

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
«___» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та
енергоефективні технології»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: «Підвищення рівня енергоефективності будівлі корпусу
№ 31 КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Виконав:

студент IV курсу, групи ОН-21
Саржицький Даниїл
Володимирович

Керівник:

доцент, к. т. н., доцент,
Веремійчук Юрій Андрійович

Консультант з теплової частини:

доцент, к. т. н., доцент,
Шовкалюк Марина Михайлівна

Консультант з охорони праці:

професор, д. т. н., професор,
Третьякова Лариса Дмитрівна

Консультант з нормоконтролю:

Прокопенко Ірина Дмитрівна

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП 0121. 00.010 ПЗ	Пояснювальна записка	77	
3	A1	ДП 0121. 01.010	Схема електрична однолінійна ГРЩ корпусу № 31	1	
4	A1	ДП 0121. 02.010	Принципова схема ІТП корпусу № 31	1	
5	A1	ДП 0121. 03.010	План типового поверху корпусу № 31	1	
6	A1	ДП 0121. 04.010	Опис заходів з енергоефективності в системі електропостачання	1	

				ДП 0121 010		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Саржицький			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Веремійчук					
Консульт.	Третьякова				КП ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21	

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Підвищення рівня енергоефективності
будівлі корпусу № 31 КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та
енергоменеджменту Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

студенту Саржицькому

Даниїлу Володимировичу

1. Тема проєкту «Підвищення рівня енергоефективності будівлі корпусу № 31 КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

керівник проєкту к.т.н., доц. Веремійчук Ю.А., затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. №19.10-с.

2. Термін подання студентом проєкту: 10.06.2024

3. Вихідні дані до проєкту: загальний опис будівлі, споживання електричної та теплової енергії за три роки, схема ІТП об'єкту, план будівлі, схема електрична однолінійна ГРЩ корпусу.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) електрична частина: - Аналіз ефективності використання електричної енергії на об'єкті.

б) теплова частина: - Визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та заходів з його підвищення.

в) охорона праці та пожежна безпека: - Охорона праці та пожежна безпека під час встановлення сонячних модулів.

5. Перелік графічного матеріалу:

- 1) схема електрична однолінійна ГРЩ корпусу № 31;
- 2) принципова схема ІТП гуртожитку № 31;
- 3) план типового поверху гуртожитку № 31;
- 4) опис заходів з енергоефективності в системі електропостачання.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теплова частина	Шовкалюк М.М., доцент		
Охорона праці	Третьякова Л.Д., професор		

7. Дата видачі завдання: 22.05.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Розрахунок електричної частини	23.05.-29.05.26	
2.	Розрахунок теплової частини	29.05.-03.06.26	
3	Рекомендації для розвитку енергоменеджменту	03.06.-05.06.26	
4	Оцінка можливостей вдосконалення використання вторинних та відновлювальних джерел енергії на об'єкті	03.06.-08.06.26	
5.	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	08.06.-10.06.26	
6.	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.26	
7.	Захист дипломного проєкту	17.06.26	

Студент

Саржицький Д.В.

Керівник

Веремійчук Ю.А.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту складається з 6 розділів та містить 81 сторінку основного тексту. В основному тексті роботи наведено 18 ілюстрацій, 23 таблиці та 14 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Даний проєкт спрямований на підвищення енергоефективності корпусу №31, визначення відповідних заходів і аналіз можливостей використання відновлюваних джерел енергії. Об'єкт дослідження є процес споживання енергоресурсів у корпусі №31. Предметом дослідження є методи та заходи з підвищення енергозбереження корпусу, включаючи технічні, організаційні та економічні аспекти. Використані методи економічного аналізу та підходи щодо моделювання генерації електричної енергії відновлювальними джерелами. Реалізація всіх заходів з енергоефективності, передбачених дипломним проєктом, дозволить заощадити кошти та зменшити споживання енергії в будівлі.

Ключові слова: ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТИ, СПОЖИВАННЯ, ЕКОНОМІЯ.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory note to the diploma project consists of 6 chapters and contains 81 pages of the main text. In the main text of the work, 18 services, 23 tables, and 14 bibliographic titles are indicated in the list of references.

This project is aimed at increasing the energy efficiency of building №31, determining appropriate measures and analyzing the possibilities of using renewable energy sources. The object of the study is the process of energy consumption in the building №31. The subject of the study are methods and measures to increase the energy saving of the building, including technical, organizational and economic aspects. Used methods of economic analysis and approaches to modeling the generation of electric energy by renewable sources. Implementation of all energy efficiency measures provided for in the diploma project will save money and reduce energy consumption in the building.

Keywords: ENERGY, ENERGY EFFICIENCY, EXPENSES, CONSUMPTION, ECONOMY.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ	12
1.1 Короткий опис об'єкту	12
1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі	15
1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки.....	17
1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР	22
1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності	24
Висновки до розділу 1	24
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ.....	26
2.1 Схема електропостачання об'єкта та її аналіз	26
2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії.....	28
2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі	29
2.4 Повірочний розрахунок штучного освітлення приміщення	30
2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі	32
2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об'єкті	35
2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для споживачів електричної енергії.....	36
Висновки до розділу 2.....	37
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ.....	39
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях	39
3.2 Визначення теплового навантаження будівлі.....	40
3.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій	46
3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії.....	49
Висновки до розділу 3	50
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	52
4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту ..	52
4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів.....	53
4.3 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів.....	56
Висновки до розділу 4.....	58
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ	60

ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ.....	60
5.1 Дослідження клімату в м. Київ.....	60
5.2 Встановлення сонячних модулів на даху гуртожитка	61
5.3 Економічний розрахунок впровадження СЕС	69
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ	71
6.1 Загальна характеристика об'єкта.....	71
6.2 Технічні характеристики ЕУ	72
6.3 Перелік робіт та склад бригади	72
6.4 Моніторинг стану виробничого середовища та умов праці за методом Елмері	73
6.5 Оцінювання ризику на робочому місці	74
6.6 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках	74
6.7 Пожежна безпека	74
6.8 Розрахункове завдання: Розрахунок захисного заземлення інверторної установки	75
Висновки до розділу.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧНЬ, ТЕРМІНІВ

Скорочення

LED – світлодіодна лампа;
АСОЕ – автоматизована система обліку енергоресурсів;
ГРЩ – головний розподільчий щит;
ДБН – державна будівельна норма;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ГВП – гаряче водопостачання;
ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;
ІТП – індивідуальний тепловий пункт;
ОК – огорожувальні конструкції;
ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;
СЕНМ – система енергетичного менеджменту;
СК – світлопрозорі конструкції;
ФЕМ – фотоелектричні модулі.

Умовні позначки

h – коефіцієнт тепловіддачі;
R – термічний опір.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Важливість підвищення енергоефективності в освітніх закладах важко переоцінити, особливо в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів та необхідності зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Раціональне використання енергії в навчальних корпусах закладів вищої освіти є важливим елементом забезпечення сталого розвитку та енергетичної безпеки університетської інфраструктури.

Метою даної роботи є аналіз споживання енергетичних ресурсів та підвищення енергоефективності корпусу №31 КПІ.

Завдання роботи полягало у проведенні енергетичного аудиту об'єкта з метою забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. Проведення енергетичного аудиту дозволяє визначити основні напрями неефективного використання енергії, запропонувати технічні та організаційні заходи щодо їх усунення, а також оцінити економічну доцільність впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Об'єктом дослідження є процес споживання енергетичних ресурсів у корпусі №31 КПІ та можливості його оптимізації з метою підвищення рівня енергоефективності будівлі.

Предметом дослідження є методи та заходи підвищення енергозбереження навчального корпусу, включаючи технічні, організаційні та економічні аспекти впровадження сучасних енергоефективних рішень, зокрема використання фотоелектричних систем генерації електроенергії та сонцезахисних технологій.

У роботі використано методи економічного аналізу, енергетичного аудиту та підходи щодо моделювання генерації електричної енергії від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної енергетики.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Короткий опис об'єкту

Навчальний корпус №31 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» є невіддільною складовою навчально-наукової інфраструктури університету. Будівля розташована за адресою: Україна, 02000, м. Київ, вул. Михайла Брайчевського, 5а (рисунок 1.1). Даний об'єкт активно експлуатується для забезпечення стабільного аудиторного навчання студентів, а також для розміщення робочих місць професорсько-викладацького складу й адміністративного персоналу.

Корпус функціонує за чітким регламентованим графіком протягом усього навчального року: режим роботи триває з понеділка по суботу з 8:00 до 18:00, неділя є вихідним днем. Будівля є багатоповерховою капітальною спорудою, яка містить велику кількість лекційних аудиторій, спеціалізованих лабораторій, кабінетів кафедр та допоміжних технічних приміщень. Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних та комфортних умов перебування здобувачів освіти й персоналу корпус оснащений комплексом внутрішніх інженерних мереж, зокрема системами централізованого опалення, електропостачання, вентиляції, штучного освітлення та водопостачання. Варто зазначити, що проєктна та первинна технічна документація на будівлю наразі є частково застарілою або відсутньою, що викликає гостру необхідність проведення детального енергетичного обстеження та аналізу фактичних режимів споживання для обґрунтування подальших заходів з модернізації.

Будівля навчального корпусу №31 належить до споруд каркасного типу із цегляним заповненням зовнішніх стін.

Конструктивне виконання зовнішніх стін передбачає використання червоної цегли та окремих залізобетонних елементів. Частина фасадних

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Саржицький Д.В.			ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Веремійчук Ю.А.								12	81
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21			
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.									
Затверд.											

поверхонь з внутрішнього та зовнішнього боку покрита шаром цементно-піщаної штукатурки. Загальна товщина зовнішніх стін коливається в межах від 0,25 до 0,50 м залежно від архітектурних особливостей конкретного поверху та конструктивного вузла споруди.

Тривалий період експлуатації споруди без проведення капітальних ремонтів призвів до суттєвого морального та фізичного зносу будівельних матеріалів. Показники теплоізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій не задовольняють сучасним жорстким нормативам енергоефективності, які регламентовані чинними державними будівельними нормами ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [1]. Характерною негативною особливістю непрозорих елементів фасаду є наявність численних залізобетонних пілонів, перемичок та міжповерхових перекриттів, які безпосередньо контактують із зовнішнім середовищем, утворюючи стійкі «містки холоду». Це спричиняє додаткові локальні втрати теплоти через теплопередачу та збільшує ризик утворення конденсату й промерзання стін у зимовий період.



Рисунок 1.1 – Корпус №31, вул. Михайла Брайчевського, 5а

Загальна площа навчального корпусу №31 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», відповідно до технічної документації будівлі, становить 4337 м². Значну частину площі займають навчальні аудиторії, лабораторії, адміністративні та службові приміщення.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлопрозорі огорожувальні конструкції корпусу представлені 202 віконними блоками, з яких 50% (101 одиниця) є застарілими дерев'яними конструкціями, що не відповідають сучасним вимогам опору теплопередачі та потребують першочергової модернізації. Значна кількість цих конструкцій перебуває у незадовільному технічному стані: розсихання рам, тріщини та втрата герметичності притворів зумовлюють високі теплові втрати та інтенсивну інфільтрацію зовнішнього холодного повітря. Хоча в корпусі було проведено часткову модернізацію із заміною найбільш зношених блоків на сучасні металопластикові енергоефективні вікна, загальний відсоток оновлення залишається недостатнім. Існуючий стан віконних конструкцій навчального корпусу №31 наведено на рисунку 1.2. Двері центрального входу та частина допоміжних та технічних входів має старі дерев'яні дверні блоки.



Рисунок 1.2 – Існуючий стан віконних конструкцій навчального корпусу № 31

Покрівля будівлі — плоского типу, що є сприятливим фактором для встановлення фотоелектричних модулів сонячної електростанції. Конструкція даху виконана із залізобетонних плит перекриття з гідроізоляційним покриттям та захисною цементно-піщаною стяжкою.

У підвальному приміщенні корпусу розташовані інженерні комунікації

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та вузли теплопостачання. Система опалення будівлі централізована, теплоносієм є гаряча вода від міської теплової мережі. Магістральні трубопроводи проходять через технічні приміщення будівлі та частково потребують модернізації й додаткової теплоізоляції.

Система освітлення навчальних аудиторій і місць загального користування частково базується на люмінесцентних світильниках, хоча в окремих приміщеннях уже впроваджено сучасні LED-системи освітлення як показано на рис. 1.3. Подальша модернізація освітлювальної системи дозволить суттєво зменшити споживання електроенергії.

Проведення енергетичного аудиту навчального корпусу № 31 базується на вимогах національного стандарту , а також на принципах побудови систем енергетичного менеджменту відповідно до [2]. Базові підходи до аналізу енергоспоживання бюджетних установ та формування енергетичних балансів прийнято з урахуванням методичних рекомендацій, викладених у навчальному посібнику [3].

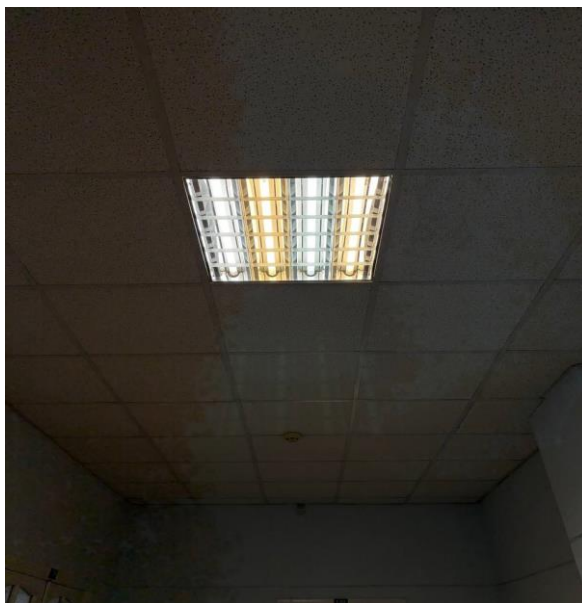


Рисунок 1.3 – Існуючий люмінесцентний (ліворуч) та модернізований світлодіодний (праворуч) растрові світильники в приміщеннях корпусу

1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі

Система теплопостачання та ГВП

Забезпечення тепловою енергією навчального корпусу №31

здійснюється за рахунок підключення до загальноуніверситетської

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

централізованої теплової мережі. Внутрішня система опалення будівлі виконана за стандартною схемою з трубним розведенням до чавунних або секційних радіаторів. Досвід експлуатації в холодні періоди року свідчить про наявність зон із недостатньою температурою внутрішнього повітря в окремих кабінетах та лабораторіях. Це вказує на незадовільну гідравлічну збалансованість системи опалення, заростання внутрішніх поверхонь трубопроводів відкладеннями та високі теплові втрати через стіни. Існуюча система теплопостачання гостро потребує впровадження комплексу енергоефективних заходів: очищення внутрішніх поверхонь нагріву, заміни мережевих насосів на сучасні аналоги з частотним регулюванням, впровадження автоматичного погодного регулювання на базі модернізованого індивідуального теплового пункту (ІТП) та балансування стояків

Система водопостачання

Система водопостачання корпусу №31 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» підключена до централізованих міських мереж водопостачання. Внутрішні трубопроводи будівлі виконані переважно зі сталевих та чавунних труб, частина яких експлуатується тривалий час і потребує модернізації або заміни.

