

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології
на тему: «Аналіз та оптимізація енергоспоживання будівлі загальноосвітньої школи»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ОН-321

Король Любов Олександрівна _____

Керівник:

к.т.н., доц. Бориченко Олена Володимирівна _____

Консультанти:

Теплова частина
(назва розділу)

к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Охорона праці та пожежна безпека д.т.н., проф.Третькова Л.Д.
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль
(назва розділу)

пров. інженер Прокопенко І.Д.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

_____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

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

Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Король Любові Олександрівні

1. Тема проєкту «Аналіз та оптимізація енергоспоживання будівлі загальноосвітньої школи»,

керівник проєкту к.т.н., доц. Бориченко О.В., затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. №1909-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “10” червня 2026 р.

3. **Вихідні дані до проєкту** технічна та експлуатаційна характеристика будівлі загальноосвітньої школи №7, архітектурно-планувальні рішення об’єкта, дані щодо споживання електричної та теплової енергії за попередні роки, відомості про використання водних ресурсів, схеми електро- та теплопостачання будівлі, результати обстеження огорожувальних конструкцій, технічний паспорт об’єкта, плани поверхів та інформація про існуючий стан інженерних систем.

4. **Перелік розділів, які мають бути розроблені**

а) електрична частина: - аналіз електропостачання та електроспоживання будівлі; визначення ефективності використання електроенергії; розроблення заходів з підвищення енергоефективності та впровадження енергомоніторингу.

б) теплова частина: - аналіз систем опалення та вентиляції; визначення теплових втрат будівлі; розрахунок енергетичних показників; розроблення заходів з термомодернізації та підвищення ефективності.

в) охорона праці та пожежна безпека: - аналіз умов безпеки при експлуатації інженерних систем; оцінка пожежних ризиків; розроблення заходів з охорони праці та пожежної безпеки під час реалізації проєкту.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Проєкт нового індивідуального теплового пункту для ЗОШ №7
2. Проєкт частини освітлення другого поверху ЗОШ №7
3. Підсумок дослідження будівлі з електричної частини
4. Підсумок дослідження будівлі з теплової частини

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теплова частина</i>	<i>к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.</i>		
<i>Охорона праці та пожежна безпека</i>	<i>д.т.н., проф. Третькова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “22” травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом **Король Любов Олександрівною**

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
	Розрахунок електричної частини	23.05.-29.05.26	
	Розрахунок теплової частини	29.05.-05.06.26	
	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	05.06.-10.06.26	
	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.26	
	Захист дисертації	17.06.2026	

Студент

Король Л.О.

Керівник проєкту

Бориченко О.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту на тему: «Аналіз та оптимізація енергоспоживання будівлі загальноосвітньої школи».

Пояснювальна записка містить 129 сторінок, 40 рисунків, 25 таблиць, 1 додаток та 52 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є будівля загальноосвітньої школи №7 та її системи енергозабезпечення.

Предметом дослідження є заходи з підвищення енергоефективності будівлі шляхом удосконалення огорожувальних конструкцій, інженерних систем та впровадження сучасних технологій управління енергоспоживанням.

Метою дипломного проєкту є підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі загальноосвітньої школи №7 шляхом проведення аналізу існуючого стану об'єкта, оцінки використання енергетичних ресурсів та розроблення комплексу технічних і організаційних заходів з енергозбереження.

У роботі виконано аналіз конструктивних характеристик будівлі та особливостей функціонування її інженерних систем. Проведено дослідження структури споживання електричної та теплової енергії, визначено основні джерела енергетичних втрат і фактори, що впливають на рівень енергоефективності об'єкта. Виконано розрахунки електричних і теплових навантажень, здійснено оцінку енергетичних показників будівлі та запропоновано комплекс заходів з термомодернізації.

Ключові слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЗАКЛАД ОСВІТИ.

					ОН-01-19 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma project entitled “ Analysis and Optimization of Energy Consumption in a General Secondary School Building”

The explanatory note consists of 129 pages, 40 figures, 25 tables, 1 appendices, and 52 references.

The object of the study is the building of Secondary School No. 7 and its energy supply systems.

The subject of the study is a set of measures aimed at improving the energy performance of the building through the modernization of building envelope structures, engineering systems, and the implementation of modern energy management technologies.

The purpose of the diploma project is to increase the energy efficiency level of Secondary School No. 7 by analyzing the current condition of the facility, assessing energy resource consumption, and developing technical and organizational energy-saving measures.

The project includes an analysis of the building’s structural characteristics and the operation of its engineering systems. The patterns of electricity and thermal energy consumption were investigated, and the main sources of energy losses as well as factors affecting the building’s energy performance were identified. Electrical and thermal load calculations were carried out, the building’s energy indicators were assessed, and a set of energy-efficiency improvement measures was proposed.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, THERMAL MODERNIZATION, ENERGY SAVING, ENERGY MONITORING, ELECTRICITY CONSUMPTION, HEAT LOSSES, PHOTOVOLTAIC POWER PLANT, RENEWABLE ENERGY SOURCES, EDUCATIONAL INSTITUTION.

