	wА	43.2	кВт·год/(м²·рік)	Порівняння з базовим рівнем
Максимальна активна потужність	Pmax	475	кВт	Аналіз пікових навантажень
Середньорічна активна потужність	Pср	137.9	кВт	Оцінка використання максимуму
Коефіцієнт використання максимуму	км	0.29	-	Характеристика графіка навантаження
Частка нічного споживання у навчальний день	Еніч,%	5.5	%	Індикатор нераціонального

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

				о фонового навантаження
--	--	--	--	-------------------------

Для подальшого автоматичного оновлення паспорту система моніторингу повинна передавати такі дані: активну енергію за годину, активну та реактивну потужність, напругу, струм, коефіцієнт потужності, частоту, а також мітку часу. За наявності групових лічильників додатково формується баланс за зонами: освітлення, адміністративні кабінети, комп'ютерні класи, лабораторії, вентиляція, кондиціонування, серверне й чергове обладнання [15; 16; 25; 26].

У роботі доцільно передбачити, що енергетичний паспорт має оновлюватися не рідше одного разу на місяць. Добові графіки використовуються для оперативного аналізу, місячні звіти — для енергоменеджменту, а річний звіт — для оцінювання динаміки та планування заходів з енергоефективності. Для верифікації економії після впровадження заходів потрібно порівнювати фактичне споживання з базовим рівнем, що відповідає принципам ISO 50006, ISO 50015 та IPMVP [7; 8; 27; 28].

2.8. Оцінка потенціалу енергозбереження за результатами розрахунків

Розрахункова модель дозволяє визначити попередній потенціал енергозбереження до впровадження повної системи моніторингу. Найбільш очевидними напрямками є оптимізація освітлення, керування кондиціонерами, зменшення нічного фонового споживання, вимкнення обладнання поза робочим часом, контроль комп'ютерних класів і лабораторій, а також виявлення перевищення типових добових профілів [6; 7; 8; 13].

Для попередньої оцінки можна розглянути три заходи: зменшення споживання освітлення на 15 % за рахунок LED-модернізації та датчиків присутності; зменшення витрат на кондиціонування на 10 % завдяки регламенту температури та графіку роботи; зменшення нічного фонового споживання на 20 % за рахунок відключення непотрібних споживачів. Для фактичної верифікації економії необхідно мати базовий рівень і архів вимірювань, що відповідає підходам ISO 50006, ISO 50015 та IPMVP [7; 8; 27; 28].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Попередня оцінка потенціалу економії електроенергії

Захід	Базова частка/оцінка	Прийнятий ефект	Орієнтовна економія, кВт·год/рік	Коментар
Оптимізація освітлення	28 % річного електроспоживання	15 %	50752	LED, датчики присутності, регламент вимкнення
Керування кондиціонерами	12 % річного електроспоживання	10 %	14501	Температурний регламент, графіки роботи
Зменшення нічного фоновго навантаження	6 % річного електроспоживання	20 %	14501	Вимкнення ПК, принтерів, освітлення, чергових споживачів
Разом	-	-	79753	6.6 % від річного споживання

За попередньою оцінкою потенційна економія може становити близько 79753 кВт·год/рік, або 6.6 % від розрахункового річного електроспоживання. Це значення є орієнтовним і використовується лише для обґрунтування доцільності системи моніторингу. Реальний ефект повинен визначатися після впровадження заходів шляхом порівняння фактичного споживання з базовим рівнем, скоригованим за режимом роботи корпусу, кількістю користувачів і сезонними умовами [7; 8; 27; 28].

На практиці саме система моніторингу дозволяє відрізнити реальну економію від випадкового зменшення споживання через зміну розкладу, канікули або зменшення присутності людей. Тому в третьому розділі необхідно розробити структуру збору даних, алгоритм формування добових профілів та модель автоматичного оновлення енергетичного паспорту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ

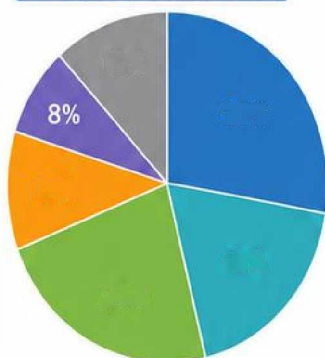
ЗРАЗОК

ОБ'ЄКТ

ПОКАЗНИКИ

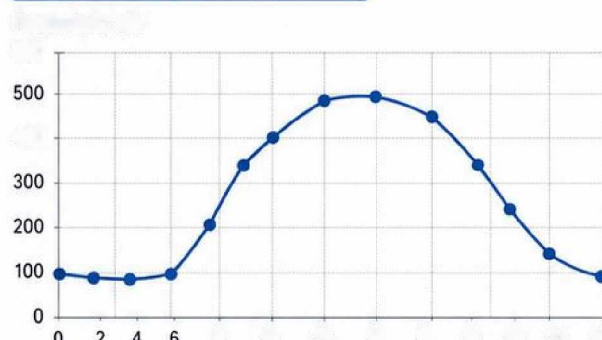
№		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

ВІСІВНИЙ ПОКАЗНИК

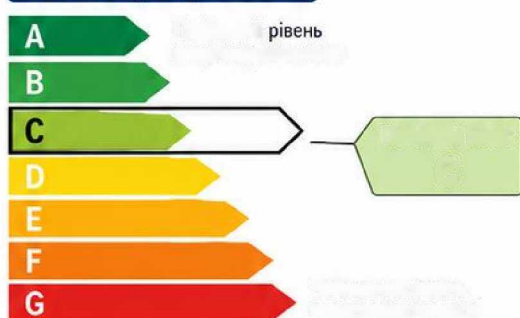


- Електроенергія
- Теплова енергія
- Водяна енергія
- Інше

ДИНАМІКА



КЛАСИФІКАЦІЯ



РЕКОМЕНДАЦІЇ

- Енергозбереження
- Моніторинг
- Енергозбереження
- Енергозбереження
- Енергозбереження

ПІДСУМОК

Висновок про енергетичний паспорт об'єкта.

Рисунок 2.6 Зразок енергетичного паспорту

Висновки до розділу 2

У другому розділі сформовано розрахункову модель корпусу №1 Криворізького національного університету як об'єкта електроспоживання з орієнтовною кількістю 550 приміщень і загальною розрахунковою площею 28000 м².

– Виділено основні групи споживачів: адміністративні кабінети, навчальні аудиторії, комп'ютерні класи, лабораторії, загальні зони, вентиляція, кондиціонування, серверне та мережеве обладнання.

– Розрахункова встановлена потужність прийнятих груп електроприймачів становить 893.1 кВт, а розрахункова активна потужність у літній максимум — 457.8 кВт.

– Сумарна розрахункова повна потужність становить 505.5 кВА, а орієнтовний струм трифазного вводу 0,4 кВ — близько 730 А, що визначає порядок параметрів для вибору вимірювального обладнання.

– Побудовано типові добові графіки для навчального дня, літнього дня з кондиціонуванням, канікулярного робочого дня та вихідного режиму. Найбільше добове споживання отримано для літнього режиму — 4697 кВт·год/добу.