Система забезпечує подачу холодної та гарячої води до санітарно-побутових приміщень, навчальних лабораторій і службових зон будівлі. Основні магістральні трубопроводи проходять через технічні приміщення та підвальні комунікаційні канали.

Зношеність окремих елементів системи може призводити до додаткових теплових втрат та збільшення витрат водних ресурсів, тому модернізація системи водопостачання є одним із напрямів підвищення енергоефективності будівлі.

Система вентиляції

Система вентиляції корпусу є переважно природною та функціонує без використання механічних пристроїв примусової циркуляції повітря.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітрообмін у приміщеннях здійснюється через вентиляційні канали та відкривання вікон.

Навчальні аудиторії, санітарно-побутові приміщення та службові кабінети обладнані окремими вентиляційними каналами. Значна кількість вентиляційних отворів забезпечує природне видалення повітря з будівлі, однак ефективність такої системи залежить від погодних умов та температурного режиму.

Через відсутність сучасної системи механічної вентиляції в окремих приміщеннях можливе недостатнє провітрювання та підвищені тепловтрати в холодний період року. У зв'язку з цим доцільним є впровадження сучасних енергоефективних вентиляційних рішень із рекуперацією тепла.

1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки

Електрична енергія

Річне споживання електроенергії для корпусу № 31 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Споживання електричної енергії протягом 2023-2025 років

Місяць		Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	22137	145,23	17416	110,34	16911,555	140,36
2	Лютий	14234	97,96	16989	107,63	19935,786	171,44
3	Березень	15729	104,09	16171	90,63	16293,518	144,51
4	Квітень	21845	131,64	19572	105,35	24535,269	200,87
5	Травень	17122	80,54	14490	78	9144,951	65,41
6	Червень	16169	77,95	14162	90,67	18136,333	130,3
7	Липень	15364	77,78	14378	92,05	15108,864	110
8	Серпень	16158	81,8	13044	83,51	13369,287	107,11

Продовження таблиці 1.1

9	Вересень	17885	90,54	13370	92,36	16123,962	134,22
10	Жовтень	16390	97,3	10333	71,38	16530,65	119,79
11	Листопад	18416	109,33	15700	151,53	17335	164,59
12	Грудень	19015	112,89	14322	122,67	15003	150,28
Σ		210464	1207,37	179947	1196,1	198248	1638,87

Графік річного споживання електроенергії у 2023-2025 рр. за місяцями представлено на рисунку 1.4.

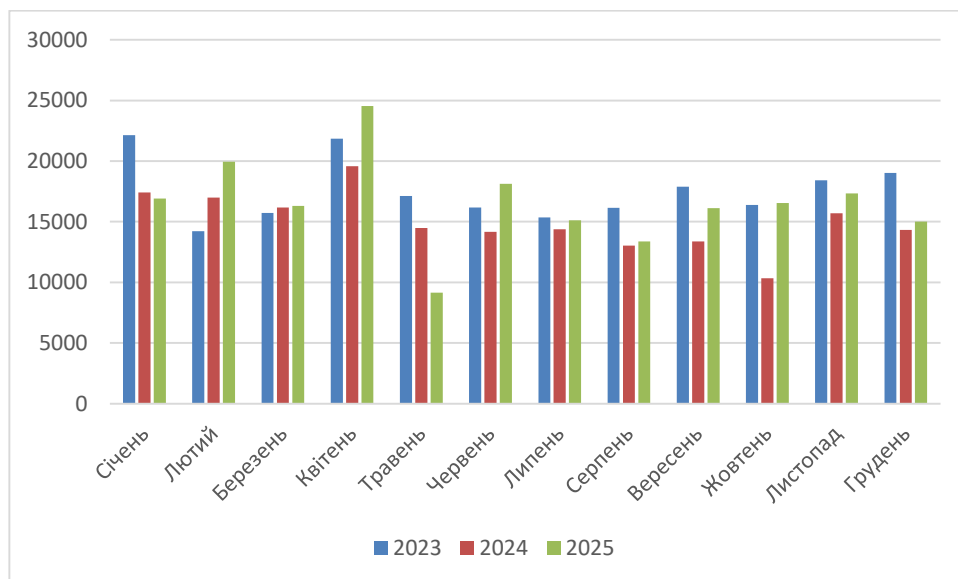


Рисунок 1.4 – Помісячне споживання електроенергії кВт·год за 2023 – 2025 років

Аналіз зібраних даних свідчить про наявність чітко вираженої сезонності у споживанні електроенергії. Максимальні піки енергоспоживання припадають на зимовий та ранній весняний періоди (листопад–січень, а також квітень), що пов'язано зі збільшенням тривалості роботи внутрішнього штучного освітлення через короткий світловий день та можливим використанням додаткових локальних електронагрівальних приладів у холодних приміщеннях. Знижені рівні споживання зафіксовані в літні місяці (травень, липень, серпень), оскільки в цей час у закладі триває канікулярний період та зменшується кількість аудиторних занять.

Протягом розглянутих років помітна загальна тенденція до значних коливань обсягів споживання, спричинених зовнішніми факторами. Відносно

низькі показники споживання на початку 2023 року зумовлені масовими та тривалими вимушеними обмеженнями в енергосистемі України, які обмежували повноцінну роботу корпусу. У 2024 році сумарне річне споживання зменшилося до 179 947 кВт·год, що свідчить про частковий перехід університету на змішані та дистанційні форми навчання та загальне зниження фактичної інтенсивності використання площ. У 2025 році споживання знову зросло до 198 248 кВт·год у зв'язку зі стабілізацією графіків та поверненням до очного формату занять. Особливу увагу привертає суттєве фінансове зростання витрат: у 2025 році сумарна вартість електроенергії досягла 1638,87 тис. грн, що пояснюється стрімким підвищенням тарифів. Це підтверджує доцільність впровадження власних відновлюваних джерел генерації для компенсації внутрішнього споживання.

Теплова енергія

Річне споживання теплової енергії та вартість в 2023 - 2025 рр. за місяцями представлено у таблиці 1.2. Графічне відображення цих даних наведено на рисунку 1.5.

Таблиця 1.2 - Споживання теплової енергії протягом 2023-2025 року

Місяць		Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання теп.ен., Гкал	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання теп.ен., Гкал	Вартість споживтеп. ен, тис.грн	Споживання теп.ен., Гкал
		2023		2024		2025	
1	Січень	148,58	60,64	304,23	84,07	215,2	57,34
2	Лютий	175,79	71,75	228,87	63,24	182,28	48,57
3	Березень	90,09	36,77	158,28	43,74	182,33	48,58
4	Квітень	0	0	0	0	0	0
5	Травень	0	0	0	0	0	0
6	Червень	0	0	0	0	0	0
7	Липень	0	0	0	0	0	0
8	Серпень	0	0	0	0	0	0
9	Вересень	0	0	0	0	0	0
10	Жовтень	0	0	0	0	0	0
11	Листопад	13,95	3,86	58,87	15,69	54,67	13,67
12	Грудень	234,26	64,73	237	63,15	85,84	21,46
Σ		662,67	237,75	987,25	269,89	720,33	189,62

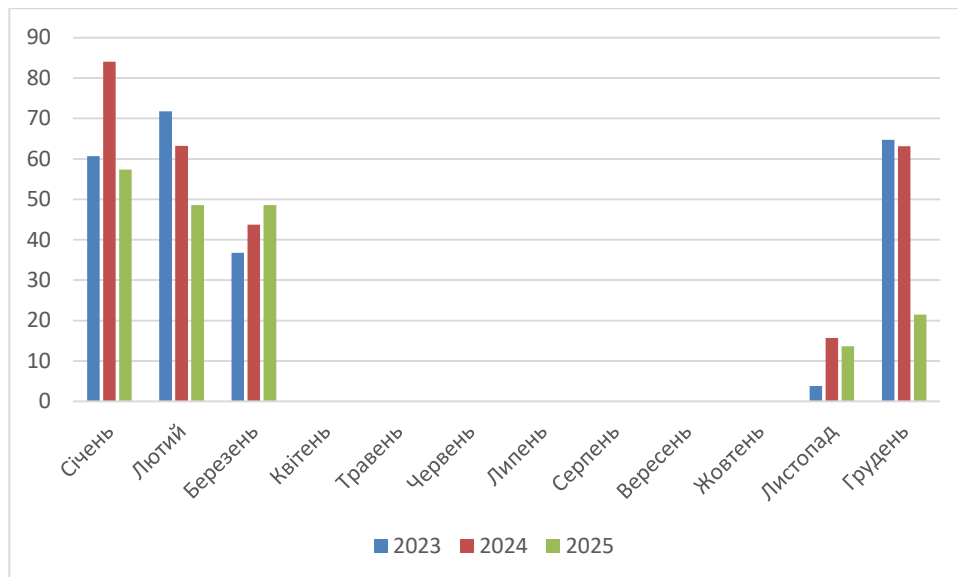


Рисунок 1.5 – Щомісячне споживання теплової енергії (2023-2025 рр.)

Дані таблиці наочно демонструють сезонність теплоспоживання, яке здійснюється виключно з листопада по березень, тоді як у міжопалювальний період тепла енергія не постачається. У 2024 році спостерігається суттєве збільшення споживання тепла до 269,89 Гкал (і відповідно зростання фінансових витрат до 987,25 тис. грн), що зумовлено більш низькими середньодобовими температурами зовнішнього повітря та затяжними морозами в зимові місяці.

У 2025 році зафіксовано сумарне падіння споживання до 189,62 Гкал. Проте динаміка 2025 року характеризується певною нестабільністю: аномально низькі показники споживання у грудні (всього 21,46 Гкал порівняно з понад 63 Гкал у попередні роки) свідчать не про підвищення енергоефективності конструкцій, а про вимушені перебої у централізованому тепlopостачанні, аварійні ситуації на тепломережах або зміну графіка навчального процесу й канікул.

Водоспоживання

В таблицю 1.3 занесемо дані по споживання холодної води, а на рис. 1.6 покажемо графічно.

Таблиця 1.3 - Споживання води протягом 2023-2025 року

Місяць	Споживання води, м ³	Вартість споживання води	Споживання води, м ³	Вартість споживання води	Споживання води, м ³	Вартість споживання води
	2023		2024		2025	
Січень	331	10 057,10	178	5 408,35	477	22 492,71
Лютий	332	10 087,49	233	7 079,47	239	11 945,22
Березень	259	7 869,46	295	8 963,28	378	18 892,44
Квітень	328	9 965,95	238	7 231,39	171	8 546,58
Травень	190	5 772,96	298	9 054,43	396	19 792,08
Червень	251	7 626,38	200	6 376,55	462	23 090,76
Липень	221	6 714,86	197	9 233,78	279	13 944,42
Серпень	195	5 924,88	195,75	9 175,19	215	10 745,70
Вересень	189	5 742,58	—	—	—	—
Жовтень	214	6 502,18	243,75	11 425,05	243,75	11 425,05
Листопад	241	7 322,54	223	10 452,46	—	10 452,46
Грудень	196	5 955,26	0	0	—	0
Σ	2947	89 541,65	2301,5	84 594,61	2860,75	151 382,42

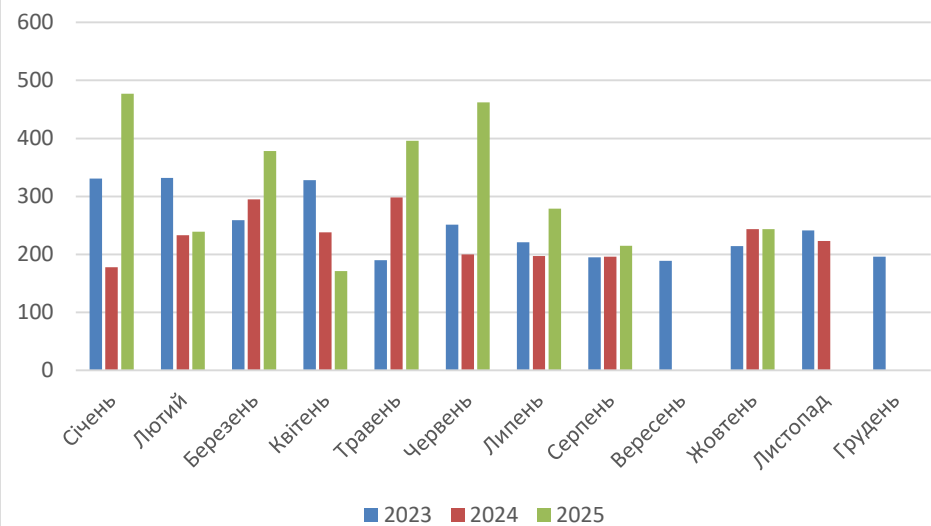


Рисунок 1.6 –Динаміка споживання води за 2023 – 2025 років

Аналіз динаміки водоспоживання навчального корпусу № 31 показує, що найбільші обсяги споживання холодної води зафіксовані у 2025 році.

Наявність нульових значень у деяких місяцях розрахункового періоду пояснюється відсутністю студентів та персоналу під час літніх канікул і

дистанційного навчання.

1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Нижче в таблиці 1.4 наведені дані по тарифам на електроенергію за 2023-2025 роки по місяцям у грн/кВт·год.

Таблиця 1.4 Тарифи на електроенергію за 2023-2025 роки (з ПДВ)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	6,57480	6,3353	8,29954
лютий	6,88248	6,3353	8,59967
березень	6,618	5,6045	8,86909
квітень	6,026064	5,3827	8,18719
травень	4,70364	5,3827	7,15206
червень	4,82088	6,4022	7,18457
липень	5,06260	6,4022	7,28057
серпень	5,06260	6,4022	8,01148
вересень	5,06260	6,9077	8,3241
жовтень	5,93664	6,9077	7,24626
листопад	5,93664	11,05	9,49488
грудень	5,93664	10,278	10,0166

Тарифи на теплову енергію та воду за 2023-2025 роки наведено в таблицях 1.5 та 1.6 відповідно.