					ОН-01-19 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ	11
1.1 Короткий опис об'єкту	11
1.2 Характеристика зовнішніх стін	13
1.3 Характеристика віконних конструкцій та дверей.....	14
1.4 Характеристика покрівлі та перекриття над неопалюваним горищем....	16
1.5 Аналіз інженерних мереж	18
1.6 Моніторинг споживання холодної води, теплової та електроенергії	20
1.7 Оцінка тарифної політики на енергоносії	27
Висновок до розділу 1:	28
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	29
2.1 Схема електропостачання житлової будівлі та її аналіз	29
2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії	31
2.3 Повірочний розрахунок навантажень житлової будівлі	33
2.4 Повірочний розрахунок системи освітлення спортивної зали.....	37
2.5 Структурний аналіз електроспоживання будівлі навчального закладу ...	39
2.6 Дослідження системи обліку та контролю споживання електроенергії ..	41
2.7 Розроблення комплексу заходів підвищення енергоефективності електроспоживання будівлі.....	42
Висновок до 2 розділу:	52
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	53
3.1 Аналітичне опрацювання нормативної документації, що регламентує забезпечення енергоефективності у закладах загальної середньої освіти	53
3.2 Визначення теплового навантаження будівлі	55
3.3 Аналітичне визначення основних складових теплового балансу будівлі ..	66
3.4 Розроблення енергоефективних заходів для огорожувальних конструкцій будівлі школи	67
Висновок до 3 розділу	83

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	85
4.1 Огляд поточного стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту в шкільних закладах	85
4.2 Заходи модернізації системи обліку та моніторингу використання енергії та інших ресурсів.....	86
4.3 Організаційно-управлінські пропозиції в просуванні теми енергоменеджменту	89
Висновок до розділу 4	90
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ.....	91
5.1 Обґрунтування використання сонячної електростанції для енергозабезпечення об'єкта	91
5.2 Характеристика особливостей кліматичних умов міста Херсону	93
5.3 Розрахунок можливої потужності та генерації СЕС	95
5.4 Підбір обладнання для СЕС	99
5.5 Визначення економічної ефективності та строку окупності проєкту	101
Висновок до 5 розділу	104
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	105
6.1 Загальна характеристика умов виконання робіт.....	105
6.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час модернізації системи освітлення	107
6.3 Перелік робіт та склад бригади під час модернізації системи освітлення	109
6.4 Оцінювання умов праці методом Елмері	111
6.5 Засоби індивідуального захисту під час модернізації системи освітлення	114
6.6 Дії працівників та засоби пожежної безпеки під час виникнення пожежі	117
Висновок до 6 розділу	118
ВИСНОВОК.....	120
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
ДОДАТКИ.....	128

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧНЬ, ТЕРМІНІВ

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електричної енергії;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ГВП – гаряче водопостачання;

ДБН – державні будівельні норми;

ЕЕ – електрична енергія;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

СЕС – сонячна електростанція;

ТП – трансформаторна підстанція;

ФЕМ – фотоелектричний модуль;

LED – світлодіод (Light Emitting Diode);

ДСТУ – державний стандарт України;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

ПДВ – податок на додану вартість;

СО – система опалення;

МП – металопластик;

Д – дерево;

ДД – дерев'яні двері;

h – коефіцієнт тепловіддачі;

k – коефіцієнт теплопередачі;

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

λ – коефіцієнт теплопровідності;

R – опір теплопередачі;

F – площа конструкції;

δ – товщина конструкції;

Q – кількість теплоти;

в – вікно;

д – двері;

дах – дах;

ст – стіна;

Пн – північ;

Пд – південь;

Сх – схід;

Зх – захід.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		

ВСТУП

Система загальної середньої освіти є однією з найбільш енергомістких складових соціальної інфраструктури, оскільки охоплює значні за площею будівлі з тривалим режимом експлуатації та постійною присутністю людей. Загальноосвітня школа №7, як типовий представник подібних закладів, функціонує в умовах, коли значна частина її будівельних та інженерних рішень не відповідає сучасним вимогам енергоефективності та енергозбереження.

Особливістю шкільних будівель є їхня складна структура внутрішніх приміщень: навчальні класи, спортивні та актові зали, коридори великої протяжності, їдальні та допоміжні приміщення. Така конфігурація формує нерівномірні теплові навантаження та ускладнює підтримання стабільного температурного режиму. Додатковим фактором є значна площа огорожувальних конструкцій, через які відбуваються основні тепловтрати, особливо у будівлях старої забудови з недостатнім рівнем теплоізоляції.