– Розрахункове річне електроспоживання корпусу становить 1 208 385 кВт·год/рік, а питоме електроспоживання — 43.2 кВт·год/(м²·рік).

– Сформовано таблицю основних показників для енергетичного паспорту корпусу: площа, кількість приміщень, встановлена та розрахункова потужність, річне споживання, питоме споживання, максимальна потужність, середньорічна потужність, коефіцієнт використання максимуму та частка нічного споживання.

– Порівняльна модель підприємства зі збирання металоконструкцій показала, що виробничий об'єкт має інший характер споживання: більшу частку технологічних навантажень, виражені піки протягом зміни та інші питомі показники.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Попередня оцінка потенціалу енергозбереження показала можливість зменшення споживання за рахунок оптимізації освітлення, кондиціонування та нічного фонового навантаження. Для підтвердження фактичної економії необхідне впровадження системи моніторингу, що буде розглянуто в третьому розділі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННОСТІ, ВДЕ ТА ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1. Вимоги до системи моніторингу та вибір контрольованих показників

Система моніторингу електроспоживання корпусу №1 КНУ повинна забезпечувати не лише накопичення показів електролічильників, але й формування технічних показників, потрібних для енергетичного паспорту установи. З позицій енергоменеджменту важливо відстежувати базовий рівень споживання, сезонні коливання, добові максимуми, нічне фонове навантаження, а також зміну питомого електроспоживання після впровадження енергоощадних заходів [6–8].

Для корпусу №1 доцільно прийняти багаторівневу систему вимірювання. Перший рівень — головний ввід будівлі, де контролюються сумарні параметри. Другий рівень — поверхові або секційні щити, що дає змогу виділяти зони корпусу. Третій рівень — групові лінії основних споживачів: освітлення, комп’ютерні класи, адміністративні кабінети, лабораторні аудиторії, вентиляція, кондиціонування, серверне та телекомунікаційне обладнання. Такий підхід відповідає задачі не лише комерційного обліку, а й технічного аналізу режимів електроспоживання [15; 16; 25; 26].

Мінімальний набір контрольованих параметрів повинен включати активну енергію, активну потужність, реактивну потужність, напругу, струм, коефіцієнт потужності, частоту, дату і час вимірювання. Для аналізу якості електроенергії додатково доцільно контролювати відхилення напруги та, за наявності відповідного аналізатора, гармонічні спотворення. Вимоги до напруги у мережах загального призначення регламентуються ДСТУ EN 50160:2014, тому система

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Кириленко Л				Розділ	Літ.	Арк.
Перевірів	Пересунько І						Акрушів
Н. Контр.	Пересунько І					КНУ гр. ЗЕЕМ-22	
Затвердж.	Пересунько І						

моніторингу може використовуватись також для виявлення проблем живлення чутливого комп'ютерного та лабораторного обладнання [23].

Таблиця 3.1 – Рекомендовані точки моніторингу та контрольовані показники

Точка вимірювання	Основна мета контролю	Параметри	Період зчитування
Головний ввід корпусу	Баланс усього корпусу, максимум навантаження	U, I, P, Q, cos φ, E	1–5 хв
Поверхові щити	Порівняння зон будівлі	P, E, I, cos φ	5–15 хв
Освітлення	Оцінка частки освітлення та режимів роботи	P, E	15 хв
Комп'ютерні класи	Пікові навчальні навантаження	P, E, I	5–15 хв
Лабораторні аудиторії	Контроль нерівномірних навантажень	P, E, I	5–15 хв
Серверне та мережеве обладнання	Критичне навантаження для резервування	P, E, стан живлення	1–5 хв
СЕС та АКБ	Оцінка локальної генерації та автономності	P_PV, E_PV, SoC, P_AKB	1–5 хв

$$E_{\text{д}} = \sum P_i \cdot \Delta t, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $E_{\text{д}}$ — добове споживання електроенергії; P_i — середня активна потужність за i -й інтервал вимірювання; Δt — тривалість інтервалу у годинах. Якщо інтервал зчитування становить 15 хв, то $\Delta t = 0,25$ год.

$$P_{\text{max}} = \max(P_i); \quad P_{\text{cp}} = E_{\text{д}} / 24; \quad k_{\text{н}} = P_{\text{max}} / P_{\text{cp}},$$

де P_{max} — максимальна потужність за добу; P_{cp} — середньодобова потужність; $k_{\text{н}}$ — коефіцієнт нерівномірності графіка. Для енергетичного паспорту ці показники важливі тому, що вони дозволяють виявити завищені піки та нічне паразитне споживання.

3.2. Структурна схема системи моніторингу корпусу №1 КНУ

Структурно система моніторингу повинна складатися з вимірювального, комунікаційного, серверного та аналітичного рівнів. Вимірювальний рівень утворюють лічильники та аналізатори мережі. Комунікаційний рівень забезпечує передавання даних за інтерфейсами RS-485/Modbus RTU або Ethernet/Modbus TCP. Серверний рівень накопичує архів вимірювань, а аналітичний рівень формує добові, місячні та річні звіти [15–18; 31].

Для навчального корпусу важливо передбачити можливість поступового впровадження системи. На першому етапі достатньо встановити головний аналізатор мережі на вводі будівлі. На другому етапі додаються лічильники поверхових щитів. На третьому етапі виконується деталізація за групами навантаження. Така поетапність зменшує початкові витрати та дозволяє використовувати отримані дані для уточнення розрахункової моделі, наведеної у розділі 2.

На рис. 3.1 показано логіку передавання даних від електричної мережі корпусу до енергетичного паспорту. Ключовою ідеєю є те, що енергетичний паспорт не повинен бути одноразово заповненим документом. Він має оновлюватися на основі фактичних даних моніторингу, що відповідає

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципам енергетичного менеджменту та вимірювання досягнутої енергоефективності [7; 8; 27; 28].

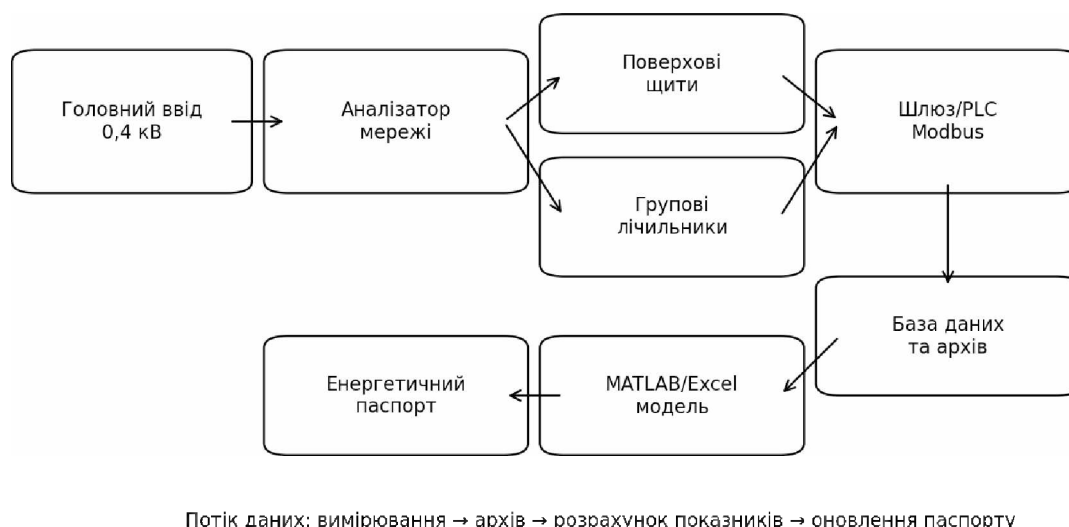


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи моніторингу електроспоживання корпусу №1 КНУ

У структурній схемі окремо виділено блок MATLAB/Excel моделі, оскільки на етапі бакалаврської роботи основною задачею є не створення промислової SCADA-системи, а розроблення розрахунково-аналітичної моделі. Після впровадження обладнання той самий алгоритм може бути перенесений у серверну базу даних, вебпанель або систему енергоменеджменту університету.