Таблиця 1.5 Тарифи на теплову енергію за 2023-2025 роки (з ПДВ)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	2450	3618,8	3752,99
лютий	2450	3618,8	3752,99
березень	2450	3618,8	3752,99
квітень	2450	3618,8	3752,99
травень	2450	3618,8	3752,99
червень	2450	3618,8	3752,99
липень	2450	3618,8	3752,99

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 1.5

серпень	2450	3618,8	3752,99
вересень	2450	3618,8	3752,99
жовтень	3618,8	3618,8	3752,99
листопад	3618,8	3753	4000,09
грудень	3618,8	3753	4000,09

Таблиця 1.6 Тарифи на воду за 2023-2025 роки (з ПДВ)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	30,84	30,84	49,98
лютий	30,84	30,84	49,98
березень	30,84	30,84	49,98
квітень	30,84	30,84	49,98
травень	30,84	30,84	49,98
червень	30,84	30,84	49,98
липень	30,84	46,87	49,98
серпень	30,84	46,87	49,98
вересень	30,84	46,87	49,98
жовтень	30,84	46,87	49,98
листопад	30,84	46,87	49,98
грудень	30,84	46,87	49,98

Дані про споживання енергетичних ресурсів в коштах за наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Сплачені кошти за споживання протягом 2023-2025 року

№	Назва енергетичного ресурса	Сплачені кошти за споживання, тис. грн		
		2023	2024	2025
1	Електрична енергія	1207,37	1196,1	1638,87
2	Теплова енергія	662,67	987,25	720,33
3	Холодна вода	89,54	84,59	151,382
	Усього:	1959,58	2267,94	2510,582

1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності

В окремих приміщеннях впроваджено сучасні LED-системи освітлення.

Висновки до розділу 1

Проведене комплексне переддипломне обстеження та аналіз енергетичного балансу навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Будівля має незадовільні теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій, які не відповідають сучасним стандартам теплозахисту ДБН В.2.6-31:2021. Застарілі дерев'яні віконні блоки та численні «мітки холоду» у вигляді залізобетонних елементів каркаса призводять до високих теплових втрат та локальних порушень температурного режиму в зимовий період.
2. Внутрішні інженерні мережі опалення перебувають у зношеному стані, мають недостатню гідравлічну стійкість та потребують автоматизації вузла керування (ІТП) для реалізації погодного регулювання.
3. Електропостачання об'єкта повністю залежить від централізованої зовнішньої мережі університету. Нестабільність енергосистеми та часті вимушені обмеження електропостачання (як це спостерігалось у 2023 році) негативно впливають на стабільність освітнього та наукового процесу.

4. Стрімке зростання фінансових витрат на оплату активної електроенергії (понад 1,6 млн грн у 2025 році) створює значний економічний тиск на загальний бюджет навчального закладу.

З огляду на виявлені проблеми, ключовим завданням даного дипломного проєкту є розробка комплексу технічних рішень для підвищення рівня енергетичної автономності та енергоефективності навчального корпусу №31. Для вирішення цієї проблеми пропонується проєктування та впровадження надійної дахової мережевої фотоелектричної станції (сонячної електростанції On-Grid типу).

Використання сонячної генерації дозволить частково або повністю покривати базові потреби корпусу в електричній енергії безпосередньо з відновлюваного джерела, знизити навантаження на трансформаторну підстанцію університету, суттєво зменшити річні фінансові витрати та підвищити рівень автономності об'єкта. У наступних розділах проєкту буде виконано розрахунок сонячної інсоляції, вибір та техніко-економічне обґрунтування оптимального складу обладнання ФЕС (фотомодулів та інверторів), а також оцінку очікуваного екологічного та фінансового ефекту від впровадження системи.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання об'єкта та її аналіз

Електропостачання навчального корпусу №31 здійснюється від загальноуніверситетської трансформаторної підстанції (ТП), схему якої наведено на рис. 2.1. Зовнішнє підключення об'єкта реалізовано за радіальною магістральною схемою.

Живлення від трансформаторної підстанції до будівлі навчального корпусу виконується за допомогою двох взаєморезервуючих кабельних ліній напругою 0,4 кВ (наприклад, марок АВВГ або АВББШв відповідного перерізу), які прокладені підземним способом у траншеях.

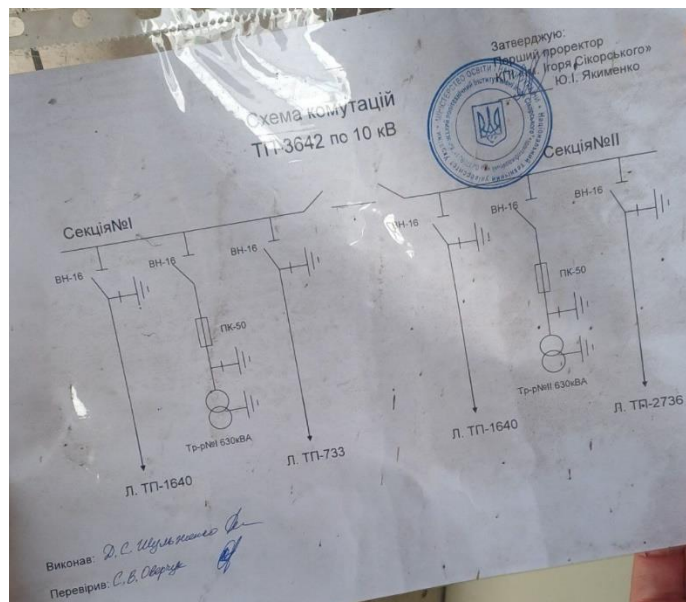


Рисунок 2.1 – Схема комутацій ТП-3642 по 10 кВ

Зазначені кабельні лінії заводяться безпосередньо до ввідного пристрою — головного розподільного щита (ГРЩ) будівлі (рис. 2.2). Від ГРЩ здійснюється подальший розподіл електричної енергії внутрішніми кабельними мережами корпусу до кінцевих споживачів (освітлювальних приладів, лабораторного обладнання, комп'ютерної техніки тощо).

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Саржицький Д.В.			АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ		
Перевір.		Веремійчук Ю.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						26	81
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21		

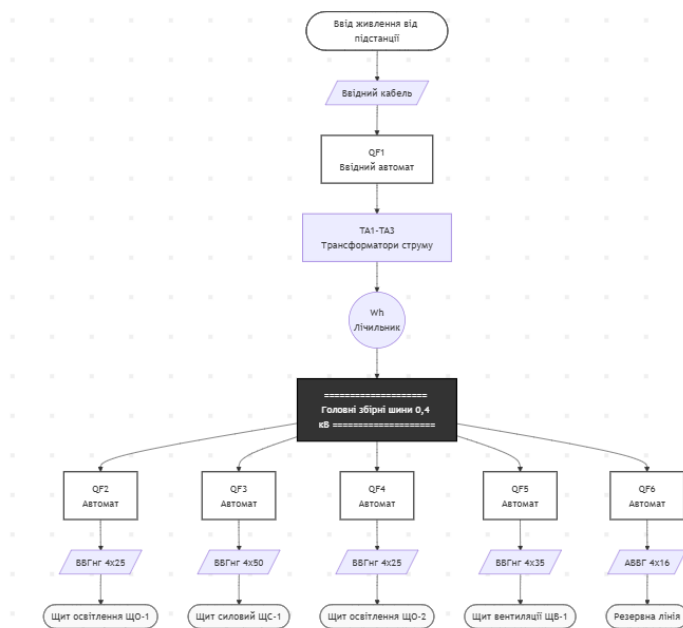


Рисунок 2.2 – Головний розподільний щит (ГРЩ) навчального корпусу №31

Відповідно до класифікації, регламентованої Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) та ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення», навчальний корпус закладу вищої освіти з масовим перебуванням здобувачів освіти та персоналу належить до **II категорії надійності електропостачання**.

Належність до цієї категорії вимагає забезпечення живлення об'єкта від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення. Перерва в електропостачанні електроприймачів II категорії допускається лише на час, необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади. Варто також зазначити, що окремі критичні вузли будівлі (наприклад, системи пожежної сигналізації, аварійного та евакуаційного освітлення, сервери) за своїми вимогами прирівнюються до I категорії надійності і вимагають безперебійного живлення. Це додатково підтверджує доцільність впровадження власних джерел генерації, зокрема фотоелектричної системи, для підвищення загального рівня енергетичної безпеки та автономності навчального корпусу.

2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії

Список обладнання, яке споживає електроенергію запишемо до таблиці

2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік обладнання, яке споживає електричну енергію

Назва обладнання	Кількість обладнання, шт.	Встановлена потужність 1 од., Вт	Загальна встановлена потужність, кВт	Орієнтовний час роботи, год/рік
Люмінесцентні лампи (T8/ЕІРА)	1200	36	43,20	2000
Світлодіодні лампи (LED)	500	12	6,00	2000
Персональні комп'ютери (з монітором)	150	250	37,50	1500
Ноутбуки персоналу та викладачів	50	65	3,25	1500
Мультимедійні проектори	20	250	5,00	800
БФП та принтери (оргтехніка)	25	400	10,00	400
Лабораторне та вимірювальне обладнання	30	1000	30,00	500
Кондиціонери (спліт-системи)	15	1500	22,50	600
Побутові прилади (чайники, СВЧ)	20	1500	30	250
Насосне та вентиляційне обладнання	10	2500	25	3000
Серверне та мережеве обладнання	5	800	4	8760
Загалом	2125	-	223,95	-

2.3 Повірючий розрахунок навантажень будівлі

Відповідно до чинних нормативних документів (ДБН В.2.5-23:2010), розрахунок виконується за методом коефіцієнта попиту для окремих груп споживачів (освітлення, комп'ютерна техніка, силові та сантехнічні установки) з подальшим урахуванням коефіцієнта одночасності їхньої роботи.

Розрахункове активне навантаження корпусу ($P_{\text{буд}}$) визначається за формулою:

$$P_{\text{буд}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{р.гр.і}} = K_0 \cdot (P_{\text{осв.р}} + P_{\text{комп.р}} + P_{\text{сил.р}} + P_{\text{кл.р}}), \quad (2.1)$$

де K_0 — коефіцієнт одночасності для навчальних закладів (приймається $K_0 = 0,85$); $P_{\text{осв.р}}$, $P_{\text{комп.р}}$, $P_{\text{сил.р}}$, $P_{\text{кл.р}}$ — розрахункові активні навантаження відповідних груп споживачів, які обчислюються через їхню встановлену потужність та індивідуальні коефіцієнти попиту ($P_{\text{р.гр}} = P_{\text{вст}} \cdot K_{\text{п}}$).

Відповідно до структури обладнання навчального корпусу №31 (з підрозділу 2.2), визначимо розрахункові навантаження за групами:

Штучне освітлення: $P_{\text{осв.вст}} = 56,70$ кВт; $K_{\text{п.осв}} = 0,90$.

$$P_{\text{осв.р}} = 56,70 \cdot 0,90 = 51,03 \text{ кВт.}$$

Комп'ютерна та оргтехніка: $P_{\text{комп.вст}} = 55,75$ кВт; $K_{\text{п.комп}} = 0,60$.

$$P_{\text{комп.р}} = 55,75 \cdot 0,60 = 33,45 \text{ кВт.}$$

Силові та інженерне обладнання: $P_{\text{сил.вст}} = 59,00$ кВт; $K_{\text{п.сил}} = 0,50$.

$$P_{\text{сил.р}} = 59,00 \cdot 0,50 = 29,50 \text{ кВт.}$$

Кліматичні та побутові прилади: $P_{\text{кл.вст}} = 52,50$ кВт; $K_{\text{п.кл}} = 0,40$.

$$P_{\text{кл.р}} = 52,50 \cdot 0,40 = 21,00 \text{ кВт.}$$

Підставивши значення у формулу (2.1), отримаємо сумарне активне навантаження корпусу:

$$P_{\text{буд}} = 0,85 \cdot (51,03 + 33,45 + 29,50 + 21,00) = 0,85 \cdot 134,98 = 114,73 \text{ кВт.}$$

Реактивне навантаження корпусу ($Q_{\text{буд}}$) розраховується на основі коефіцієнтів реактивної потужності ($\text{tg}\varphi$) для кожної групи споживачів за формулою:

$$Q_{\text{буд}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{р.гр.і}} \cdot \text{tg}\varphi_i), \quad (2.2)$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де значення $\operatorname{tg}\varphi$ становлять: для освітлення (з ЕПРА та LED) — 0,43 ($\cos\varphi = 0,92$); для комп'ютерної техніки — 0,62 ($\cos\varphi = 0,85$); для силового обладнання — 0,75 ($\cos\varphi = 0,80$); для кліматичного обладнання — 0,62 ($\cos\varphi = 0,85$).

Тоді за формулою (2.2) маємо:

$$Q_{\text{буд}} = 0,85 \cdot (51,03 \cdot 0,43 + 33,45 \cdot 0,62 + 29,50 \cdot 0,75 + 21,00 \cdot 0,62) = 0,85 \cdot (21,94 + 20,74 + 22,13 + 13,02) = 0,85 \cdot 77,83 = 66,16 \text{ квар.}$$

Повне розрахункове навантаження на ввіді в будівлю, яке визначає необхідну потужність трансформатора або параметри підключення до мережі, визначається за формулою:

$$S_{\text{буд}} = \sqrt{114,73^2 + 66,16^2} = \sqrt{13162,97 + 4377,15} = \sqrt{17450,12} = 132,44 \text{ кВА}$$

Отримане значення повного навантаження 132,44 кВА є базовим показником для подальшого проектування гібридної сонячної електростанції, вибору потужності інверторного обладнання та визначення ємності системи акумулювання енергії для забезпечення надійного електропостачання корпусу №31.

2.4 Повірочний розрахунок штучного освітлення приміщення

Повірочний світлотехнічний розрахунок рівня освітленості проводиться з метою перевірки відповідності існуючої системи чинним нормам на основі посібника [4]. Незважаючи на невелику кількість встановленого обладнання (два світильника), цей розрахунок є обов'язковим етапом для визначення базового стану приміщення. Він дозволяє математично довести наявність дефіциту освітленості та технічно обґрунтувати необхідність не простої заміни ламп, а повної модернізації системи освітлення із встановленням сучасних енергоефективних LED-світильників.

Повірочний розрахунок штучного освітлення приміщень та оцінка доцільності заміни застарілих люмінесцентних ламп на сучасні світлодіодні панелі виконані з використанням методик, наведених у практикумі [10].