Важливо зазначити, що саме у закладах освіти вимоги до стабільності температурного режиму є підвищеними, оскільки від цього безпосередньо залежить самопочуття, концентрація та працездатність учнів і персоналу. Недотримання нормативних температурних показників у зимовий період або їх значні коливання можуть негативно впливати на навчальний процес та загальний стан здоров'я дітей. При цьому спроби компенсувати тепловтрати шляхом збільшення споживання енергоносіїв є економічно недоцільними в умовах високих тарифів на тепло- та електроенергію.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Короткий опис об'єкту

Об'єктом дослідження в даній роботі є будівля загальноосвітньої школи №7, яка розташована за адресою: м. Херсон, проспект Перемоги, 43-а. За функціональним призначенням будівля належить до громадських закладів освіти та використовується для організації навчального процесу середньої школи. Будівля (рис.1.1) експлуатується в умовах інтенсивного щоденного навантаження, оскільки в ній одночасно перебуває велика кількість учнів, педагогічного та обслуговуючого персоналу.

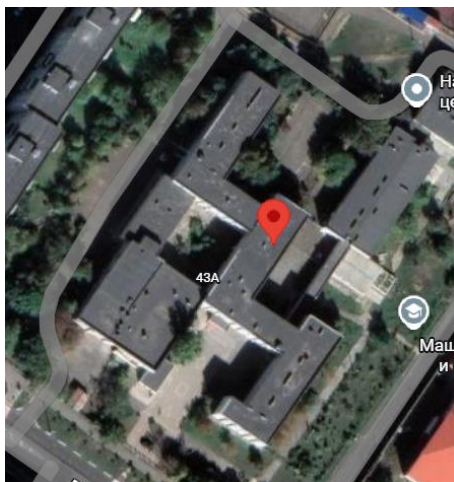


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд будівлі ЗОШ №7

Школа була введена в експлуатацію у 1989 році. Об'єкт розташований у II температурній зоні, що визначає помірно-холодні кліматичні умови з тривалим опалювальним періодом.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальний опис об'єкту		
Розроб.		Король Л.О.					
Перевір.		Бориченко О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.54	Акрушів
					НН ІЕЕ, кафедра ЕП		

Експлуатаційний режим закладу становить п'ятиденний робочий тиждень. У позаурочний час у будівлі перебуває черговий персонал охорони. Середня одночасна чисельність людей у будівлі протягом навчального процесу становить близько 1520 осіб, з яких приблизно 132 особи – це працівники закладу.

Аналіз температурного режиму в опалювальний період свідчить про наявність проблем із забезпеченням нормативних параметрів мікроклімату. За фактичними спостереженнями, температура повітря в більшості приміщень коливається в межах 14–17 °С при зовнішній температурі близько –5 °С. Це є суттєво нижчим за нормативні вимоги.

Відповідно до чинних будівельних норм, зокрема ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», рекомендована температура внутрішнього повітря в навчальних приміщеннях повинна становити близько +21 °С [1].

Слід зазначити, що в 2019 році на об'єкті вже проводилися окремі заходи з модернізації інженерних систем та підвищення енергоефективності. Зокрема, було здійснено капітальний ремонт системи теплопостачання, який включав заміну трубопроводів на полімерні матеріали, оновлення запірної арматури та промивку опалювальних приладів. Також проведено часткову заміну світильників на енергоефективні світлодіодні джерела світла.

Крім того, здійснювалася часткова заміна віконних конструкцій (приблизно 400 одиниць), модернізація входних груп (встановлено три металопластикові та чотири металеві двері), а також локальне утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій (близько 90 м² фасаду) і перекриття покрівлі. Незважаючи на це, проведені заходи не мали комплексного характеру, що обмежило їх загальний ефект щодо зниження тепловтрат будівлі.

Основні техніко-експлуатаційні характеристики будівлі наведено в таблиці 1.1.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.1 – Загальні характеристики будівлі

Показник	Значення
Рік забудови	1 989
Опалювальна площа підлоги, м ²	12 367,8
Кондиційована площа, м ²	12 367,8
Загальний об'єм будівлі, м ³	33 393,06
Кондиційований об'єм, м ³	33 393,06
Кількість поверхів	3
Висота будівлі, м	12

Таким чином, школа №7 є типовою будівлею масової забудови кінця ХХ століття з великими тепловими навантаженнями та значним потенціалом для підвищення енергоефективності шляхом реалізації комплексних модернізаційних заходів.

1.2 Характеристика зовнішніх стін

Зовнішні стіни будівлі загальноосвітньої школи №7 виконані із силікатної цегли товщиною 380 мм і характеризується відсутністю ефективного теплоізоляційного шару, що зумовлює низькі теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій у порівнянні з сучасними вимогами.