3.3. Математична модель сезонної зміни електроспоживання

Розрахунки розділу 2 дають базове річне споживання корпусу №1 КНУ $E_{\text{рік}} = 1\,208\,385$ кВт·год/рік. Для подальшого моделювання це значення необхідно розподілити за місяцями з урахуванням сезонності. У навчальних корпусах сезонність формується не лише температурою повітря, а й календарем навчального процесу, тривалістю світлового дня, роботою кондиціонерів, комп'ютерних класів, адміністративних підрозділів та лабораторій [12–14; 29; 30].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У моделі прийнято, що зимові місяці мають підвищений коефіцієнт споживання через більшу тривалість використання освітлення, роботу адміністративних служб і часткове використання електричних допоміжних пристроїв. Літні місяці мають зменшене навчальне навантаження, але повністю не дорівнюють нулю через роботу ректорату, деканатів, бухгалтерії, охорони, серверного обладнання та кондиціонерів. Тому місячне споживання розраховується не рівномірним поділом річної енергії, а через вагові коефіцієнти сезонності.

$$E_m = E_{\text{рік}} \cdot (k_m \cdot D_m) / \Sigma(k_m \cdot D_m),$$

де E_m — електроспоживання у m -му місяці, кВт·год; $E_{\text{рік}}$ — річне електроспоживання корпусу, кВт·год; k_m — сезонний коефіцієнт; D_m — кількість днів у місяці. Для моделі прийнято масив сезонних коефіцієнтів: 1,10; 1,05; 1,00; 0,95; 0,95; 0,85; 0,65; 0,70; 1,00; 1,05; 1,10; 1,15.

$$P_{\text{заг}}(t) = P_{\text{баз}} + P_{\text{адм}}(t) + P_{\text{навч}}(t) + P_{\text{лаб}}(t) + P_{\text{ІТ}}(t) + P_{\text{осв}}(t) + P_{\text{ОВК}}(t),$$

де $P_{\text{баз}}$ — базове фонове навантаження; $P_{\text{адм}}(t)$ — навантаження адміністративних кабінетів; $P_{\text{навч}}(t)$ — навантаження аудиторій; $P_{\text{лаб}}(t)$ — лабораторне навантаження; $P_{\text{ІТ}}(t)$ — комп'ютерне та серверне навантаження; $P_{\text{осв}}(t)$ — освітлення; $P_{\text{ОВК}}(t)$ — вентиляція, кондиціонування та інші системи забезпечення мікроклімату.

Таблиця 3.2 – Результат розподілу річного електроспоживання за місяцями та оцінка генерації СЕС

Місяць	Споживання, кВт·год	СЕС 100 кВтр, кВт·год	Корисна СЕС, кВт·год	Частка СЕС від місяця, %
Січень	117 396	3 000	2 850	2.4
Лютий	101 215	5 000	4 750	4.7
Березень	106 723	8 500	8 075	7.6

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк. 51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Квітень	98 117	12 000	11 400	11.6
Травень	101 387	14 000	13 300	13.1
Червень	87 789	14 500	13 775	15.7
Липень	69 370	15 000	14 250	20.5
Серпень	74 706	13 500	12 825	17.2
Вересень	103 281	10 500	9 975	9.7
Жовтень	112 060	7 500	7 125	6.4
Листопад	113 609	4 000	3 800	3.3
Грудень	122 732	2 500	2 375	1.9
Разом	1 208 385	110 000	104 500	8.6

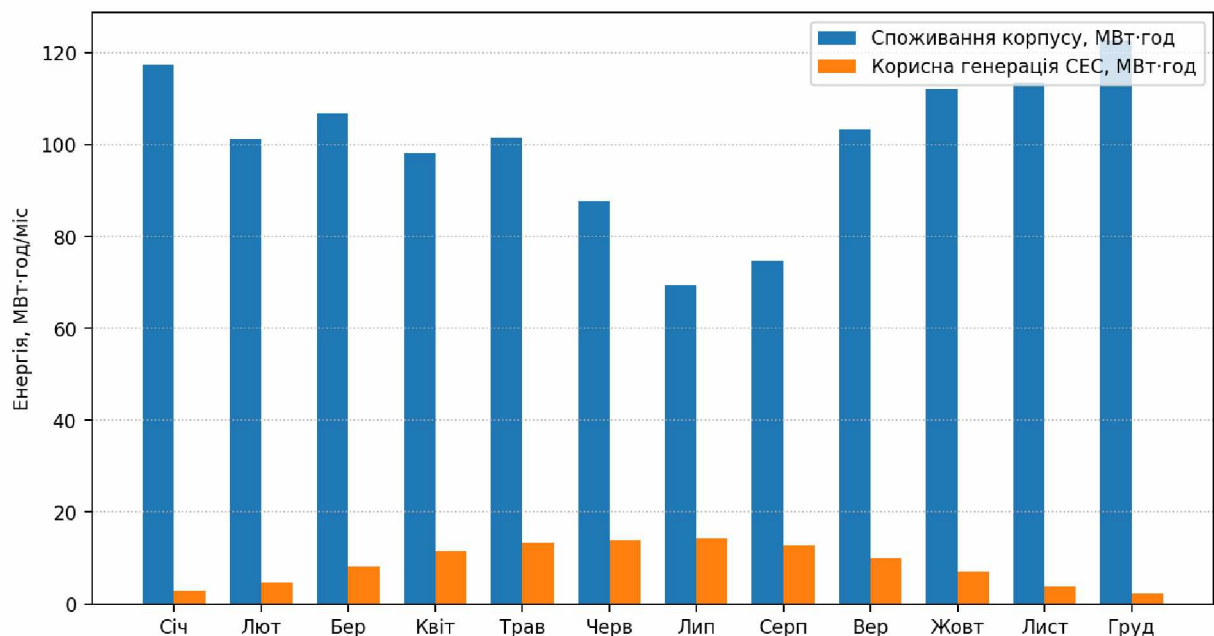


Рисунок 3.2 – Сезонне електроспоживання корпусу №1 КНУ та корисна генерація СЕС потужністю 100 кВтр

За прийнятою моделлю річна генерація СЕС 100 кВтр становить 110 000 кВт·год/рік з яких корисно використовується приблизно 104 500 кВт·год/рік. Частка покриття річного електроспоживання корпусу становить близько 8.6 %. Отже така СЕС не може повністю забезпечити корпус але може помітно зменшити денне мережеве споживання і заряджати АКБ для критичних навантажень.