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перевірки дотримання санітарних норм з освітленості в одному з типових приміщень навчального корпусу № 31 виконаємо повірочний розрахунок методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Відповідно до чинних державних будівельних норм (ДБН В.2.5-28:2018), мінімальна нормована освітленість для такого типу приміщення становить $E_n = 200$ лк.

Вихідні дані приміщення:

Довжина (a): 6 м;

Ширина (b): 4,5 м;

Площа (S): 27 м²;

Розрахункова висота підвісу світильників (h): 2,8 м;

Коефіцієнти відбиття (стеля/стіни/підлога): 70 % / 50 % / 10 %.

Існуюча система освітлення:

У приміщенні встановлено $N = 2$ растрові світильники (типу 4x18 Вт) з люмінесцентними лампами. Сумарний світловий потік одного такого світильника становить $F_{\text{л}} = 4320$ лм.

Індекс приміщення i , який враховує його геометрію, визначається за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (2.3)$$

Підставимо вихідні значення у розрахунок:

$$i = \frac{6 \cdot 4,5}{2,8 \cdot (6 + 4,5)} = 0,92$$

За отриманим індексом приміщення ($i = 0,92$) та заданими коефіцієнтами відбиття, згідно з довідковими таблицями, знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,41$.

Фактична освітленість приміщення $E_{\text{ф}}$ розраховується за виразом:

$$E_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{л}} \cdot N \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot Z}, \quad (2.4)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу (для приміщень з нормальним середовищем $k_3 = 1,3$);

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (для люмінесцентних ламп $Z = 1,1$).

Підставляємо всі необхідні значення:

$$E_{\phi} = \frac{4320 \cdot 2 \cdot 0,41}{27 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = \frac{3542,4}{38,61} = 91,7 \text{ лк}$$

Висновок: За результатами повіреного розрахунку встановлено, що система штучного освітлення в досліджуваних приміщеннях навчального корпусу № 31 повністю забезпечує нормативний рівень освітленості на робочих поверхнях згідно з ДБН В.2.5-28:2018. Більшість застарілих люмінесцентних світильників уже було замінено на сучасні світлодіодні (LED) панелі силами експлуатаційної служби університету в рамках поточного ремонту корпусу (Рисунок 1.3). Оскільки потенціал економії електроенергії на освітленні вже майже повністю вичерпано, розробка окремого капітального заходу з модернізації системи освітлення у даному дипломному проєкті не передбачається. Основний акцент енергозберігаючих заходів буде зосереджено на теплотехнічній модернізації будівлі та впровадженні автономного джерела живлення.

2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі

Для розробки дієвих заходів із підвищення енергоефективності та комплексного аналізу енергетичних потоків навчального корпусу № 31 необхідно скласти баланс споживання електричної енергії за звітний 2025 рік. Розрахунок річного електроспоживання для кожної технологічної групи обладнання в аналітичній формі виконується за виразом:

$$W_{\text{рік}} = P_{\text{в}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{в}}$ — сумарна встановлена потужність певної групи електрообладнання, кВт;

$k_{\text{в}}$ — коефіцієнт використання потужності;

t — тривалість роботи обладнання протягом року, год.

Вихідні дані щодо встановленої потужності електроприймачів навчального корпусу, режимів їхньої роботи та результати розрахунку річного

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживання для 2025 року зведені в таблиці 2.2. Загальна сума споживання відповідає фактичним даним фінансового обліку енергоресурсів і становить 196 270 кВт·год.

Таблиця 2.2 – Інформація для складання балансу споживання електричної енергії корпусу № 31 за 2025 рік

Група обладнання	Назва споживача	Сумарна потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Час роботи, год/рік	Річне споживання, кВт·год
Система освітлення	Люмінесцентні світильники (аудиторії)	40	0,75	2000	60 000
	Світильники в коридорах та МЗК	6	0,8	2500	12 000
Навчальне та офісне обладнання	Комп'ютери та робочі станції	48	0,5	2000	48 000
	Серверне та мережеве обладнання	3,5	0,8	8760	24 528
	Оргтехніка (принтери, мультимедіа)	7	0,2	1500	2 100
Силове та інженерне обладнання	Насоси індивідуального теплового пункту	6	0,6	4000	14 400
	Локальні системи кондиціювання (спліт-системи серверних та адміністративних приміщень)	24	0,3	1500	10 800
	Комутаційне обладнання корпусу	12	0,4	2500	12 000
Додаткове обладнання	Лабораторні стенди та установки	22	0,2	1000	4 400
	Допоміжне електрообладнання адміністративно-побутових приміщень (кулери, холодильники, мікрохвильові печі)	15	0,3	1000	4 500
	Інше допоміжне обладнання	17,71	0,2	1000	3 542
УСЬОГО:		201,21	—	—	196 270

На основі отриманих аналітичних даних проведено структурування потоків електроспоживання за чотирма основними категоріями, що є характерними для цього навчального корпусу у 2025 році:

1. **Навчальне та офісне обладнання:** 74 628 кВт·год (38,02 % від загального обсягу);
2. **Система внутрішнього освітлення:** 72 000 кВт·год (36,68 % від загального обсягу);
3. **Силові та інженерне обладнання:** 37 200 кВт·год (18,95 % від загального обсягу);
4. **Додаткове та лабораторне обладнання:** 12 442 кВт·год (6,35 % від загального обсягу).

Розрахункові дані про споживання електричної енергії об'єктом доцільно представити у вигляді діаграми Санкея на рисунку 2.3. Ця потокова діаграма є графічним інструментом, який наочно демонструє розподіл та трансформацію потоків активної електричної енергії від точки вводу (головного розподільчого щита) до безпосередніх груп споживачів навчального корпусу, що дозволяє чітко локалізувати найбільш енергоємні зони.

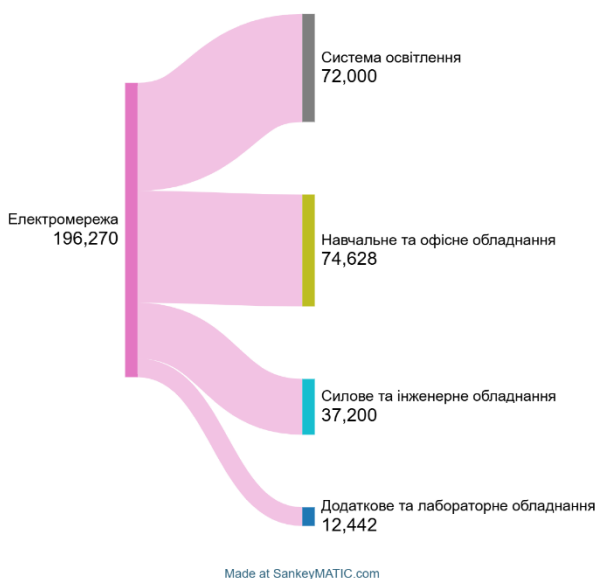


Рисунок 2.3 – Діаграма Санкея розподілу часток споживання електричної енергії об'єктом за 2025 рік

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об'єкті

Облік споживання електричної енергії в навчальному корпусі № 31 здійснюється на рівні загального вводу будівлі. Комерційний облік спожитої електроенергії забезпечується за допомогою головного засобу вимірювальної техніки. Окремий технічний (внутрішній) облік для кожної аудиторії чи кафедри не передбачений, що є типовим для більшості навчальних закладів, проте це дещо ускладнює детальний моніторинг локальних енерговитрат.

Для обліку загального споживання електроенергії об'єктом у приміщенні головного розподільного щита (ГРЩ), яке розташоване в підвальному технічному приміщенні корпусу, встановлено електронний трифазний лічильник електричної енергії.

Оцінка ефективності існуючої системи обліку:

Поточний стан: Наявний вузол комерційного обліку є справним, повіреним та повністю відповідає базовим вимогам оператора системи розподілу. Він забезпечує точну фіксацію загального обсягу споживання для здійснення фінансових розрахунків за тарифами.

Виявлені недоліки: На об'єкті наразі відсутня комплексна автоматизована система диспетчерського контролю та управління енергоспоживанням (наприклад, АСКОЕ або сучасні системи Smart Metering). Зняття показників здебільшого відбувається в традиційному (ручному) режимі, що унеможливорює аналіз графіків навантаження в режимі реального часу.

Висновок: Існуюча система обліку є достатньою для розрахунків з постачальником, проте її ефективність з точки зору оперативного енергомоніторингу, глибокої аналітики та оперативного виявлення нераціональних витрат енергії залишається низькою. Для підвищення рівня енергоменеджменту корпусу рекомендується в майбутньому впровадити систему дистанційного моніторингу споживання.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для споживачів електричної енергії

Заміна люмінесцентних ламп на енергоефективні світлодіодні джерела світла з інтеграцією датчиків руху

У навчальному корпусі № 31 для освітлення коридорів, сходових кліток та інших місць загального користування (МЗК) наразі частково використовуються застарілі джерела світла: люмінесцентні лампи потужністю 18 Вт (43 шт.). Модернізація цієї системи дозволить суттєво покращити якість освітлення згідно зі санітарними нормами та мінімізувати втрати електричної енергії.

Для заміни застарілих люмінесцентних лінійних ламп обираємо світлодіодні трубчасті лампи (LED T8) з такими характеристиками:

Встановлена потужність: 11 Вт;

Світловий потік: 720 Лм;

Тип цоколя/патрона: G13.

Річне споживання електричної енергії системою освітлення МЗК до впровадження заходу визначається за формулою:

$$W_{\text{рік}} = P_{\text{в}} \cdot n \cdot k_{\text{в}} \cdot T, \quad (2.6)$$

де P — потужність однієї лампи, кВт;

n — загальна кількість ламп певного типу, шт.;

$k_{\text{в}}$ — коефіцієнт використання (для МЗК навчального корпусу приймаємо $k_{\text{в}} = 0,8$);

T — тривалість роботи системи освітлення протягом року згідно з балансом (для коридорів приймаємо $T = 2500$ год/рік).

Визначаємо базове річне споживання для ламп:

$$W_{\text{роз}} = 0,075 \cdot 52 \cdot 0,8 \cdot 2500 = 7800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Визначаємо базове річне споживання для люмінесцентних ламп:

$$W_{\text{люм}} = 0,018 \cdot 43 \cdot 0,8 \cdot 2500 = 1548 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Загальне базове споживання системи освітлення МЗК становить:

$$W_{\text{база}} = 7800 + 1548 = 9348 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після заміни всіх наявних джерел світла на енергоефективні LED-лампи потужністю 11 Вт (0,011 кВт), загальна встановлена потужність знизиться, а для додаткового заощадження в коридорах передбачено встановлення 18 датчиків руху. Завдяки автоматизації (ввімкнення світла лише за наявності людей), коефіцієнт використання часу роботи освітлення знижується до $k_{в.новий} = 0,25$.

Нове річне споживання модернізованої системи освітлення становитиме:

$$W_{новий} = 0,011 \cdot (52+43) \cdot 0,8 \cdot 2500 = 653,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річна економія електричної енергії (ΔE) в результаті комплексного заходу становить:

$$\Delta E = W_{база} - W_{новий} = 9348 - 653,1 = 8694,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Економічний ефект у грошовому еквіваленті розраховується з урахуванням діючого для навчального закладу тарифу на електроенергію у 2025 році (приймаємо $C_{тариф} = 8,35 \text{ грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$):

$$\Delta C = \Delta E \cdot C_{тариф} = 8694,9 \cdot 8,35 = 72599,4 \text{ грн} / \text{рік}$$

Капітальні витрати (K) на реалізацію енергоефективного заходу включають вартість нових LED-ламп, датчиків руху та проведення монтажних робіт:

$$K = (n_{ламп} \cdot C_{ламп}) + (N_{датч} \cdot C_{датчика}) + M_{монтаж} \quad (2.7)$$

Приймаємо середню ціну LED-лампи — 120 грн, LED-трубки — 150 грн, датчика руху — 250 грн, вартість монтажу — 6500 грн:

$$K = (52 \cdot 120) + (43 \cdot 150) + (18 \cdot 250) + 6500 = 6240 + 6450 + 4500 + 6500 = 23690 \text{ грн}$$

Визначаємо простий термін окупності ($T_{ок}$) впроваджуваного заходу:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta C} = \frac{23690}{72599,4} = 0,33 \text{ року (близько 4 місяців)}$$

Висновки до розділу 2

- У цьому розділі виконано детальний аналіз схеми та структури електропостачання навчального корпусу № 31. Проведено класифікацію

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприймачів об'єкта за технологічними групами та визначено частку кожної групи у загальному балансі енергоспоживання за звітний 2025 рік.

2. На основі розрахункових даних в аналітичній формі сформовано річний баланс електроспоживання корпусу, загальний обсяг якого склав 196 270 кВт·год. Для наочної візуалізації розподілу потоків активної потужності побудовано потокову діаграму Санкея, яка чітко локалізувала найбільш енергоємні сектори об'єкта — навчально-офісне обладнання (38,02 %) та систему внутрішнього освітлення (36,68 %).
3. Проведено аудит стану та оцінку ефективності існуючих засобів обліку та моніторингу електроенергії. Встановлено, що наявний трифазний лічильник у приміщенні ГРЩ забезпечує базовий комерційний облік, проте відсутність систем автоматизованого контролю (типу АСКОЕ/Smart Metering) обмежує можливості оперативного енергоменеджменту.
4. Запропоновано та техніко-економічно обґрунтовано високоефективний типовий захід з енергозбереження: модернізація системи освітлення місць загального користування із заміною люмінесцентних ламп на світлодіодні джерела світла сумарною кількістю 95 шт. та встановленням 18 датчиків руху. Впровадження заходу дозволить знизити річне споживання ділянки на 8694,9 кВт·год, забезпечивши економічний ефект у розмірі 72 599,4 грн/рік при капіталовкладеннях 23 690 грн, що гарантує високу швидкість повернення інвестицій — простий термін окупності становить всього 4 місяці.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях

Вимоги до енергоефективності громадських будівель (до яких належать заклади вищої освіти) встановлюються на основі комплексу чинних нормативних документів.

Закон України «Про енергетичну ефективність» є основним базовим законодавчим актом, який встановлює послідовну систему забезпечення, стимулювання та контролю енергоефективності в усій країні. У ньому підкреслюється важливість проведення регулярного енергетичного аудиту, видачі сертифікатів енергетичної ефективності будівель, надання фінансової підтримки для термомодернізації та встановлення зобов'язань для постачальників енергії. Дотримуючись умов та положень цього закону, Україна прагне зменшити споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищити ефективність їх використання та сприяти сталому розвитку енергетичного сектору.