За результатами обстеження встановлено, що фасадні поверхні будівлі перебувають у незадовільному експлуатаційному стані. Спостерігаються дефекти у вигляді локальних руйнувань оздоблювального шару, тріщин різної інтенсивності, ділянок з порушенням цілісності покриття, а також ознаки зволоження окремих зон. Наявність зазначених пошкоджень свідчить про деградацію захисно-декоративних властивостей фасаду та погіршення його теплофізичних характеристик у процесі тривалої експлуатації.

Загальний вигляд фасаду будівлі наведено на рисунку 1.2.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд фасаду будівлі ЗОШ №7

Площа зовнішніх стін будівлі становить 5635,3 м².

Зовнішній вигляд конструкції свідчить, що на об'єкті наявні значні питомі тепловтрати через огорожувальні конструкції, підвищене навантаження на систему теплопостачання та, як наслідок, ускладнення забезпечення нормативного температурного режиму в приміщеннях будівлі в опалювальний період.

1.3 Характеристика віконних конструкцій та дверей

Світлопрозорі огорожувальні елементи будівлі школи №7 є одним із найбільш критичних факторів формування теплового балансу будівлі, оскільки через них відбувається значна частка тепловтрат. Загальна кількість вікон у будівлі становить 374 одиниці, а їх сумарна площа сягає 1276,5 м², що є суттєвим показником для об'єкта даного типу та масштабів.

Конструктивно віконні блоки представлені різними типами, що сформувалося внаслідок часткової заміни елементів у процесі експлуатації будівлі. Зокрема, частина старих дерев'яних рам була замінена на металопластикові конструкції зі склопакетами. На сьогодні в експлуатації перебуває 141 дерев'яне вікно та 233 металопластикові.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Найбільш проблемною групою залишаються дерев'яні віконні блоки, які через значний термін служби втратили свої експлуатаційні та теплоізоляційні властивості.

Візуальний стан віконних конструкцій наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд віконних конструкцій будівлі

Окрему увагу слід приділити вхідним групам, оскільки дверні прорізи є зонами підвищених інфільтраційних втрат. У будівлі школи №7 експлуатується 14 вхідних дверей загальною площею 38,2 м², що формує значну площу потенційних тепловтрат при недостатній герметичності конструкцій.

Конструктивно двері представлені як дерев'яними, так і металопластиковими виробами, які встановлювалися в різні періоди експлуатації будівлі. Така неоднорідність призводить до різних теплофізичних характеристик окремих входів, що ускладнює забезпечення стабільного теплового режиму в при входових зонах.

Вхідні двері є додатковим джерелом тепловтрат, особливо в періоди інтенсивної експлуатації будівлі, коли відбувається часте відкривання дверей та активний повітрообмін між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Зовнішній вигляд дверних конструкцій наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд вхідних дверей будівлі

Наведене зображення дозволяє оцінити загальний технічний стан дверних конструкцій.

1.4 Характеристика покрівлі та перекриття над неопалюваним горищем

Верхня огорожувальна частина будівлі виконана у вигляді даху з наявним горищним простором. Конструктивно покрівля не передбачає сучасного теплоізоляційного шару, оскільки утеплення під час будівництва та в процесі експлуатації не виконувалось. Це призвело до формування значних тепловтрат через верхню зону будівлі, яка є однією з найбільш критичних з точки зору енергетичного балансу.

Фактичний технічний стан покрівельної системи оцінюється як незадовільний, що пов'язано як із фізичним зносом окремих елементів конструкції, так і з відсутністю комплексної термомодернізації. Наявність неопалюваного горищного простору додатково підсилює втрати теплової енергії в опалювальний період. Загальна площа покрівлі становить 3289,8 м².

Зовнішній вигляд покрівлі будівлі наведено на рисунку 1.5.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд покрівлі будівлі

Нижня частина будівлі представлена технічним підвалом, у якому зосереджені основні інженерні комунікації. Зокрема, тут розміщені магістралі систем опалення, холодного водопостачання та каналізації, а також вузол вводу теплопостачання. Ізоляція трубопроводів у підвальному приміщенні виконана частково та не відповідає сучасним вимогам енергоефективності. У якості теплоізоляційних матеріалів застосовано скловолокнисті матеріали та руберойд, що забезпечує лише базовий рівень захисту та не виключає теплових втрат.

Площа підлоги, що контактує з підвальним приміщенням, становить 3871,7 м². Загальний стан конструкції підлоги та підвального простору в цілому можна оцінити як незадовільний з точки зору енергоефективності.

Зовнішній вигляд інженерних систем у підвальному приміщенні наведено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Інженерні системи в підвальному приміщенні будівлі

Візуальний стан інженерних систем підвального приміщення підтверджує недостатній рівень теплоізоляції трубопроводів та наявність потенційних тепловтрат у зоні технічного підвалу.