3.4. Модель роботи СЕС та акумуляторної батареї під час відключень

Через неможливість економічно обґрунтовано забезпечити весь корпус №1 від СЕС та АКБ у межах бакалаврської роботи прийнято сценарій резервування критичних навантажень. До них віднесено серверне та мережеве обладнання, частину освітлення, робочі місця ректорату, деканатів, бухгалтерії, охорони та мінімально необхідні системи зв'язку. Середня потужність критичних навантажень прийнята $P_{кр} = 65$ кВт.

Сценарій відключень у моделі сформовано на основі загальної ситуації з електропостачанням України у 2025 році: наявності пошкоджень енергетичної інфраструктури, запровадження графіків обмеження споживання та аварійних відключень, особливо в осінньо-зимовий період [36; 39; 40]. Наведений нижче графік відключень не є офіційним графіком КНУ, а використовується як розрахунковий сценарій для перевірки працездатності моделі.

$$E_{кр,m} = P_{кр} \cdot T_{відкл,m},$$

де $E_{кр,m}$ — енергія критичних навантажень, яку потрібно забезпечити під час відключень у m -му місяці; $P_{кр}$ — середня потужність критичних навантажень; $T_{відкл,m}$ — прийнята тривалість відключень у місяці, год.

$$SoC(t+1) = SoC(t) + \eta_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot \Delta t - P_{dis}(t) \cdot \Delta t / \eta_{dis},$$

де $SoC(t)$ — запас енергії в акумуляторній батареї; $P_{ch}(t)$ — потужність заряду; $P_{dis}(t)$ — потужність розряду; η_{ch} та η_{dis} — ККД заряду і розряду. У моделі прийнято АКБ номінальною ємністю 250 кВт·год, корисною ємністю 200 кВт·год за глибини розряду 80 %, а також інвертор потужністю 100 кВт.

Таблиця 3.3 – Прийняті параметри СЕС, АКБ та критичних навантажень

Параметр	Позначення	Значення	Пояснення
----------	------------	----------	-----------

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність дахової СЕС	P _{PV}	100 кВтр	Сценарне значення для навчального корпусу
Номінальна ємність АКБ	E _{АКВ,nom}	250 кВт·год	Літій-залізо- фосфатна або аналогічна АКБ
Корисна ємність АКБ	E _{АКВ,use}	200 кВт·год	За DoD = 80 %
Потужність інвертора АКБ	P _{АКВ}	100 кВт	Достатньо для P _{кр} = 65 кВт
Критичне навантаження	P _{кр}	65 кВт	Серверне, мережеве, адміністративне та аварійне освітлення
ККД заряду/розряду	η_{ch}, η_{dis}	0,95 / 0,95	Прийнято для спрощеної моделі

Таблиця 3.4 – Сценарій відключень та результати покриття критичних навантажень

Місяць	Відключення , год	E _{кр} , кВт·го д	Покрито СЕС+АКБ , кВт·год	Недовідпущен о, кВт·год	Покриття , %
Січень	40	2 600	1 820	780	70
Лютий	25	1 625	1 219	406	75
Березень	10	650	552	98	85
Квітень	5	325	292	33	90
Травень	0	0	0	0	100
Червень	0	0	0	0	100
Липень	0	0	0	0	100
Серпень	0	0	0	0	100
Вересень	5	325	292	33	90

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк. 54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жовтень	40	2 600	2 210	390	85
Листопада	55	3 575	2 681	894	75
Грудень	70	4 550	2 958	1 592	65
Разом	250	16 250	12 024	4 226	74.0

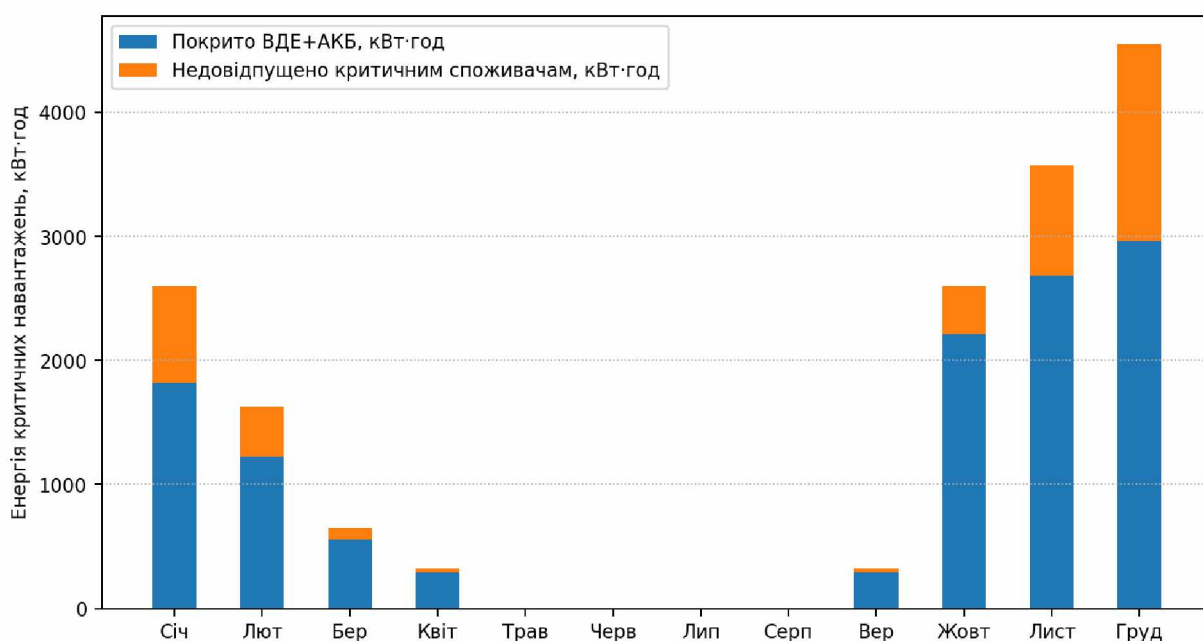


Рисунок 3.3 – Оцінка покриття критичних навантажень під час сценарних відключень електроенергії

За прийнятим сценарієм сумарна тривалість відключень становить 250 год/рік а потреба критичних навантажень під час цих відключень — 16 250 кВт·год/рік. Система СЕС 100 кВт та АКБ 250 кВт·год покриває близько 74.0 % цієї потреби. Непокрита частина припадає переважно на зимові місяці коли сонячна генерація мінімальна а ймовірність триваліших відключень вища.

3.5. MATLAB Live Script модель для розрахунку сезонних показників

Для перевірки запропонованої методики створено розрахункову модель у вигляді MATLAB Live Script. Live Script обрано тому, що він дозволяє поєднати програмний код, пояснювальний текст, формули, таблиці та графіки в одному інтерактивному файлі. Це зручно для бакалаврської роботи, оскільки студент

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може змінювати вихідні дані — потужність СЕС, ємність АКБ, критичне навантаження, графік відключень — і одразу отримувати оновлені графіки [44].