Відповідно до статті 6 Закону, економічно обґрунтований мінімальний рівень енергоефективності будівель визначається за методикою, розробленою з урахуванням вимог відповідних директив та законодавчих актів Європейського Союзу.

Під час проектування нових об'єктів, а також при реконструкції окремих частин існуючої будівлі (з метою її теплової модернізації чи масштабного капітального ремонту елементів огорожувальних або інженерних систем) встановлюються жорсткі мінімальні вимоги до показників теплоізоляції. Ці вимоги є обов'язковими у спектрі проектних рішень для виконання таких робіт.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Саржицький Д.В.			ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО	Літ.	Арк.
Перевір.		Шовкалюк М.М.					39
Реценз.							81
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21	
Затверд.							

Мінімально допустимі значення приведенного опору теплопередачі для різних елементів оболонки громадської будівлі регламентуються ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» і наведені в таблиці 3.1[1].

Таблиця 3.1 – Мінімально допустимі значення приведенного опору теплопередачі (R_{qmin}) огорожувальних конструкцій громадської будівлі

№ з/п	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , $m^2 \cdot K / Wt$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Навчальний корпус розташований у м. Київ, що, відповідно до ДБН В.2.6-31:2021, належить до I температурної зони[1]. Враховуючи геометричні розміри об'єкта та склад його огорожувальних конструкцій, розрахуємо теплові втрати будівлі, використовуючи нормативно-довідкові матеріали.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Непрозорі огорожувальні конструкції

Загальна площа зовнішніх стін навчального корпусу становить $F_{qmin} = 3929 \text{ м}^2$. Конструкція зовнішніх стін складається з таких шарів:

штукатурка цементно-піщана: товщина $\delta=0,01 \text{ м}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

штукатурка вапняно-піщана: товщина $\delta =0,01 \text{ м}$, $\lambda =0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

силікатна цегла: товщина $\delta =0,63 \text{ м}$, $\lambda =0,87 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

керамічна плитка (фасадна): товщина $\delta =0,01 \text{ м}$, $\lambda =1,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Термічний опір зовнішньої стіни розраховується за формулою:

$$R_c = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (3.1)$$

де λ_i — коефіцієнт теплопровідності відповідного шару матеріалу;

δ_i — товщина відповідного шару матеріалу;

h_{si} — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни, приймаємо $8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$;

h_{se} — коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни, приймаємо $23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Підставимо значення у формулу (3.1):

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{0,63}{0,87} + \frac{0,01}{1,1} + \frac{1}{23} = 0,91 \text{ м}^2\cdot\text{К /Вт}$$

Коефіцієнт теплопередачі стіни (k_c) визначається як обернена величина до термічного опору:

$$k_c = \frac{1}{R_c} \quad (3.2)$$

$$k_c = \frac{1}{0,91} = 1,1 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Оскільки м. Київ знаходиться в першій температурній зоні, мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін громадських будівель становить $R_{qmin} = 4,0 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ [6]. Результати розрахунку свідчать, що теплова ізоляція зовнішніх стін корпусу перебуває в незадовільному стані та потребує термомодернізації.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлопрозорі огорожувальні конструкції

У будівлі корпусу експлуатуються два типи вікон: старі дерев'яні (загальна площа $F = 743,4 \text{ м}^2$) та частково замінені металопластикові (площа $F = 102 \text{ м}^2$).

Термічний опір для дерев'яних вікон становить $R_{\text{дв}} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Коефіцієнт теплопередачі розраховуємо за формулою (3.2):

$$k_{\text{дв}} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Термічний опір для металопластикових вікон становить $R_{\text{мпв}} = 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Коефіцієнт теплопередачі:

$$k_{\text{мпв}} = \frac{1}{0,52} = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Найменший допустимий опір теплопередачі вікон для I температурної зони становить $R_{\text{qmin}} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Отже, теплозахисні властивості обох типів віконних конструкцій не відповідають сучасним вимогам.

Дверні конструкції

У будівлі встановлено зовнішні двері трьох типів: металеві, металопластикові та дерев'яні.

Металеві двері: $R_{\text{мд}} = 0,29 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $k_{\text{мд}} = \frac{1}{0,29} = 3,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Пластикові двері: $R_{\text{пд}} = 0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $k_{\text{пд}} = \frac{1}{0,65} = 1,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Дерев'яні двері: $R_{\text{дд}} = 0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $k_{\text{дд}} = \frac{1}{0,18} = 5,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Горищне перекриття

Конструкція перекриття верхнього поверху складається з:

залізобетонна плита: $\delta=0,22 \text{ м}$, $\lambda=2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

руберойд: $\delta=0,05 \text{ м}$, $\lambda=0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

керамзит: $\delta=0,2 \text{ м}$, $\lambda=0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Підставивши значення у формулу (3.1), отримуємо термічний опір горищного перекриття:

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,05}{0,17} + \frac{0,2}{0,1} + \frac{1}{6} = 2,67 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі горищного перекриття:

$$k_r = \frac{1}{2,67} = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Нормативне значення мінімального термічного опору для горищного перекриття становить $R_{q\min} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Фактичне значення не відповідає нормам.

Перекриття над неопалюваним підвалом

Підлога першого поверху (над підвалом) складається з:

залізобетонна плита: $\delta = 0,35 \text{ м}$, $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

розчин цементно-піщаний: $\delta = 0,005 \text{ м}$, $\lambda = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Термічний опір перекриття:

$$R_{\pi} = \frac{1}{5,9} + \frac{0,35}{2,04} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{6} = 0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k_{\pi} = \frac{1}{0,51} = 1,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Нормативне значення для підлоги над неопалюваним підвалом становить $R_{q\min} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Дана конструкція також потребує додаткового утеплення.

Визначення втрат теплоти через огорожувальні конструкції

Трансмісійні тепловтрати через зовнішні огороження визначаються за формулою:

$$Q_{\text{пд}} = \frac{A_{\text{пд}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{R_{\Sigma}} \cdot \tau \cdot b_u \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

де $Q_{\text{пд}}$ — річні втрати теплової енергії через перекриття над підвалом, кВт·год;

$A_{\text{пд}}$ — загальна площа перекриття підвалу, що підлягає модернізації (приймається рівною **1150 м²** згідно з архітектурно-планувальними даними корпусу);

$t_{\text{вн}}$ — розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщеннях корпусу, °С;

$t_{\text{зовн}}$ — середня температура зовнішнього повітря за опалювальний

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

період (або розрахункова температура), °C;

R_{Σ} — загальний опір теплопередачі перекриття над підвалом, $m^2 \cdot K / Wt$;

τ — тривалість роботи опалення (або опалювального періоду), год;

b_u — коефіцієнт, що враховує наявність суміжного неопалювального простору (приймається згідно з ДСТУ 9191 залежно від умов вентиляції та заглиблення підвалу);

10^{-3} — коефіцієнт переведення Вт у кВт.

Зведені результати розрахунків трансмісійних втрат теплоти наведено в таблиці 3.2[5].

Таблиця 3.2 – Зведені розрахункові втрати теплоти через огорожувальні конструкції будівлі

Елемент огороження	Загальна площа F, m^2	Опір теплопередачі $R, m^2 \cdot K / Wt$	Температурний напір $\Delta t, ^\circ C$	Сумарні тепловтрати Q_o, Wt
Зовнішні стіни (сумарно)	3929	0,91	42	~ 191 111,2
Світлопрозорі конструкції	845,4	0,4...0,52	42	~ 85 453,7
Зовнішні двері	25,6	0,18...0,65	42	~ 4 110,5
Горищне перекриття	1150	2,67	42	~ 18 089,8
Перекриття над підвалом	1150	0,51	42	~ 62 410,4
РАЗОМ трансмісійні втрати (Q_o):				361175,6

Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря

Витрати теплоти на потреби природної інфільтрації повітря для існуючих громадських будівель розраховуються за виразом:

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot n_{\text{об}} \cdot V \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}), \quad (3.4)$$

Де, $n_{об}$ — кратність повітрообміну, приймаємо $n_{об} = 0,7 \text{ год}^{-1}$;
 V — кондиційований (опалюваний) об'єм приміщень будівлі,
 становить $25\,877 \text{ м}^3$.

Підставимо значення:

$$Q_{інф} = 0,337 \cdot 0,7 \cdot 25877 \cdot (20 - (-22)) = 256\,384 \text{ Вт}$$

Сумарне теплове навантаження будівлі

Сумарні теплові втрати будівлі визначаються як сума трансмісійних та інфільтраційних втрат:

$$Q_{\Sigma} = Q_o + Q_{інф} \quad (3.4)$$

$$Q_{\Sigma} = 361\,175,6 + 256\,384,0 = 617\,559,6 \text{ Вт} = 617,6 \text{ кВт}$$

На рисунку 3.1 наведено відсотковий розподіл теплових втрат через огорожувальні конструкції та на потреби вентиляції (інфільтрації).

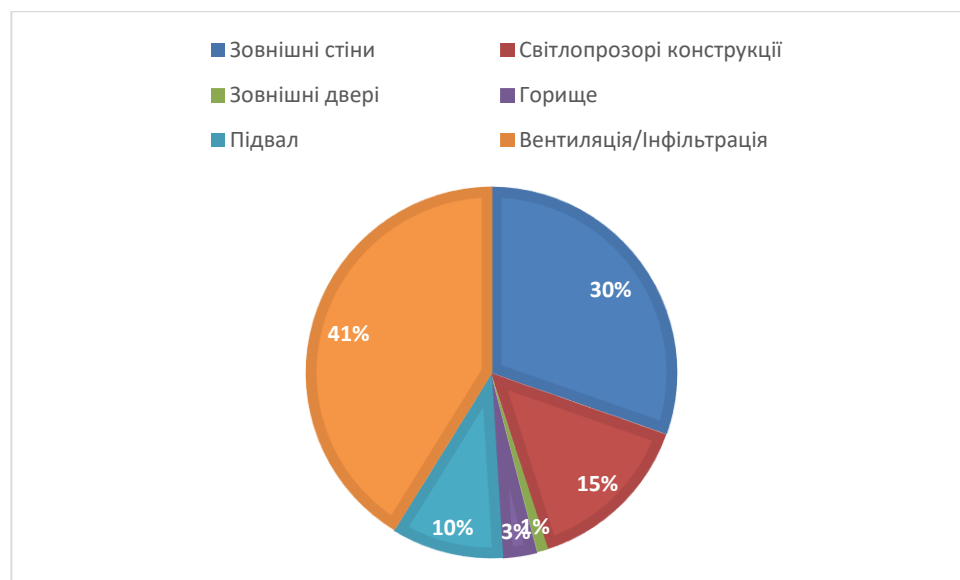


Рисунок 3.1 – Структура теплових втрат через зовнішні огороження та інфільтрацію

Висновок: За даними технічної документації, договірне навантаження на систему опалення навчального корпусу № 31 становить $0,55 \text{ Гкал/год}$, що еквівалентно $0,640 \text{ МВт}$ (640 кВт). Розрахункові сумарні втрати будівлі склали $617,6 \text{ кВт}$, що має відхилення від проектного значення лише близько $3,5 \%$. Отже, проведений аналітичний розрахунок є достовірним та може використовуватися для подальшого обґрунтування енергозберігаючих

заходів.

3.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій

3.3.1 Термомодернізація зовнішніх стін

Аналіз структури теплових втрат навчального корпусу (див. рис. 3.1) свідчить, що значна частина теплової енергії втрачається через незадовільний стан теплоізоляції зовнішніх стін. Для мінімізації цих втрат протягом опалювального періоду необхідно передбачити захід із суцільного утеплення фасадів.

Як теплоізоляційний матеріал обрано гідрофобізовані плити на основі базальтового волокна (мінеральна вата) густиною 100 кг/м³. Мінераловатні плити мають високі теплоізоляційні та звукоізоляційні характеристики, є повністю негорючими (клас НГ), довговічними та екологічно безпечними, що вкрай важливо для громадських закладів освіти. Приклад конструктивного рішення штукатурного утеплення фасаду наведено на рисунку 3.2.

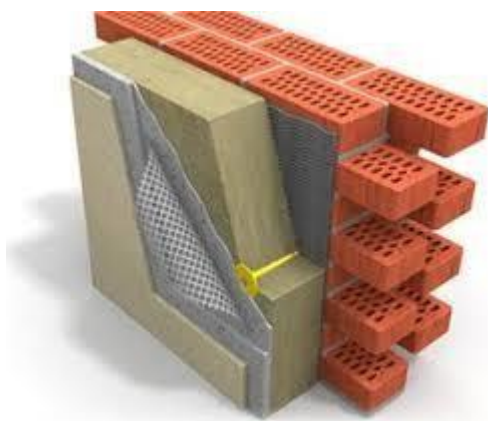


Рисунок 3.2 – Технологічна схема утеплення фасаду будівлі

Загальна площа зовнішніх стін корпусу, що потребує теплоізоляції, становить $F_{\text{ст}} = 3929,2 \text{ м}^2$. Площа стін: 3929 м²; Вартість 1 м² = 3000 грн.

Річна економія теплової енергії за рахунок зменшення трансмісійних втрат стінами становить:

$$\Delta Q_{\text{рік ут.ЗС}} = 257,5 \text{ Гкал/рік.}$$

Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності термомодернізації стін:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Капітальні витрати на реалізацію заходу з утеплення стін мінеральною ватою (товщиною 15 см) з урахуванням вартості матеріалів та монтажу (3000 грн/м²) становлять:

$$K_{\text{стін}} = 3929 \cdot 3000 = 11787000 \text{ грн.}$$

Річна грошова економія при діючому тарифі (4068,41 грн/Гкал):

$$\Delta E_{\text{стін}} = 257,5 \cdot 4068,41 = 1047615 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{11787000}{1047615} = 11,3 \text{ років.}$$

3.3.2 Утеплення перекриття над неопалювальним підвалом

Оскільки фактичний опір теплопередачі підлоги першого поверху корпусу ($R_{\text{п}} = 0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) суттєво нижчий за нормативний мінімум ($R_{\text{qmin}} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), доцільно реалізувати захід з теплоізоляції перекриття над підвальними приміщеннями (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Схема утеплення перекриття над підвалом

Загальна площа перекриття підвалу, що підлягає модернізації, становить 1150 м². Роботи планується виконати з боку стелі підвалу з використанням пінополістирольних плит завтовшки 170 мм ($\lambda_{\text{ут}} = 0,036 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$). Орієнтовна вартість матеріалів та монтажних робіт становить 1650 грн/ м².

$$\Delta Q_{\text{п}} = \left(\frac{1}{0,51} - \frac{1}{5,23} \right) \cdot 1150 \cdot (20 - (-22)) \cdot 0,6 = 51283 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії становитиме:

$$\Delta Q_{\text{рік ут.п}} = 51283 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{1,163} = 89,1 \text{ Гкал/рік.}$$

Капітальні інвестиційні витрати на захід:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{підвал}} = 1150 \cdot 1650 = 1897500 \text{ грн.}$$

Річна грошова економія при тарифі 4068,41 грн/Гкал:

$$\Delta E_{\text{підвал}} = 89,1 \cdot 4068,41 = 362495 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1897500}{362495} = 5,2 \text{ років.}$$

3.3.3 Проведення заміни вікон у будівлі навчального корпусу

Для підвищення теплотехнічних показників світлопрозорих конструкцій корпусу пропонується заміна застарілих дерев'яних вікон на сучасні металопластикові системи з енергозберігаючими двокамерними склопакетами, заповненими аргоном. Наявні у будівлі металопластикові вікна площею 102 м² відповідають робочому стану та залишаються без змін.