1.5 Аналіз інженерних мереж

Інженерні системи будівлі загальноосвітньої школи №7 формують єдиний енергетично-експлуатаційний комплекс, який забезпечує функціонування об'єкта в цілому. До складу основних інженерних мереж належать системи теплопостачання, гарячого та холодного водопостачання, водовідведення, вентиляції, а також локальна система охолодження. Загальний стан цих систем має безпосередній вплив як на енергоспоживання будівлі, так і на забезпечення нормативних умов мікроклімату в навчальних приміщеннях.

Теплопостачання будівлі здійснюється від централізованого джерела – газової котельні. Система функціонує з моменту введення школи в експлуатацію (1989 р.) та за весь період роботи не зазнала комплексної модернізації основного обладнання.

Вузол теплового введення розташований у підвальному приміщенні будівлі та виконаний за залежною схемою приєднання із застосуванням гідроелеваторного вузла. Така схема передбачає безпосереднє надходження мережевого теплоносія до внутрішньобудинкової системи опалення без ефективного автоматизованого регулювання параметрів.

Слід відзначити, що система теплопостачання є закритою, відбір теплоносія на потреби гарячого водопостачання не здійснюється. Разом з тим, вузол не оснащений сучасними засобами автоматичного регулювання температури, що унеможлиблює адаптацію теплового навантаження до фактичних умов експлуатації будівлі. Запірна арматура перебуває у незадовільному технічному стані, що додатково знижує надійність системи.

Внутрішньобудинкова система опалення виконана за двотрубною схемою з нижнім розведенням магістральних трубопроводів. Як матеріал

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

трубопроводів використано сталі труби, заміна яких на сучасні полімерні матеріали не проводилась. Теплоізоляція магістралей, що проходять у технічному підпіллі, виконана частково та не забезпечує повного зниження тепловтрат.

Система розрахована на експлуатацію при розрахунковій температурі зовнішнього повітря -19°C . Проте відсутність балансування системи опалення призводить до нерівномірного розподілу теплоносія між стояками та окремими групами приладів.

Як опалювальні прилади (рис.1.7) використовуються переважно чавунні секційні радіатори (425 шт.) та частково пластинчасті радіатори (34 шт.). Значна частина приладів встановлена у радіаторних нішах, що призводить до додаткових тепловтрат через зовнішні стіни та зменшення ефективної тепловіддачі. Регулювання теплового потоку на приладах відсутнє, що унеможливорює локальне коригування температурного режиму в приміщеннях.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд чавунних секційних радіаторів

Приготування гарячої води відбувається за допомогою електричних водонагрівачів.

Вентиляційна система будівлі представлена переважно природною вентиляцією, яка реалізується через витяжні канали, влаштовані в товщі стін, а також через нещільності огорожувальних конструкцій. Організоване механічне повітрообмінювання передбачене лише в зоні кухні.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У приміщенні кухні встановлено місцеву припливну систему з механічним спонуканням повітря, що працює на базі вентиляторів потужністю близько 2 кВт кожен. При цьому система не обладнана регулюючими елементами (заслінками, регуляторами витрати повітря), а повітроводи не мають теплоізоляції.

Витяжні канали не проходили регулярного очищення, що знижує ефективність повітрообміну та може призводити до порушення нормативних параметрів повітряного середовища в приміщеннях.

Система кондиціонування повітря представлена локально встановленим обладнанням у кількості 1 кондиціонера, що використовується точково та не забезпечує комплексного охолодження будівлі.

Холодне водопостачання будівлі здійснюється від централізованих міських мереж і працює в безперервному режимі. Водовідведення також підключене до міської каналізаційної системи.

Вузол вводу холодної води виконаний із сталевих водогазопровідних труб та оснащений стандартним комплектом арматури, включаючи запірні пристрої до і після лічильника, контрольні елементи та витратомір для комерційного обліку споживання води.

Внутрішня система каналізації виконана із чавунних самопливних труб, що є характерним рішенням для будівель старої забудови. Система працює у гравітаційному режимі та підключена до зовнішніх міських мереж без додаткових локальних очисних або регулюючих елементів.

1.6 Моніторинг споживання холодної води, теплової та електроенергії

Оцінка рівня енергоефективності будівлі неможлива без детального аналізу фактичного споживання енергоресурсів. У даному розділі виконано моніторинг використання електричної енергії, теплової енергії та холодної води на основі помісячних даних за декілька років.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Аналіз динаміки споживання дозволяє виявити сезонні коливання навантаження, визначити характер використання ресурсів, а також оцінити ефективність функціонування інженерних систем будівлі. Особливу увагу приділено впливу режиму роботи навчального закладу на обсяги споживання, зокрема зниженню показників у літній період та їх зростанню в опалювальний сезон.

Результати моніторингу представлені у вигляді таблиць 1.2 – 1.4 та графічних залежностей. Зібравши помісячні дані щодо використання електроенергії, виконаємо аналіз.