Модель складається з восьми логічних блоків: введення вихідних даних корпусу; формування місячного споживання; побудова добових профілів; розрахунок генерації СЕС; сценарій відключень; модель АКБ; розрахунок показників енергетичного паспорту; формування таблиці результатів. Повний код наведено у додатку А та додатково збережено окремим файлом KNU_Corpus1_EnergyMonitoring_LiveScript.m.

```
%% Модель моніторингу електроспоживання корпусу №1 КНУ з урахуванням сезонності, СЕС та АКБ
% Бакалаврська робота: Розробка системи моніторингу електроспоживання навчального корпусу університету
% Цей файл можна відкрити у MATLAB та зберегти як Live Script (*.mlx):
% Home -> New Live Script або Save As -> MATLAB Live Script.
% Модель є розрахунковою. Після встановлення лічильників масиви E_month та outage_hours
% замінюються фактичними даними з системи моніторингу.

clear; clc; close all;

%% 1. Вихідні дані корпусу та сезонна модель споживання
months = ["Січень","Лютий","Березень","Квітень","Травень","Червень", ...
          "Липень","Серпень","Вересень","Жовтень","Листопад","Грудень"];
days = [31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31];
E_year = 1208385; % кВт*год/рік, розраховано у розділі 2
seasonFactor = [1.10 1.05 1.00 0.95 0.95 0.85 0.65 0.70 1.00 1.05 1.10 1.15];
weights = seasonFactor .* days;
E_month = E_year .* weights ./ sum(weights); % кВт*год/міс

%% 2. Добові профілі навантаження для навчального та канікулярного періодів
h = 0:23;
profileStudy = 35 + 250*exp(-((h-12)/4.8).^2) + 85*exp(-((h-17)/2.7).^2); % кВт
profileVacation = 30 + 80*exp(-((h-12)/5.5).^2); % кВт
profileStudy = profileStudy * (4049/sum(profileStudy)); % нормування до 4049
% кВт*год/добу
profileVacation = profileVacation * (2069/sum(profileVacation)); % нормування до 2069
% кВт*год/добу

figure('Name','Добові профілі навантаження');
plot(h,profileStudy,'LineWidth',1.5); hold on;
plot(h,profileVacation,'LineWidth',1.5);
grid on; xlabel('Година доби'); ylabel('Потужність, кВт');
legend('Навчальний день','Канікулярний день','Location','best');
title('Розрахункові добові профілі корпусу №1 КНУ');

%% 3. Модель сонячної електростанції
P_pv = 100; % кВтр, сценарна потужність дахової СЕС
Y_month = [30 50 85 120 140 145 150 135 105 75 40 25]; % кВт*год/кВтр за місяць
PV_month = P_pv .* Y_month; % кВт*год/міс
selfUse = 0.95; % частка корисного використання генерації у межах
% корпусу
PV_self = PV_month .* selfUse;
PV_share = sum(PV_self) / E_year * 100;
```

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

figure('Name','Сезонне споживання та генерація СЕС');
bar([E_month(:)/1000 PV_self(:)/1000]); grid on;
set(gca,'XTickLabel',months); xtickangle(45);
ylabel('Енергія, МВт*год/міс');
legend('Споживання корпусу','Корисна генерація СЕС','Location','best');
title('Порівняння сезонного електроспоживання і генерації СЕС');

%% 4. Сценарій відключень електроенергії та критичні навантаження
% Дані є сценарними та відображають наявність графіків/аварійних обмежень у 2025 р.
outage_hours = [40 25 10 5 0 0 0 0 5 40 55 70]; % год/міс
P_crit = 65; % кВт, критичне навантаження корпусу
E_crit_outage = outage_hours .* P_crit;

%% 5. Спрощена модель АКБ
E_bess_nom = 250; % кВт*год, номінальна ємність АКБ
DoD = 0.80; % допустима глибина розряду
E_bess_useful = E_bess_nom * DoD;
P_bess = 100; % кВт, потужність інвертора
eta_ch = 0.95; eta_dis = 0.95;
coverCoeff = [0.70 0.75 0.85 0.90 1.00 1.00 1.00 1.00 0.90 0.85 0.75 0.65];
E_covered = E_crit_outage .* coverCoeff;
E_not_supplied = E_crit_outage - E_covered;
K_aut = sum(E_covered) / sum(E_crit_outage) * 100;

figure('Name','Покриття критичних навантажень');
bar([E_covered(:) E_not_supplied(:)],'stacked'); grid on;
set(gca,'XTickLabel',months); xtickangle(45);
ylabel('Енергія, кВт*год/міс');
legend('Покрито СЕС+АКБ','Недовідпущена енергія','Location','best');
title('Оцінка покриття критичних навантажень під час відключень');

%% 6. Показники енергетичного паспорту після додавання моніторингу та СЕС
saving_monitoring = 0.08; % очікуване зменшення після усунення
нераціональних режимів
E_saved = E_year * saving_monitoring;
E_after_monitoring = E_year - E_saved;
E_grid_after_PV = E_after_monitoring - sum(PV_self);

fprintf('Річне споживання до заходів: %.0f кВт*год\n', E_year);
fprintf('Очікувана економія від моніторингу: %.0f кВт*год/рік\n', E_saved);
fprintf('Корисна генерація СЕС: %.0f кВт*год/рік\n', sum(PV_self));
fprintf('Частка покриття річного споживання СЕС: %.1f %%\n', PV_share);
fprintf('Покриття критичних навантажень під час відключень: %.1f %%\n', K_aut);
fprintf('Очікуване споживання з мережі після моніторингу та СЕС: %.0f кВт*год/рік\n',
E_grid_after_PV);

%% 7. Формування таблиці результатів
Results = table(months', round(E_month',0), PV_self', outage_hours', E_crit_outage',
E_covered', E_not_supplied', ...
'VariableNames',
{'Місяць','Споживання_кВтгод','СЕС_кВтгод','Відключення_год','Критична_енергія_кВтгод',
'Покрито_кВтгод','Недовідпущено_кВтгод'});
disp(Results);

%% 8. Приклад добового балансу для зимового дня з двома відключеннями
pv_day = P_pv * max(0, sin(pi*(h-7)/(17-7)));
load_day = profileStudy;
soc = zeros(size(h)); soc(1) = 140; % кВт*год
for k = 2:length(h)
    isOutage = (h(k)>=8 && h(k)<10) || (h(k)>=17 && h(k)<19);
    soc(k) = soc(k-1);

```

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if isOutage
    discharge = min(P_crit, max(0, soc(k)-E_bess_nom*(1-DoD)));
    soc(k) = soc(k) - discharge/eta_dis;
else
    surplus = max(0, pv_day(k) - 0.08*load_day(k));
    soc(k) = soc(k) + min(P_bess, surplus)*eta_ch;
end
soc(k) = min(max(soc(k),E_bess_nom*(1-DoD)),E_bess_useful);
end

figure('Name','Зимовий день: навантаження, СЕС, СоС АКБ');
yyaxis left;
plot(h,load_day,'LineWidth',1.5); hold on;
plot(h,pv_day,'LineWidth',1.5);
ylabel('Потужність, кВт');
yyaxis right;
plot(h,soc,'--','LineWidth',1.5);
ylabel('Енергія в АКБ, кВт*год');
grid on; xlabel('Година доби');
legend('Навантаження корпусу','Генерація СЕС','СоС АКБ','Location','best');
title('Приклад роботи СЕС та АКБ під час денних і вечірніх відключень');