Нові металопластикові вікна забезпечать приведений опір теплопередачі на рівні $R_{\text{н.в}} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (що точно відповідає R_{qmin}). Окрім зниження трансмісійних втрат, заміна вікон дозволить значно ущільнити будівлю, знизивши неконтрольовану природну інфільтрацію зовнішнього повітря через міжстулкові щілини. Конструктивні особливості такого вікна наведені на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Конструкція енергозберігаючих вікон

Загальна площа дерев'яних вікон, що підлягають заміні, становить $F_{\text{в}} = 743,4 \text{ м}^2$. Орієнтовна вартість заміни віконних блоків із урахуванням демонтажу та монтажу становить 6000 грн/м².

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна річна економія енергії від впровадження заходу із заміни вікон (зменшення трансмісійних втрат + зменшення інфільтрації):

$$\Delta Q_{\text{в}} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 75,4 + 6,8 = 82,2 \text{ Гкал/рік.}$$

Капітальні витрати на заміну вікон "під ключ" (із розрахунку 6000 грн/м²):

$$K_{\text{вікон}} = 743,4 \cdot 6000 = 4460400 \text{ грн.}$$

Річна грошова економія при діючому тарифі:

$$\Delta E_{\text{вікон}} = 82,2 \cdot 4068,41 = 334423 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{4460400}{334423} = 13,3 \text{ років.}$$

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії

Налагодження системи автоматики та контролю

Для підвищення ефективності роботи системи тепlopостачання навчального корпусу №31 пропонується виконати налагодження системи автоматики та контролю. Захід передбачає встановлення датчиків температури та тиску, а також впровадження програмного забезпечення для автоматизованого моніторингу та керування параметрами роботи системи опалення.

Впровадження автоматизованого регулювання дозволить забезпечити підтримання оптимального температурного режиму в приміщеннях, зменшити надлишкове споживання теплової енергії та підвищити загальну енергоефективність будівлі.

Річна економія теплової енергії за рахунок встановлення системи автоматичного погодного регулювання (10% економії від фактичного споживання):

$$\Delta Q_{\text{авт}} = 18,96 \text{ Гкал/рік.}$$

Річна грошова економія при діючому тарифі:

$$\Delta E_{\text{авт}} = 18,96 \cdot 4068,41 = 77137 \text{ грн/рік.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Орієнтовна вартість закупівлі та впровадження контролера системи автоматики та диспетчеризації з датчиками (після перегляду кошторису) становить **200 000 грн.**

Термін окупності заходу визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{200000}{77137} = 2,6 \text{ років.}$$

Балансування системи опалення

Для забезпечення рівномірного розподілу теплоносія між усіма опалювальними приладами навчального корпусу пропонується виконати гідравлічне балансування системи опалення.

У будівлі застосована вертикальна двотрубна система опалення, для якої характерною проблемою є нерівномірний розподіл теплоносія між стояками та окремими приміщеннями. Внаслідок цього частина приміщень перегрівається, а інша — недоотримує теплову енергію, що призводить до дискомфорту та перевитрат енергоресурсів.

Балансування системи дозволить:

стабілізувати температурний режим у приміщеннях;

зменшити теплові втрати;

знизити навантаження на насосне обладнання;

підвищити ефективність роботи ІТП.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було розроблено та проаналізовано основні заходи з підвищення енергоефективності інженерних систем навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Для кожного заходу визначено очікувану економію теплової енергії, річний економічний ефект та термін окупності на основі фактичних показників теплоспоживання за 2025 рік.

Результати розрахунків наведені у таблиці 3.3.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Заходи з енергозбереження

№	Захід	ΔQ , Гкал/рік	ΔE , грн/рік	Ток, років
1	Утеплення зовнішніх стін	257,5	1 047 615	11,3
2	Утеплення перекриття підвалу	89,1	362 495	5,2
3	Заміна вікон	82,2	334 423	13,3
4	Автоматизація ІТП	18,96	77 137	2,6

Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність впровадження запропонованих енергоефективних заходів. Найбільший потенціал економії забезпечують заходи з модернізації огорожувальних конструкцій будівлі, тоді як автоматизація та регулювання системи опалення дозволяють досягти швидшого терміну окупності та підвищити комфорт експлуатації приміщень.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту

В умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів та необхідності забезпечення енергетичної безпеки питання розвитку систем енергоменеджменту набуває особливої актуальності для закладів вищої освіти. Для навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського впровадження сучасних підходів до енергоменеджменту є важливим напрямом підвищення енергоефективності та зменшення експлуатаційних витрат.

На сьогодні в Україні активно впроваджуються нормативно-правові та організаційні механізми, спрямовані на підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Важливим кроком стало впровадження енергетичної сертифікації будівель, яка дозволяє оцінити рівень енергоефективності об'єктів та визначити першочергові заходи для його підвищення.

Система енергетичного менеджменту (СЕНМ) дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління енергоспоживанням будівлі. Основними функціями такої системи є:

- облік та аналіз споживання енергетичних ресурсів;
- контроль ефективності використання енергії;
- моніторинг роботи інженерних систем;
- планування заходів з енергозбереження;
- оцінка результативності впроваджених енергоефективних рішень.

Для навчального корпусу №31 питання впровадження енергоменеджменту є особливо актуальним через значне річне споживання електричної та теплової енергії. Проведений аналіз показав, що найбільшу частку енергоспоживання формують системи освітлення, навчальне обладнання, вентиляційні установки та система тепlopостачання. Водночас

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Саржицький Д.В.								
Перевір.		Веремійчук Ю.А.							52	81
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.								
Затверд.										

існуюча система обліку енергоресурсів не забезпечує достатнього рівня деталізації даних, що ускладнює оперативний контроль та локалізацію неефективних режимів роботи обладнання.

Сучасні тенденції розвитку енергоменеджменту передбачають широке використання цифрових технологій та автоматизованих систем моніторингу. Одним із перспективних напрямів є впровадження систем диспетчеризації та автоматичного керування інженерними мережами будівлі, які дозволяють у режимі реального часу контролювати параметри енергоспоживання та оперативно реагувати на їх зміни.

Також важливою тенденцією є інтеграція відновлюваних джерел енергії у систему енергозабезпечення будівель. Для навчального корпусу №31 таким рішенням є впровадження дахової фотоелектричної станції, яка дозволить частково компенсувати споживання електричної енергії з зовнішньої мережі та підвищити рівень енергетичної автономності об'єкта.

Крім технічних рішень, важливу роль у розвитку енергоменеджменту відіграють організаційні заходи. До них належать:

- формування енергетичної політики закладу;
- проведення регулярного енергетичного моніторингу;
- навчання персоналу принципам енергоефективності;
- популяризація раціонального використання енергоресурсів серед студентів та працівників університету.

Таким чином, розвиток системи енергоменеджменту для навчального корпусу №31 повинен базуватися на поєднанні сучасних технічних засобів автоматизації, впровадженні відновлюваних джерел енергії та організаційних механізмів управління енергоспоживанням. Це дозволить забезпечити зменшення витрат на енергоресурси, підвищення енергетичної ефективності будівлі та покращення умов експлуатації об'єкта[7].

4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів

На даний момент контроль за споживанням енергетичних ресурсів

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського здійснюється службою енергоменеджменту університету. Основними завданнями служби є ведення обліку споживання електричної та теплової енергії, аналіз енерговитрат, а також розроблення заходів щодо підвищення енергоефективності будівель університетського комплексу.

Проведений аналіз показав, що існуюча система обліку енергоресурсів забезпечує лише загальний контроль споживання на рівні будівлі та не дозволяє оперативно здійснювати детальний моніторинг окремих груп споживачів чи інженерних систем. У зв'язку з цим доцільним є впровадження сучасної автоматизованої системи обліку енергоресурсів (АСОЕ) із використанням хмарних технологій та дистанційного збору даних.

Запропонована система дозволить здійснювати автоматичний збір, передачу, зберігання та обробку інформації щодо споживання електричної енергії, тепла та води в режимі реального часу. Доступ до даних може здійснюватися через вебінтерфейс за допомогою персонального комп'ютера або мобільних пристроїв, що значно підвищує оперативність контролю та ефективність управління енергоспоживанням.

На рисунку 4.1 наведено приклад структурної схеми підключення автоматизованої системи обліку енергоресурсів.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 – Схема підключення АСОЕ

До складу автоматизованої системи обліку енергоресурсів входять:

1. засоби обліку енергоресурсів (електролічильники, тепловічильники, водолічильники);
2. канали передачі даних;
3. комунікаційне обладнання для збору та передачі інформації;
4. серверне або хмарне середовище для зберігання та обробки даних;
5. програмне забезпечення для моніторингу та аналізу енергоспоживання.

Впровадження АСОЕ дозволить:

здійснювати безперервний контроль споживання енергетичних ресурсів;

оперативно виявляти перевитрати енергії та аварійні режими роботи обладнання;

аналізувати структуру енергоспоживання окремих систем будівлі;

формувати звіти та статистику для подальшого планування

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

енергоефективних заходів;

підвищити точність обліку та достовірність отриманих даних.

Особливо актуальним є використання такої системи в умовах впровадження фотоелектричної станції для навчального корпусу №31, оскільки АСОЕ дозволить контролювати як обсяги споживання електричної енергії, так і параметри генерації сонячної електростанції.

Основними перевагами використання хмарної системи енергомоніторингу є:

відсутність необхідності придбання дорогого локального програмного забезпечення;

можливість дистанційного доступу до даних з будь-якої локації;

автоматичне оновлення та технічна підтримка системи;

сумісність із сучасними приладами обліку;

можливість масштабування системи для інших корпусів університету.

Таким чином, впровадження автоматизованої системи обліку та моніторингу енергоресурсів є важливим етапом розвитку системи енергоменеджменту навчального корпусу №31. Використання сучасних цифрових технологій дозволить підвищити ефективність контролю за споживанням енергії, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

4.3 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів

Враховуючи значні обсяги споживання енергетичних ресурсів навчальним корпусом №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського, важливим напрямом підвищення енергоефективності є впровадження сучасних організаційно-управлінських заходів у сфері енергоменеджменту. Реалізація таких заходів дозволить забезпечити раціональне використання енергоресурсів, знизити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність функціонування інженерних систем будівлі.

Основними рекомендаціями щодо розвитку системи

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоменеджменту для навчального корпусу №31 є:

1. Розроблення енергетичної політики університетського корпусу

Необхідно сформувати енергетичну політику об'єкта, яка визначатиме основні принципи раціонального використання енергетичних ресурсів та напрями підвищення енергоефективності будівлі. Політика повинна враховувати особливості функціонування навчального корпусу, режим роботи аудиторій, лабораторій та адміністративних приміщень, а також перспективи впровадження відновлюваних джерел енергії.

Крім того, енергетична політика повинна регулярно переглядатися відповідно до змін нормативної бази, технічного стану обладнання та сучасних вимог енергетичного менеджменту.

2. Планування заходів з енергозбереження

Для забезпечення системного підходу до управління енергоспоживанням доцільно розробити довгострокові та короткострокові плани енергоефективних заходів. Такі плани повинні містити:

- конкретні цілі щодо зменшення споживання енергоресурсів;
- графіки реалізації заходів;
- оцінку необхідних фінансових ресурсів;
- прогнозовані показники економії енергії.

Особливу увагу необхідно приділяти модернізації систем освітлення, автоматизації тепlopостачання та впровадженню фотоелектричної станції.

3. Моніторинг та оцінка ефективності

Важливою складовою системи енергоменеджменту є регулярний моніторинг споживання енергоресурсів та оцінка результативності впроваджених заходів.

Для цього рекомендується:

- проводити періодичні енергетичні аудити;
- здійснювати аналіз динаміки споживання електричної та теплової енергії;
- контролювати режими роботи інженерного обладнання;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оцінювати фактичну економію енергоресурсів після реалізації заходів.

Використання автоматизованої системи обліку енергоресурсів (АСОЕ) значно підвищить ефективність такого моніторингу.

4. Навчання та підвищення рівня обізнаності персоналу та студентів

Ефективність системи енергоменеджменту значною мірою залежить від рівня енергетичної культури користувачів будівлі. У зв'язку з цим доцільно проводити:

інформаційні семінари та тренінги;

роз'яснювальні заходи щодо раціонального використання енергоресурсів;

поширення інформаційних матеріалів з енергоефективності;

популяризацію сучасних технологій енергозбереження серед студентів та працівників університету.

Такі заходи сприятимуть формуванню відповідального ставлення до використання енергетичних ресурсів.

5. Мотивація до енергоефективної поведінки

Для підвищення зацікавленості персоналу та студентів у зменшенні енергоспоживання рекомендується впроваджувати мотиваційні механізми, зокрема:

проведення конкурсів та тематичних заходів з енергоефективності;

відзначення найбільш ефективних ініціатив щодо енергозбереження;

стимулювання підрозділів, які демонструють найкращі результати зі скорочення енерговитрат.

Застосування таких підходів дозволить створити сприятливі умови для розвитку енергоефективної культури в університетському середовищі.

Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто сучасний стан розвитку енергетичного менеджменту та основні напрями його вдосконалення для навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського.

У процесі роботи було обґрунтовано доцільність впровадження

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизованих систем обліку та моніторингу енергоресурсів, що дозволить забезпечити оперативний контроль за споживанням електричної та теплової енергії, підвищити точність обліку та ефективність управління енергоспоживанням.

Також були запропоновані організаційно-управлінські заходи щодо розвитку системи енергоменеджменту, які включають формування енергетичної політики, планування енергоефективних заходів, проведення моніторингу та енергетичних аудитів, підвищення рівня обізнаності користувачів будівлі та впровадження мотиваційних механізмів.