Таблиця 1.2 – Споживання електричної енергії ЗОШ №7

Місяць	Спожито у 2019, кВт·год	Спожито у 2020, кВт·год	Спожито у 2021, кВт·год
Січень	11 248	13 486	12 564
Лютий	10 376	12 375	11 732
Березень	9 845	11 204	10 685
Квітень	8 912	9 876	9 214
Травень	7 964	8 745	8 126
Червень	4 182	4 564	4 398
Липень	3 756	3 982	3 864
Серпень	4 038	4 311	4 205
Вересень	7 892	9 156	8 764
Жовтень	9 104	10 487	9 982
Листопад	11 036	12 936	11 543
Грудень	13 242	17 682	15 366
Всього спожито	101 595	118 804	110 443

З графіка на рисунку 1.8 видно, що споживання електричної енергії має чітко виражений сезонний характер. Найбільші значення спостерігаються в зимовий період, що пов'язано зі збільшенням тривалості світлового дня,

активним використанням освітлення та електричного обладнання, а також роботою допоміжних систем.

У літні місяці фіксується суттєве зниження споживання електроенергії, що обумовлено відсутністю навчального процесу та мінімальним перебуванням персоналу в будівлі. При цьому базове навантаження зберігається за рахунок роботи бойлерів, охоронних систем та чергового освітлення.

Електроспоживання будівлі є нерівномірним протягом року та прямо залежить від інтенсивності експлуатації об'єкта.

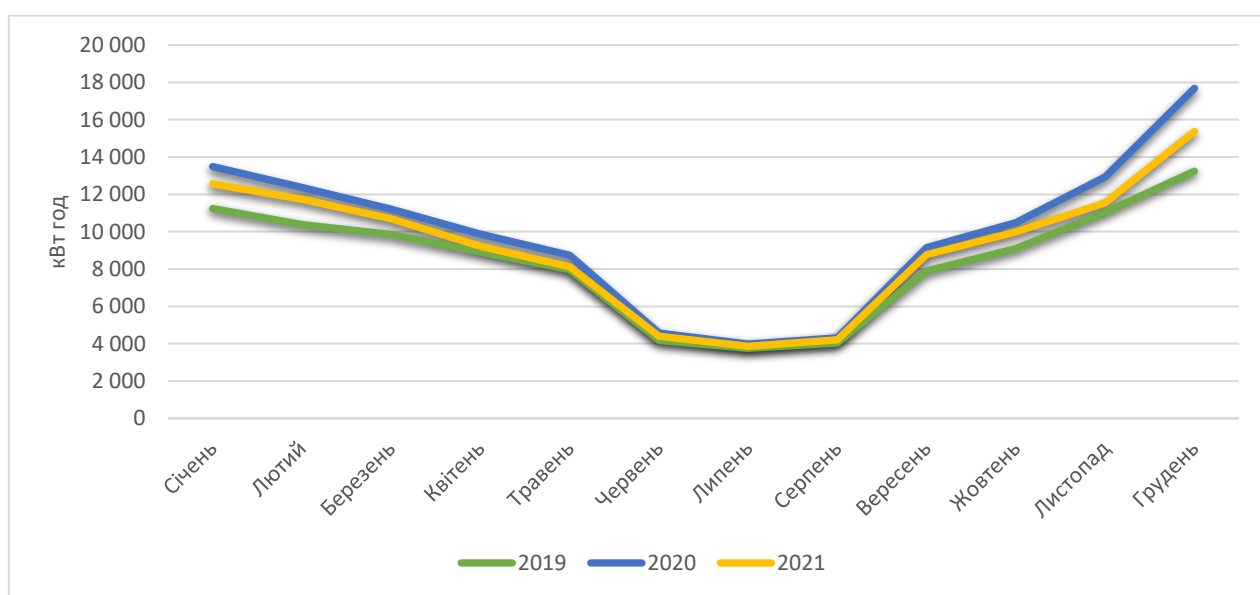


Рисунок 1.8 – Помісячний розподіл споживання е/е ЗОШ №7

Виконаємо дослідження споживання холодної води будівлею в період з 2019 по 2020 роки.

Таблиця 1.3 – Споживання холодної води ЗОШ №7

Місяць	Спожито у 2019, м ³	Спожито у 2020, м ³	Спожито у 2021, м ³
Січень	128	136	196
Лютий	142	118	178
Березень	151	122	182
Квітень	136	109	167
Травень	149	101	154

Продовження таблиці 1.3

Червень	92	73	72
Липень	74	61	94
Серпень	121	68	131
Вересень	143	117	168
Жовтень	132	126	176
Листопад	141	121	154
Грудень	134	120	136
Всього спожито	1 543	1 272	1 808

Споживання холодної води характеризується відносно нерівномірною, частково хаотичною динамікою протягом року. Основні обсяги припадають на період навчального процесу, що пов'язано з функціонуванням санітарно-побутових приміщень та харчоблоку.