```

Основним результатом моделі є не лише один графік, а набір показників: річне споживання до заходів; очікувана економія від моніторингу; корисна генерація СЕС; частка покриття річного споживання; покриття критичних навантажень під час відключень; залишкове споживання з мережі після впровадження системи моніторингу та СЕС.

$$E_{\text{мережа,після}} = E_{\text{рік}} \cdot (1 - s_{\text{мон}}) - E_{\text{PV,self}},$$

де $E_{\text{мережа,після}}$ — очікуване річне споживання з мережі після впровадження моніторингу та СЕС; $s_{\text{мон}}$ — очікувана частка економії від усунення нераціональних режимів; $E_{\text{PV,self}}$ — корисно використана генерація СЕС. У моделі прийнято $s_{\text{мон}} = 0,08$, тобто 8 % потенційної економії від організаційно-технічних заходів.

Таблиця 3.5 – Узагальнені результати MATLAB-моделювання

Показник	Розрахункове значення
Річне електроспоживання до заходів	1 208 385 кВт·год/рік

Очікувана економія від моніторингу 8 %	96 671 кВт·год/рік
Корисна генерація СЕС 100 кВтр	104 500 кВт·год/рік
Частка корисної генерації СЕС від річного споживання	8.6 %
Сценарна тривалість відключень	250 год/рік
Потреба критичних навантажень під час відключень	16 250 кВт·год/рік
Покрито критичних навантажень СЕС+АКБ	12 024 кВт·год/рік
Недовідпущена енергія критичним навантаженням	4 226 кВт·год/рік
Коефіцієнт автономного покриття критичних навантажень	74.0 %
Очікуване споживання з мережі після моніторингу та СЕС	1 007 214 кВт·год/рік

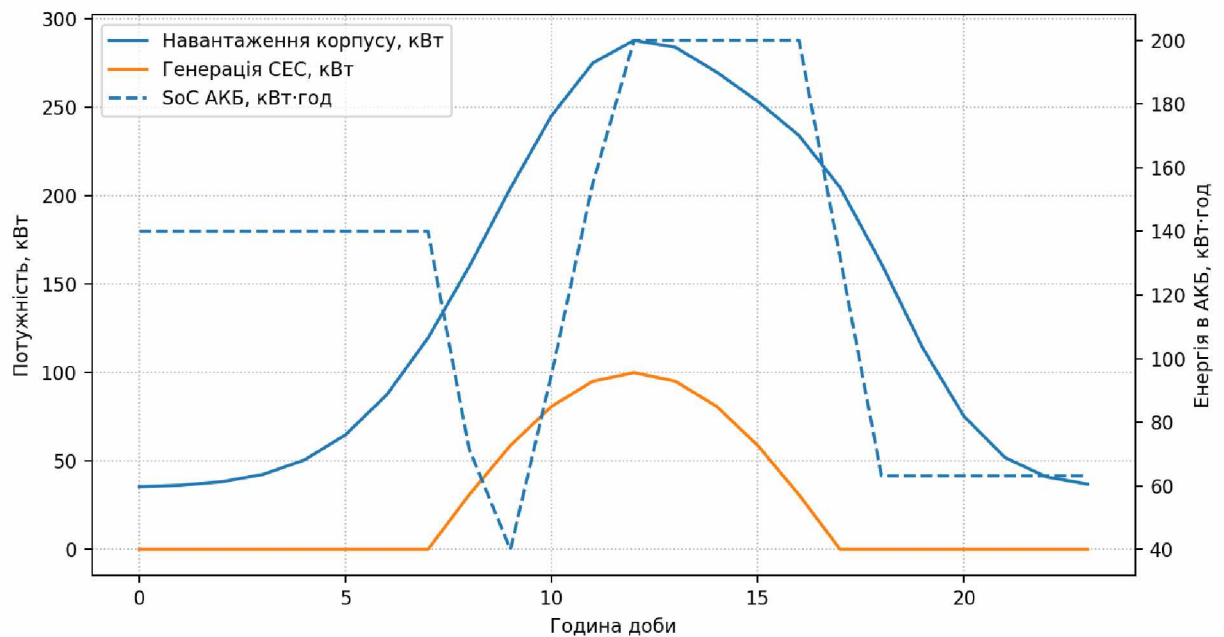


Рисунок 3.4 – Приклад зимового дня: навантаження корпусу, генерація СЕС та зміна SoC АКБ

На рис. 3.4 показано приклад денного моделювання для зимового робочого дня. У ранковий і вечірній періоди відключень критичне навантаження живиться від АКБ, а у денний період частина сонячної генерації може використовуватись для підзаряджання. У зимові місяці цього може бути недостатньо для повної автономності, тому для підвищення надійності доцільно або збільшувати ємність АКБ, або передбачати резервне джерело, наприклад дизель-генератор для тривалих аварійних режимів.

3.6. Аналіз результатів моделювання та показників енергетичного паспорту

Результати моделювання показують, що система моніторингу має найбільшу цінність не як окремий лічильник, а як інструмент прийняття рішень. Вона дозволяє визначити фактичний добовий максимум, середню потужність, нічне споживання, сезонну зміну навантаження та частку окремих груп споживачів. На основі цих даних енергетичний паспорт може автоматично оновлюватися після кожного місяця експлуатації.

Прийнята СЕС потужністю 100 кВтр дає орієнтовно 104,5 МВт·год корисної електроенергії на рік. Порівняно з річним споживанням корпусу це менше 10 %, тому її не слід подавати як засіб повного забезпечення корпусу. Натомість вона ефективна як денне джерело для зменшення мережевого споживання, заряджання АКБ і підтримки критичних навантажень під час короткочасних відключень [38; 41; 42; 47].

Система моніторингу також дозволяє оцінити ефект організаційних заходів. Якщо завдяки контролю графіків роботи кондиціонерів, вимкненню освітлення після завершення занять, обліку нічного споживання та оптимізації роботи комп'ютерних класів досягається 8 % економії, то річне споживання може зменшитися приблизно на 96,7 МВт·год. Разом із корисною генерацією СЕС це дає зменшення закупівлі електроенергії з мережі до приблизно 1 007,2 МВт·год/рік.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для енергетичного паспорту корпусу доцільно вносити не лише абсолютні значення кВт·год, але й похідні індикатори: кВт·год/(м²·рік), кВт·год/приміщення, кВт·год/користувача, $P_{\max}$, $P_{\text{ср}}$, коефіцієнт нерівномірності, частку нічного споживання, частку ВДЕ, коефіцієнт автономного покриття критичних навантажень. Саме ці показники можна порівнювати між роками і використовувати для планування модернізації.

$$K_{\text{ВДЕ}} = E_{\text{PV,self}} / E_{\text{рік}} \cdot 100 \%,$$

$$K_{\text{авт}} = E_{\text{покp}} / E_{\text{кр,відкл}} \cdot 100 \%,$$

$$\Delta E_{\text{заг}} = E_{\text{екон}} + E_{\text{PV,self}},$$

де $K_{\text{ВДЕ}}$ — частка корисної генерації СЕС у річному балансі; $K_{\text{авт}}$ — коефіцієнт покриття критичних навантажень під час відключень; $\Delta E_{\text{заг}}$ — сумарне зменшення закупівлі електроенергії з мережі за рахунок моніторингу та ВДЕ.