Реалізація запропонованих рекомендацій дозволить підвищити рівень енергоефективності навчального корпусу, зменшити витрати на енергоресурси та створити передумови для подальшого розвитку системи енергетичного менеджменту університету.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

5.1 Дослідження клімату в м. Київ

Для оцінки можливостей використання відновлюваних джерел енергії в навчальному корпусі №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського необхідно проаналізувати кліматичні умови м. Київ, оскільки ефективність роботи фотоелектричних систем значною мірою залежить від рівня сонячної інсоляції, температурного режиму та тривалості сонячного саява.

Клімат міста Києва є помірно континентальним із теплим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура повітря становить близько $+9^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем року є січень, середньомісячна температура якого становить приблизно $-3,5^{\circ}\text{C}$, а найтеплішим — липень із середньомісячною температурою близько $+20,5^{\circ}\text{C}$.

Середньорічна кількість атмосферних опадів у Києві становить близько 600–650 мм. Відносна вологість повітря протягом року залишається досить високою і в середньому становить:

у зимовий період — 80–90 %;

у літній період — близько 65–75 %.

Для оцінки потенціалу використання сонячної енергії важливим показником є рівень сонячної радіації. Територія міста Києва характеризується достатньо високим потенціалом сонячної інсоляції для ефективного використання фотоелектричних станцій.

Середньорічне значення сумарної сонячної радіації для Києва становить приблизно 1200–1350 кВт·год/м² на рік, що створює сприятливі умови для генерації електричної енергії за допомогою сонячних панелей.

Найбільші значення сонячної активності спостерігаються у весняно-літній період, коли тривалість сонячного саява є максимальною. Це дозволяє

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Саржицький Д.В.			ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Веремійчук Ю.А.									60	81	
Реценз.									КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр. ОН-21				
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.											
Затверд.													

забезпечити підвищену генерацію електроенергії саме в період найбільшого навантаження на систему електропостачання навчального корпусу.

На рисунку 5.1 наведено карту річного розподілу сонячної інсоляції на території України.

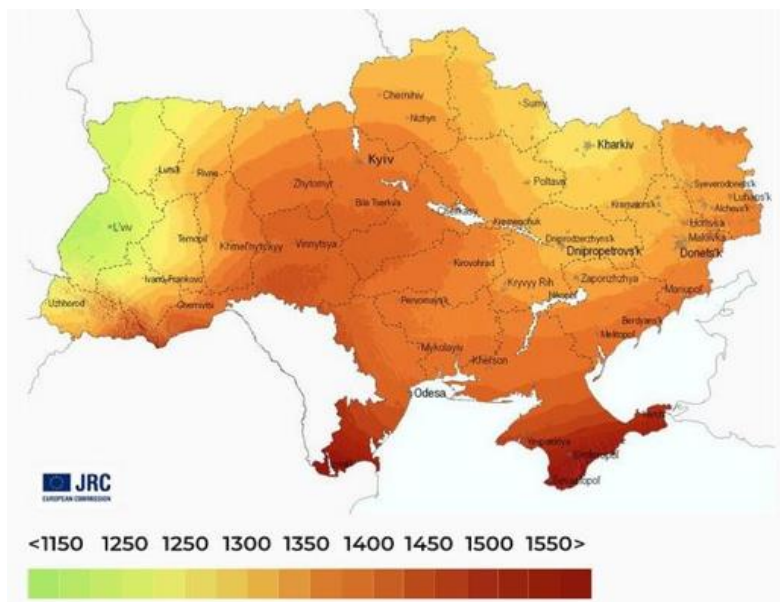


Рисунок 5.1 – Карта сонячної інсоляції України, кВт·год/м²

Проведений аналіз кліматичних умов м. Київ свідчить про доцільність використання сонячної енергії для часткового покриття потреб навчального корпусу №31 в електричній енергії. Використання фотоелектричної станції дозволить зменшити навантаження на зовнішню електромережу, скоротити витрати на електроенергію та підвищити рівень енергетичної ефективності будівлі.

5.2 Встановлення сонячних модулів на даху гуртожитка

Для підвищення рівня енергетичної ефективності та часткового покриття потреб навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського в електричній енергії пропонується встановлення дахової фотоелектричної станції (ФЕС).

Використання сонячної електростанції дозволить:

- зменшити споживання електроенергії з зовнішньої мережі;
- скоротити витрати на оплату електроенергії;
- підвищити рівень енергетичної автономності будівлі;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

Для проєктованої фотоелектричної станції прийнято такі основні технічні рішення:

1. пікова потужність одного фотомодуля — 590 Вт;
2. кут нахилу сонячних панелей до горизонту — 20° (такий кут обрано з урахуванням використання аеродинамічної баластної системи кріплення на плоскому даху для мінімізації вітрових навантажень);
3. схема розташування фотомодулів — «Схід–Захід».

Система орієнтації «Схід–Захід» дозволяє більш рівномірно розподілити генерацію електроенергії протягом дня та ефективніше використовувати площу покрівлі навчального корпусу.

Сонячні фотомодулі

Для перетворення сонячної енергії в електричну запропоновано використання монокристалічних фотомодулів Trina Solar TSM-DE20 потужністю 590 Вт.

Враховуючи доступну корисну площу плоского даху навчального корпусу № 31 (яка становить орієнтовно 1150 м²) та необхідність дотримання технологічних відстаней між рядами панелей для уникнення взаємного затінення і вітрового навантаження, загальну кількість фотоелектричних модулів було оптимізовано. Загальна кількість сонячних панелей становить 100 шт., а встановлена потужність фотоелектричної станції:

$$P = 100 \cdot 590 = 59000 \text{ Вт} = 59 \text{ кВт}$$

Для забезпечення надійності електропостачання та автономної роботи критично важливого обладнання (циркуляційних насосів ІТП, серверного обладнання та аварійного освітлення корпусу) під час можливих відключень централізованої мережі, проєктом додатково передбачено впровадження системи накопичення енергії (ESS). До складу сонячної станції включено гібридний інвертор та літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄) акумуляторний блок мінімальною ємністю 30 кВт·год.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики фотомодуля наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики фотомодуля Trina Solar TSM-DE20 590W

Найменування показників	Значення
Потужність, Вт	590
Тип панелі	монокристалічна
Напруга при максимальній потужності, В	34
Струм при максимальній потужності, А	17,35
Напруга холостого ходу, В	41,1
Максимальна напруга системи, В	1500
ККД фотомодуля, %	20,8
Розміри, мм	2172×1303×35
Ступінь захисту	IP68
Робоча температура, °С	-40...+85
Технологія виробництва	Half-Cell

На рисунку 5.2 наведено зовнішній вигляд фотомодуля Trina Solar TSM-DE20 590W.



**Рисунок 5.2 – Сонячний фотомодуль Trina Solar TSM-DE20 590W
Мережевий інвертор**

В умовах зеленої трансформації та дефіциту потужностей в Об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України, встановлення систем сонячної генерації малої потужності на дахах будівель є одним із найбільш ефективних рішень [9]. Крім того, впровадження таких локальних джерел енергії разом із системами накопичення дозволяє оптимізувати процеси енергозабезпечення та підвищити автономність об'єкта як елемента енергетичної спільноти університету згідно з сучасними моделями управління енергоспоживанням [8].

Для перетворення постійного струму, виробленого сонячними панелями, у змінний струм мережевої частоти запропоновано використання мережевих інверторів Huawei SUN2000-30KTL-M3.

Загальна кількість інверторів — 2 шт.

Основні технічні характеристики інвертора наведено у таблиці 5.2.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики інвертора Huawei SUN2000-30KTL-M3

Найменування показників	Значення
Ном. потужність, Вт	30000
Максимальна потужність, Вт	45000
Діапазон вхідної напруги, В	200-1100
MPPT-діапазон напруги, В	480-800
Максимальна напруга, В	1100
Вхідний струм, А	26
ККД, %	98,7

На рисунку 5.3 наведено зовнішній вигляд мережевого інвертора Huawei SUN2000-30KTL-M3.



Рисунок 5.3 – Мережевий інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок генерації електричної енергії

Розрахунок прогнозованого вироблення електричної енергії фотоелектричною станцією здійснювався за допомогою програмного комплексу PVGIS, який дозволяє оцінити генерацію електроенергії з урахуванням кліматичних умов місцевості, орієнтації фотомодулів та кута їх нахилу.

У таблицях 5.3 та 5.4 наведено результати прогнозованої генерації електроенергії та рівня сонячної інсоляції для фотомодулів, орієнтованих відповідно на схід та захід.

Таблиця 5.3 – Прогнозоване вироблення електроенергії та рівень інсоляції для фотомодулів, орієнтованих на схід

Місяць	Генерація, кВт·год	Інсоляція, кВт·год/м ²
Січень	686	21,9
Лютий	1200,5	36,6
Березень	2450	74,3
Квітень	3742	118,1
Травень	4738	154,2
Червень	5119	168,4
Липень	5058	167,9
Серпень	4403	145,9
Вересень	3155	101
Жовтень	1875	59,2
Листопад	714	23,5
Грудень	512	17,3

Таблиця 5.4 – Прогнозоване вироблення електроенергії та рівень інсоляції для фотомодулів, орієнтованих на захід

Місяць	Генерація, кВт·год	Інсоляція, кВт·год/м ²
Січень	699,4	22,2
Лютий	1187,3	36
Березень	2449,5	74,4
Квітень	3742,2	118,2
Травень	4738,5	154,2
Червень	5120	168,4
Липень	5058	168
Серпень	4402,7	146
Вересень	3155,9	101
Жовтень	1875,4	59,3
Листопад	714,5	23,6
Грудень	511,6	17,3

Для фотоелектричної станції встановленою потужністю 59 кВт сумарна прогнозована генерація електричної енергії наведена у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Прогнозоване річне вироблення електроенергії фотоелектричною станцією потужністю 59 кВт

Місяць	Генерація, кВт·год
Січень	1385,4
Лютий	2387,8
Березень	4899,5
Квітень	7484,2
Травень	9476,5
Червень	10239
Липень	10116

Продовження таблиці 5.5

Серпень	8805,7
Вересень	6310,9
Жовтень	3750,4
Листопад	1428,5
Грудень	1023,6

Річне прогнозоване вироблення електричної енергії фотоелектричною станцією становить:

$$W_{\text{річне}} = 53\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

На рисунках 5.4 та 5.5 наведено графіки прогнозованої генерації електроенергії та рівня сонячної інсоляції протягом року.

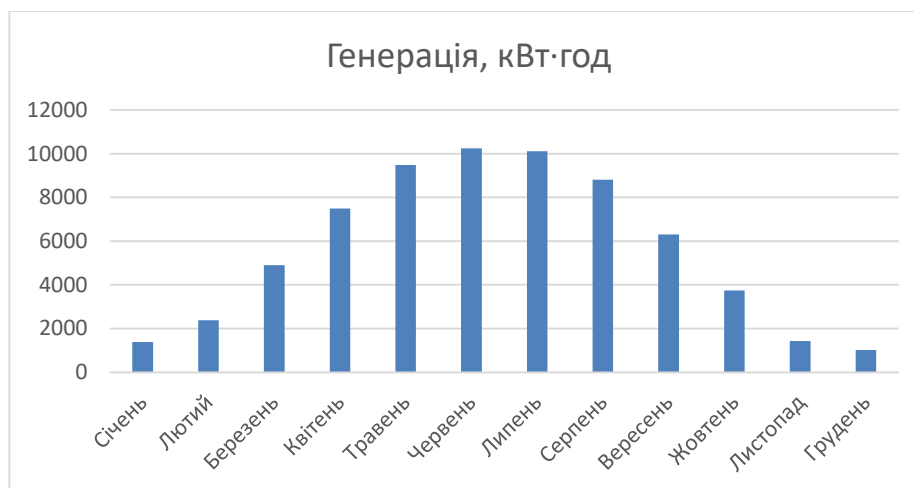


Рисунок 5.4 – Помісячна генерація електричної енергії фотоелектричною станцією потужністю 59 кВт

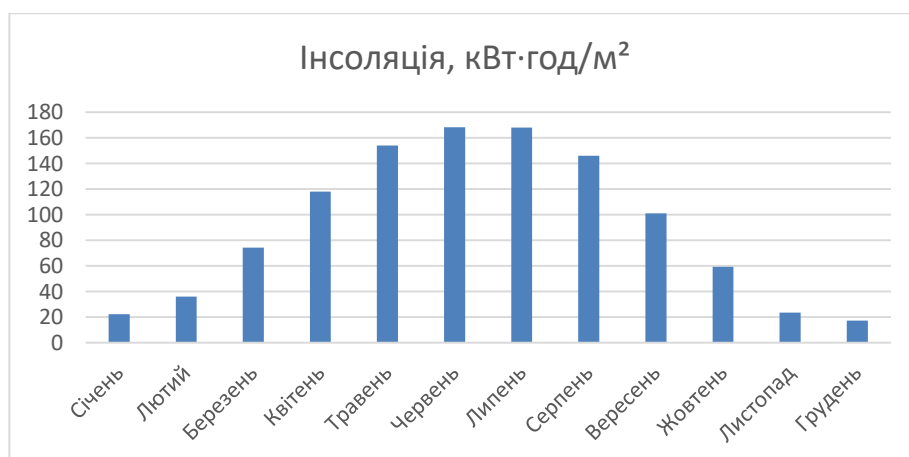


Рисунок 5.5 – Помісячний рівень сонячної інсоляції для фотоелектричної станції (кут нахилу 20°, азимут ±90°)

Отримані результати свідчать про доцільність встановлення дахової фотоелектричної станції для навчального корпусу №31 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Запропонована система дозволить частково компенсувати споживання електричної енергії з зовнішньої мережі та підвищити рівень енергетичної ефективності будівлі.