Відсутність чіткої сезонної закономірності пояснюється впливом різних експлуатаційних факторів, таких як інтенсивність роботи їдальні, кількість персоналу та режим використання води.

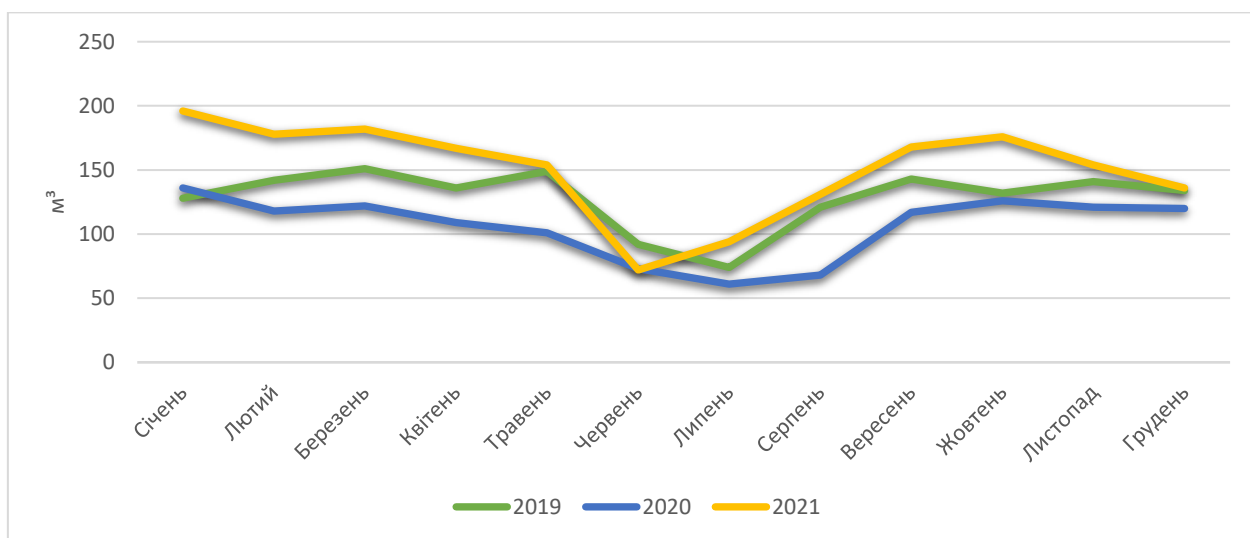


Рисунок 1.9 – Помісячний розподіл споживання ХВП ЗОШ №7

На рисунку 1.9 бачимо нерівномірний характер водоспоживання з помірним зниженням у літній період та коливаннями, зумовленими особливостями експлуатації будівлі.

Проведемо дослідження споживання теплової енергії на опалення будівлі в період з 2019 по 2021 роки.

Таблиця 1.4 – Споживання теплової енергії ЗОШ №7

Місяць	Спожито у 2019, Гкал	Спожито у 2020, Гкал	Спожито у 2021, Гкал
Січень	182,64	191,82	176,43
Лютий	168,32	176,54	159,88
Березень	141,85	152,73	138,76
Квітень	62,47	81,66	24,95
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	78,16	84,35	74,62
Листопад	109,74	107,92	108,37
Грудень	111,09	102,37	121,11
Всього спожито	854	897	804

Споживання теплової енергії має чітко виражений сезонний характер, обумовлений тривалістю опалювального періоду. Найбільші значення припадають на зимові місяці, коли спостерігаються мінімальні температури зовнішнього повітря.

У перехідні періоди (жовтень, березень, частково квітень) рівень споживання зменшується, що пов'язано зі зниженням теплового навантаження. У літній період споживання теплової енергії відсутнє, оскільки система опалення не функціонує.

Різниця між роками пояснюється змінами погодних умов, тривалістю опалювального сезону та фактичним режимом подачі теплоносія.