3.7. Практичні рекомендації щодо впровадження системи моніторингу

Впровадження системи моніторингу доцільно виконувати поетапно. На першому етапі необхідно провести інвентаризацію електроприймачів корпусу, уточнити перелік щитів, групових ліній, комп'ютерних класів, лабораторій, адміністративних кабінетів і критичних споживачів. Після цього встановлюється головний аналізатор мережі на вводі корпусу, який дає фактичний добовий і місячний профіль.

На другому етапі рекомендується встановити групові лічильники для основних зон: адміністративної частини, навчальних аудиторій, лабораторій, комп'ютерних класів, освітлення, серверного обладнання та вентиляції/кондиціонування. Це дозволить перейти від загального обліку до причинного аналізу: які саме групи створюють максимум, де виникає нічне споживання, які приміщення мають найбільший потенціал економії.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На третьому етапі доцільно інтегрувати СЕС та АКБ у систему моніторингу. Для цього необхідно контролювати генерацію СЕС, заряд/розряд АКБ, стан інвертора, потужність критичних навантажень і факт відсутності мережевої напруги. У разі відключення електроенергії система повинна автоматично формувати звіт: дата, тривалість, енергія критичних споживачів, покриття від АКБ, покриття від СЕС, недовідпущена енергія.

З погляду бакалаврської роботи головним результатом є запропонована методика: розрахункова модель розділу 2 перетворюється на цифрову модель розділу 3, яка може уточнюватися фактичними даними. Після встановлення приладів обліку достатньо замінити розрахункові масиви у MATLAB Live Script на реальні архіви, і модель автоматично перерахує сезонність, питоме споживання, вплив ВДЕ та ефективність резервування.

Таблиця 3.6 – Етапи впровадження системи моніторингу корпусу №1 КНУ

Етап	Зміст робіт	Очікуваний результат
1. Інвентаризація	Уточнення споживачів, щитів, критичних навантажень	Фактична база для коригування розрахунків
2. Головний облік	Встановлення аналізатора мережі на вводі корпусу	Добовий та місячний профіль усього корпусу
3. Зональний облік	Лічильники на поверхах і групових лініях	Баланс за зонами та групами споживачів
4. Аналітика	База даних, MATLAB/Excel модель, графіки	Автоматизоване оновлення енергопаспорту

5. ВДЕ та АКБ	Моніторинг СЕС, АКБ, критичних навантажень	Оцінка автономності під час відключень
6. Енергоменеджмент	Місячні звіти, порівняння з базовим рівнем	Планування заходів енергоефективності

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблено структуру системи моніторингу електроспоживання корпусу №1 КНУ, яка включає головний ввід, поверхові та групові точки обліку, комунікаційний шлюз, базу даних, аналітичну модель і блок оновлення енергетичного паспорту.

Сформовано математичну модель сезонного електроспоживання корпусу. На основі річного споживання 1 208 385 кВт·год/рік побудовано місячний баланс, який враховує навчальний процес, літній режим, роботу адміністративних служб та сезонну зміну освітлення і кондиціонування.

Запропоновано сценарій додавання дахової СЕС потужністю 100 кВтр та АКБ номінальною ємністю 250 кВт·год. За розрахунками така система може забезпечити близько 104,5 МВт·год корисної генерації на рік і покрити близько 74 % критичних навантажень у прийнятому сценарії відключень.

Створено MATLAB Live Script модель, яка дозволяє змінювати вихідні дані та отримувати графіки сезонного споживання, генерації СЕС, покриття критичних навантажень і стану АКБ. Модель може бути використана як основа для подальшого уточнення після встановлення системи моніторингу та отримання фактичних архівів вимірювань.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ході виконання кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне дослідження тягового електропривода електровоза ВЛ-85 з метою оцінки його енергоефективності та визначення шляхів її підвищення. Проведено огляд конструктивних особливостей електровоза, проаналізовано енергетичні втрати в існуючій реостатно-контакторній системі керування та визначено потенціал її модернізації.

На основі результатів математичного моделювання розроблено імітаційну модель електропривода, яка дозволила дослідити динамічні процеси під час тягового циклу «розгін – рівномірний рух – гальмування» як для традиційної системи, так і для модернізованої версії на базі IGBT-транзисторів із широтно-імпульсним керуванням.

Порівняльний аналіз показав, що інверторна система забезпечує зниження енергоспоживання до 30% завдяки відсутності втрат у пускових резисторах, а також дозволяє реалізувати рекуперативне гальмування, повертаючи до 60–70% кінетичної енергії назад у мережу. Це створює суттєвий енергозберігаючий ефект при регулярній експлуатації електровоза.

Крім економії енергії, модернізація дає низку експлуатаційних переваг — зниження навантаження на механічні та електричні компоненти, підвищення точності керування, зменшення витрат на технічне обслуговування та підвищення безпеки руху.

Таким чином, впровадження сучасної інверторної системи на електровозах типу ВЛ-85 є доцільним з точки зору технічної ефективності, економічної вигоди та відповідності сучасним вимогам енергозбереження на залізничному транспорті України.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2118-19> (дата звернення: 13.06.2026).

2. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20> (дата звернення: 13.06.2026).

3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0822-18> (дата звернення: 13.06.2026).

4. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 172 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0825-18> (дата звернення: 13.06.2026).

5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Сертифікація енергетичної ефективності будівель. URL: <https://saee.gov.ua/diialnist/sertyfikatsiia-enerhetychnoi-efektyvnosti-budivel> (дата звернення: 13.06.2026).

6. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел		
Розробив	Кириленко Л.						
Перевірів	Пересунько І.						
Н. Контр.	Пересунько І.						
Затвердж.	Пересунько І.						
					Лім.	Арк.	Акрушів
						66	5
					КНУ гр. ЗЕЕМ-22		

7. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження. Київ : Мінрегіон України, 2011.

8. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.

9. ДСТУ ISO 50006:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

10. ДСТУ ISO 50015:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня досягнутої/досяжної енергоефективності організацій. Загальні принципи та настанова. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

11. ISO 50001 — Energy management // International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html> (дата звернення: 13.06.2026).

12. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014.

13. ДСТУ EN IEC 62053-21:2022. Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 21. Статичні лічильники активної енергії. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

14. ДСТУ EN IEC 62053-23:2022. Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 23. Статичні лічильники реактивної енергії. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

15. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.

16. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018.

17. Правила улаштування електроустановок. Вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 18.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
- 19.Криворізький національний університет. Офіційний сайт. URL: <https://www.knu.edu.ua/> (дата звернення: 13.06.2026).
- 20.Криворізький національний університет. Структура університету. URL: <https://www.knu.edu.ua/struktura-universytetu> (дата звернення: 13.06.2026).
- 21.Криворізький національний університет. Матеріально-технічне забезпечення. URL: <https://www.knu.edu.ua/akredytaciya/material-no-tehnichne-zabezpechennya> (дата звернення: 13.06.2026).
- 22.Кафедра електричної інженерії Криворізького національного університету. Офіційний сайт. URL: <https://ee.knu.edu.ua/> (дата звернення: 13.06.2026).
- 23.Schneider Electric. EasyLogic PM2200 Series User Manual. URL: <https://iportal.se.com/Contents/docs/EASYLOGIC%20PM2200%20SERIES%20USER%20MANUAL.PDF> (дата звернення: 13.06.2026).
- 24.Schneider Electric. PowerLogic PM5000 Series Technical Datasheet. URL: <https://www.se.com/us/en/faqs/FA234024/> (дата звернення: 13.06.2026).
- 25.Eastron Europe. SDM630 Series User Manual. URL: https://www.eastroneurope.com/images/uploads/products/manuals/SDM630_Series_Manual.pdf (дата звернення: 13.06.2026).
- 26.Eastron Europe. SDM630 Modbus Smart Meter Modbus Protocol Implementation. URL: https://www.eastroneurope.com/images/uploads/products/protocol/SDM630_MODBUS_Protocol.pdf (дата звернення: 13.06.2026).
- 27.Siemens. SENTRON PAC3200 Power Monitoring Device. Manual. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504150/att_906558/v1/A5E01168664B-04_EN-US_122016_201612221316360495.pdf (дата звернення: 13.06.2026).
- 28.Socomec. DIRIS A-40 Multifunction Measuring Unit — PMD. Catalogue. URL: <https://emea.socomec.com/sites/default/files/2021-06/DIRIS-A-40--->

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

MULTIFUNCTION-MEASURING-UNIT---PMD_CATALOGUE---PAGES_2021-06_DCG_EN.pdf (дата звернення: 13.06.2026).

29.Efficiency Valuation Organization. International Performance Measurement and Verification Protocol. Core Concepts. URL: <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp> (дата звернення: 13.06.2026).

30.International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Washington : National Renewable Energy Laboratory, 2002. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy02osti/31505.pdf> (дата звернення: 13.06.2026).

31.Pan J., Jain R., Paul S., Vu T., Saifullah A., Sha M. An Internet of Things Framework for Smart Energy in Buildings: Designs, Prototype, and Experiments // IEEE Internet of Things Journal. 2015. DOI: 10.1109/JIOT.2015.2413397.

32.Himeur Y. et al. A Survey of Recommender Systems for Energy Efficiency in Buildings: Principles, Challenges and Prospects // Information Fusion. 2021. Vol. 72. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.inffus.2021.02.002.

33.Zhang T., Siebers P.-O., Aickelin U. Modelling Electricity Consumption in Office Buildings: An Agent Based Approach // Energy and Buildings. 2012. Vol. 43. P. 2882–2892.

34.Li X., Yao R., Liu M. An object-oriented energy benchmark for the evaluation of office building energy performance // Energy and Buildings. 2018. Vol. 178. P. 1–12.

35.Gao L. et al. Study on the Energy Consumption Characteristics and the Self-Sufficiency Rate of Rooftop Photovoltaic of University Campus Buildings // Energies. 2024. Vol. 17, No. 14. Article 3535. DOI: 10.3390/en17143535.

36.Ortiz-Peña A. et al. Electricity Consumption and Efficiency Measures in Public Buildings: A Review with a Focus on Universities // Energies. 2025. Vol. 18, No. 3. Article 609. DOI: 10.3390/en18030609.

37.Alnahhal M. et al. Analyzing Energy Consumption in Universities // International Journal of Energy Economics and Policy. 2024. DOI: 10.32479/ijeep.15517.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38.Akbar F. et al. Design of Realtime Electricity Consumption Monitoring System for Campus Buildings // TEM Journal. 2023. Vol. 12, No. 2. P. 840–849.

39.European Commission. Energy Performance of Buildings Directive. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (дата звернення: 13.06.2026).

40.BUILD UP. EPC Atlas: European energy certification map. URL: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/tools/epc-atlas> (дата звернення: 13.06.2026).

41.International Energy Agency. Ukraine’s Energy Security: A pre-winter assessment. 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security/a-pre-winter-assessment> (дата звернення: 13.06.2026).

42.International Energy Agency. Empowering Ukraine Through a Decentralised Electricity System. Executive summary. URL: <https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system/executive-summary> (дата звернення: 13.06.2026).

43.International Energy Agency. Policy options to accelerate distributed solar PV in Ukraine. 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/policy-options-to-accelerate-distributed-solar-pv-in-ukraine> (дата звернення: 13.06.2026).

44.Про внесення змін до Інструкції про складання і застосування графіків обмеження та аварійного відключення споживачів, а також протиаварійних систем зниження електроспоживання : наказ Міністерства енергетики України від 13.09.2025 № 366 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1485-25> (дата звернення: 13.06.2026).

45.Network overload triggers blackouts in Kyiv, other Ukrainian regions // Reuters. 2025. URL: <https://www.reuters.com/business/energy/network-overload-triggers-blackouts-kyiv-other-ukrainian-regions-2025-10-14/> (дата звернення: 13.06.2026).

46.Joint Research Centre. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en (дата звернення: 13.06.2026).

47.Global Solar Atlas. Ukraine — Solar resource and PV power potential maps. URL: <https://globalsolaratlas.info/download/ukraine> (дата звернення: 13.06.2026).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

48.NASA POWER. Prediction Of Worldwide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (дата звернення: 13.06.2026).

49.MathWorks. Create Live Scripts in the Live Editor. URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/create-live-scripts.html (дата звернення: 13.06.2026).

50.MathWorks. Stand-Alone Solar PV AC Power System with Battery Backup. URL: <https://www.mathworks.com/help/sps/ug/stand-alone-solar-pv-ac-power-system-with-battery-backup.html> (дата звернення: 13.06.2026).

51.MathWorks. Battery Modeling. URL: <https://www.mathworks.com/discovery/battery-modeling.html> (дата звернення: 13.06.2026).

52.MathWorks. MATLAB Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/> (дата звернення: 13.06.2026).

53.Masters G. M. Renewable and Efficient Electric Power Systems. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2013. 712 p.

54.Messenger R., Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 544 p.

55.Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2013. 928 p.

56.Gellings C. W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. Lilburn : Fairmont Press, 2009. 300 p.

57.Capehart B. L., Turner W. C., Kennedy W. J. Guide to Energy Management. 8th ed. Boca Raton : CRC Press, 2020. 659 p.

58.Thumann A., Younger W. J. Handbook of Energy Audits. 9th ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 494 p.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.249с-5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70