5.3 Економічний розрахунок впровадження СЕС

Річна грошова економія коштів на закупівлю електроенергії з мережі при діючому на травень 2026 року тарифі (8,40 грн/кВт·год) складе:

$$\Delta E_{\text{сес}} = 53800 \cdot 8,40 = 451920 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності впровадження гібридної сонячної електростанції з системою накопичення енергії (капітальні витрати 1 550 000 грн) становить:

$$E_{\text{сес}} = \frac{1550000}{451920} = 3,4 \text{ роки}$$

Таблиця 5.6 – Фінансові показники проєкту впровадження СЕС

Рік	Капітальні витрати, грн	Щорічні експлуатаційні витрати, грн	Щорічна економія, грн	Грошовий потік (CF), грн	Кумулятивний CF, грн	Коеф. дисконту	Дисконтований CF, грн	Кумул. дисконт. CF, грн
0	1 550 000	0	0	-1 550 000,0	-1 550 000,0	1	-1 550 000,0	-1 550 000,0
1	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	-1 113 080,0	0,885	386 674,2	-1 163 325,8
2	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	-676 160,0	0,783	342 108,4	-821 217,4
3	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	-239 240,0	0,693	302 785,6	-518 431,8
4	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	+197 680,0	0,613	267 892,0	-250 539,8
5	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	+634 600,0	0,543	237 247,6	-13 292,2
6	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	+1 071 520,0	0,48	209 721,6	+196 429,4
7	0	15 000,0	451 920,0	436 920,0	+1 508 440,0	0,425	185 691,0	+382 120,4

Отже, з урахуванням експлуатаційних витрат та вартості грошей у часі, проєкт впровадження гібридної сонячної електростанції окупиться за 5 років і 1 місяць, починаючи генерувати чистий прибуток (позитивне значення NPV) вже на шостому році експлуатації[8].

Висновки до розділу 5

Кліматичні умови та рівень інсоляції у регіоні, де розташована досліджувана будівля (м. Київ), є цілком сприятливими та достатніми для ефективного застосування сонячної електростанції. Використання баластної системи кріплення з кутом нахилу 20° та орієнтацією «Схід-Захід» є оптимальним рішенням для плоского даху навчального корпусу № 31.

Технічно обґрунтовано вибір обладнання: встановлення сонячних панелей загальною потужністю 59 кВт у комплексі з гібридним інвертором та акумуляторною системою накопичення енергії (ємністю 30 кВт·год). Це не лише забезпечує генерацію електроенергії, але й гарантує безперебійну роботу критичного обладнання корпусу (ІТП, сервери) під час відключень мережі.

Фінансово-економічний аналіз довів високу рентабельність реалізації проєкту. Завдяки актуальному тарифу на електроенергію для бюджетних установ (8,40 грн/кВт·год), простий термін окупності становить 3,4 роки, а дисконтований — 5 років і 1 місяць. Застосування такого альтернативного джерела енергії є економічно виправданим та стратегічно важливим заходом для підвищення енергетичної стійкості навчального закладу[9].

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ

Вступ

Розділ присвячено вирішенню питань створення безпечних і нешкідливих умов праці під час впровадження комплексу енергоефективних заходів у навчальному корпусі № 31 КПІ ім. Ігоря Сікорського, а саме: монтажу гібридної сонячної електростанції (СЕС) потужністю 59 кВт, системи накопичення енергії та модернізації штучного освітлення в навчальних аудиторіях. Розділ базується на нормативно-методичних рекомендаціях [10].

6.1 Загальна характеристика об'єкта

Монтаж сонячних панелей передбачено на плоскому даху навчального корпусу. Гібридний інвертор та літєві акумулятори встановлюються у спеціально виділеному приміщенні (інверторній/серверній). Загальну характеристику об'єкта наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія з електробезпеки	Категорія з пожежної безпеки
СЕС (сонячні панелі)	Відкрита ЕУ	Зовнішнє, на плоскому даху	Особливо небезпечне	Категорія Д
Інвертор та АКБ	Внутрішня ЕУ	Окреме приміщення (інверторна)	З підвищеною небезпекою	Категорія В
Система освітлення	Внутрішня ЕУ	Навчальні аудиторії	Без підвищеної небезпеки	Категорія В

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Саржицький Д.В.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ		
Перевір.		Третьякова Л.Д.					
Реценз.							
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.							
						Літ.	Арк.
							71
						Акрушів	
						81	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського	
						Каф. ЕП Гр. ОН-21	

6.2 Технічні характеристики ЕУ

Для реалізації проекту обрано сучасне сертифіковане обладнання.

Основні технічні параметри системи представлені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники технічних характеристик ЕУ

Найменування ЕУ і марка	Основні характеристики	Числове значення показника
Фотоелектричний модуль	Потужність, Кількість	590 Вт, 100 шт.
Мережевий гібридний інвертор	Напруга, Потужність	0,4 кВ / 60 кВт
Акумуляторний блок LiFePO ₄	Ємність	30 кВт·год
Світлодіодна LED панель	Потужність, Кількість	36 Вт, 300 шт.

6.3 Перелік робіт та склад бригади

Послідовність та організацію виконання робіт під час монтажу системи автономного живлення систематизовано в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Послідовність виконання робіт

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання робіт і тривалість	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Монтаж панелей на даху	Транспорт, підйомник	Теплий період, 10 робочих днів	4 особи	Не нижче III (IV для керівника)
Монтаж інвертора та АКБ	Вручну, такелажні візки	Упродовж року, 5 робочих днів	3 особи	Не нижче III
Заміна світильників	Вручну	Упродовж року, 7 робочих днів	2 особи	Не нижче III

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.4 Моніторинг стану виробничого середовища та умов праці за методом Елмері

Для оцінки безпеки робочих місць (інверторна та дах) проведено віртуальний моніторинг за методом Елмері. Результати оцінки безпеки виробничого процесу та стану порядку наведено у таблицях 6.4 та 6.5.

Етап 1. Визначення границь робочого місця: Межами визначено площу плоского даху корпусу №31 (для монтажу СЕС) та приміщення інверторної площею 15 м².

Таблиця 6.4 – Форма для оцінки безпеки виробничого процесу

Об'єкт спостереження	Позитивна оцінка (+)	Негативна оцінка (-)
Використання ЗІЗ (каска, діелектричні рукавички)	+	
Ергономічність ЗІЗ	+	
Наявність інструкцій з безпечних методів роботи	+	
Дотримання порядку наряду-допуску	+	

Таблиця 6.5 – Форма для показників порядку і чистоти

Показники спостереження	Позитивна оцінка (+)	Негативна оцінка (-)
Робочі поверхні та інструмент	+	
Проходи та шляхи евакуації	+	
Підлога (чиста, неструмопровідна)	+	

Індекс Елмері (ІЕ) обчислюється як відношення позитивних оцінок (наприклад, 18 пунктів з усіх етапів) до суми позитивних і негативних (2 пункти недоліків):

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$IE = \frac{18}{18+2} \cdot 100\% = 90\%.$$

Оскільки $IE > 60\%$, систему управління охороною праці під час реалізації проєкту можна вважати задовільною.

6.5 Оцінювання ризику на робочому місці

Під час виконання робіт існують такі базові ризики:

1. **Ураження електричним струмом:** небезпека під час підключення DC-кабелів від сонячних панелей (напруга до 1000 В постійного струму) та інтеграції інвертора до мережі 0,4 кВ змінного струму.
2. **Падіння з висоти:** під час облаштування баластної системи кріплень панелей на даху 31-го корпусу [11].
3. **Пожежна небезпека:** ризик короткого замикання або теплового розгону літєвих акумуляторів (LiFePO₄) у разі порушення умов експлуатації.

6.6 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках

Технічні заходи: Встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) та автоматів захисту в щитах постійного та змінного струму. Надійне захисне заземлення металевих конструкцій панелей і корпусів інвертора відповідно до вимог ПУЕ [12]. Застосування спеціального «сонячного» кабелю з подвійною УФ-стійкою ізоляцією.

Організаційні заходи: Оформлення наряду-допуску на виконання робіт на висоті та в діючих електроустановках згідно з НПАОП [13]. Проведення цільового інструктажу перед початком робіт.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Діелектричні рукавички, каски, ізольований інструмент (до 1000 В). Для робітників на даху — запобіжні пояси (у разі наближення ближче 2 м до неогороженого краю даху).

6.7 Пожежна безпека

Приміщення інверторної обладнується автоматичною системою пожежної сигналізації. Категорично забороняється зберігання горючих матеріалів поблизу акумуляторів. Шляхи евакуації повинні мати ширину не менше 1 м. Робочі місця комплектуються первинними засобами

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пожежогасіння (вуглекислотні ВВК-5 та порошкові ВП-5 вогнегасники, оскільки гасіння ЕУ під напругою водою заборонено) згідно з правилами пожежної безпеки [14]. Для захисту панелей від прямого удару блискавки використовується блискавкоприймальна сітка на даху будівлі.

6.8 Розрахункове завдання: Розрахунок захисного заземлення інверторної установки

Для забезпечення електробезпеки при експлуатації гібридного інвертора розраховуємо контур захисного заземлення відповідно до вимог ПУЕ [12].

Вихідні дані: питомий опір ґрунту (суглинок) $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; застосовуємо вертикальні сталеві заземлювачі довжиною $l = 3 \text{ м}$, діаметром $d = 0,02 \text{ м}$; глибина закладення траншеї $t_0 = 0,7 \text{ м}$. Згідно з ПУЕ, опір заземлювального пристрою для ЕУ до 1000 В не повинен перевищувати $R \leq 4 \text{ Ом}$.

Розрахунковий опір одного вертикального заземлювача R_v :

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (6.1)$$

де відстань від поверхні землі до середини заземлювача $t = t_0 + l/2 = 0,7 + 1,5 = 2,2 \text{ м}$.

$$R_v = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{6}{0,02} + 0,5 \ln \frac{8,8+3}{8,8-3} \right) = 5,3 \cdot (5,7 + 0,35) = 32,06 \text{ Ом}.$$

Потрібна кількість вертикальних електродів без урахування опору горизонтальної смуги:

$$n = \frac{R_v}{R \cdot \eta_v} = \frac{32,06}{4 \cdot 0,75} = 10,6 = 11 \text{ шт.}$$

(де $\eta_v = 0,75$ – коефіцієнт використання для 11 електродів, розміщених у ряд).

Отже, для досягнення безпечного нормативного опору 4 Ом необхідно змонтувати контур із 11 вертикальних електродів.

Висновки до розділу

У розділі проаналізовано умови праці під час впровадження енергоефективних заходів у корпусі № 31. Визначено основні виробничі ризики. Розроблено комплекс технічних та організаційних заходів безпеки,

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведено моніторинг за методом Елмері ($IE=90\%$). Виконано розрахунок захисного заземлення (встановлено потребу в 11 електродах), що гарантує надійний захист персоналу та студентів від ураження електричним струмом і пожежної небезпеки.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті виконано комплексний енергетичний аудит навчального корпусу № 31 КПІ ім. Ігоря Сікорського та розроблено науково обґрунтовану низку енергоефективних заходів, спрямованих на скорочення споживання теплової та електричної енергії. Для кожного із запропонованих рішень визначено очікувану економію енергоресурсів, річний економічний ефект та терміни окупності капітальних вкладень. Розрахунки виконано на основі фактичних показників енергоспоживання будівлі за 2025 рік з урахуванням актуальних комерційних тарифів для бюджетних установ (4068,41 грн/Гкал для теплової енергії та 8,40 грн/кВт·год для електроенергії).

Встановлено, що комплексні термомодернізаційні заходи, зокрема утеплення зовнішніх стін мінеральною ватою (товщиною 15 см із питомими витратами 3000 грн/м²) та заміна старих вікон на енергоефективні (з витратами 6000 грн/м²), мають довгостроковий період повернення інвестицій. Проте їх реалізація є базовою та критично необхідною умовою для підвищення теплового опору огорожувальних конструкцій будівлі до сучасних нормативних вимог. Водночас термомодернізація перекриття над неопалюваним підвалом демонструє кращі фінансові показники з терміном окупності на рівні 5,2 років.

Доведено, що заходи з модернізації інженерних мереж мають значно менший термін окупності. Зокрема, автоматизація та впровадження погодного регулювання системи опалення в ІТП дозволяють досягти швидкої окупності (на рівні 2,6 років). Це рішення забезпечує гнучке керування теплоспоживанням, високу фінансову економію та суттєво підвищує загальний мікрокліматичний комфорт під час експлуатації навчального корпусу.

У частині оптимізації споживання електричної енергії обґрунтовано доцільність модернізації системи штучного освітлення. Заміна застарілих люмінесцентних світильників на сучасні LED-панелі є високорентабельним заходом із терміном окупності близько 1,2 року, який додатково гарантує

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дотримання санітарно-гігієнічних норм в аудиторіях.

Стратегічним кроком до енергетичної незалежності об'єкта є впровадження власного джерела відновлюваної енергії. Розроблений проєкт гібридної сонячної електростанції (потужністю 59 кВт) із баластною системою кріплення та акумуляторним блоком (ємністю 30 кВт·год) має простий термін окупності 3,4 роки (дисконтований — 5 років і 1 місяць). Реалізація цього заходу не лише зменшує витрати університету на закупівлю електроенергії з мережі, але й забезпечує енергетичну автономність критично важливого обладнання корпусу (насосних груп ІТП, серверних приміщень) під час аварійних чи стабілізаційних відключень електропостачання.

Загалом, впровадження запропонованого комплексу рішень дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати університету, підвищити енергетичну стійкість об'єкта та перетворити навчальний корпус № 31 на сучасну, енергоефективну будівлю.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Мінрегіон України, 2021. 85 с.

2. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолук О.С. Моделі та методи управління процесами енергозабезпеченням енергетичних спільнот. К. : 7БЦ, 2025. – 201 с. ISBN 978-617-549-516-2. DOI: <https://doi.org/10.20535/978-617-549-516-2>

3. Енергетичний менеджмент. Частина 1: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Бориченко, Ю. А. Веремійчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,08 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 50 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48735>

4. Енергоефективні технології споживання електричної енергії. Лабораторний практикум за темою «Освітлення» [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Системи забезпечення споживачів електричною енергією», «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. В. Чернявський, Ю. А. Веремійчук, О. О. Закладний, Г. І. Черкашина.– Електронні текстові дані (1 файл: 2,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 73 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52411>

5. ДСТУ 9191:2021. Теплоізоляція будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 82 с.

6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. А. Пустовий, Ю. Веремійчук Особливості функціонування сонячної генерації малої потужності в ОЕС України в умовах зеленої трансформації ЕНЕРГЕТИКА І АВТОМАТИКА № 1 (2024) ISSN: 2223-0858 DOI: [http://dx.doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.102](http://dx.doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.102) С. 102-113

8. Енергосервісні контракти та послуги у комунальній сфері: Розрахункова робота [Електронний ресурс] : рек. до виконання розрахунк. роботи : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.:М.М.Шовкалюк, О.І.Яценко – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 68 с.

9. Підготовка бакалаврських кваліфікаційних робіт. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Дерев'янка Д.Г., Бориченко О.В., М.М. Шовкалюк – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с.

10. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та пожежна безпека» у кваліфікаційній роботі [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.Д. Третьякова, Л.О. Мітюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 58 с.

11. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті.

12. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків : Форт, 2017. – 760 с.

13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. – Київ, 1998. – 382 с.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014. – Київ, 2014. – 192 с.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.021 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		