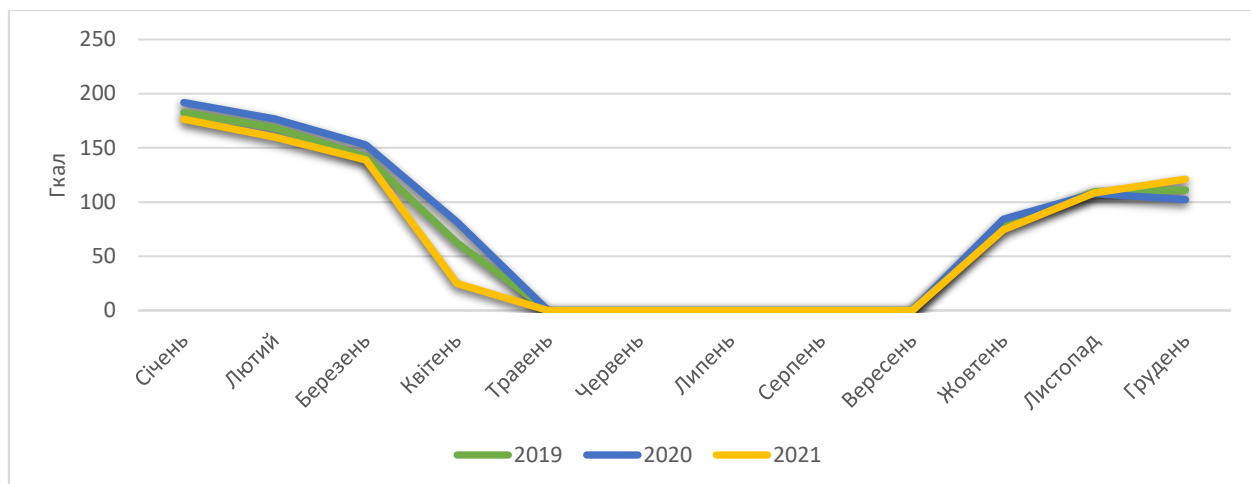


Рисунок 1.10 – Помісячний розподіл споживання теплової енергії ЗОШ №7

Графік на рисунку 1.10 демонструє чітку сезонну залежність споживання теплової енергії з піковими значеннями в зимовий період та відсутністю споживання в міжопалювальний сезон.

З метою узагальнення отриманих результатів додатково проведено аналіз сумарного річного споживання холодної води за досліджувані роки. Це дозволяє оцінити зміну інтенсивності використання ресурсу в цілому, без врахування сезонних коливань.

За результатами аналізу встановлено, що обсяги споживання холодної води мають змінний характер у різні роки. Найменше значення спостерігається у 2020 році, що може бути пов'язано зі зменшенням фактичного навантаження на будівлю або впровадженням елементів економії. У 2021 році зафіксовано максимальне споживання, що свідчить про зростання інтенсивності експлуатації об'єкта або збільшення кількості користувачів.

В цілому динаміка споживання води не має чітко вираженої тенденції до зростання або зменшення, що підтверджує вплив експлуатаційних факторів та нерівномірність використання ресурсу.

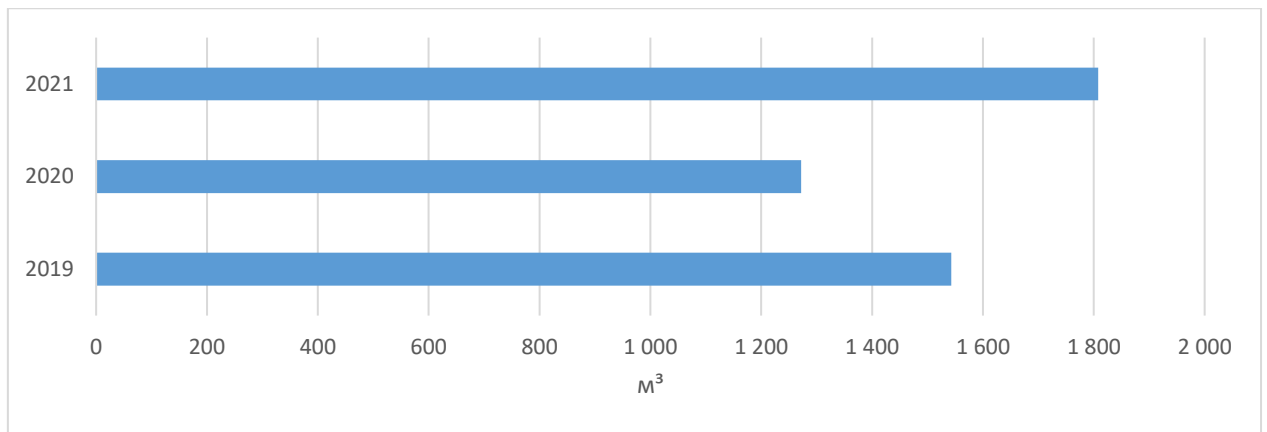


Рисунок 1.11 – Порівняння споживання ХВП будівлею

Діаграма, виконана на рисунку 1.11, відображає зміну сумарного споживання холодної води по роках та демонструє відсутність стабільної тенденції, що пояснюється специфікою використання будівлі.

З метою комплексної оцінки енергоспоживання будівлі також виконано порівняння річних обсягів споживання теплової та електричної енергії.

Аналіз показує, що споживання теплової енергії суттєво перевищує споживання електричної, що є характерним для будівель з централізованою системою опалення та значними тепловими навантаженнями. При цьому обидва показники змінюються нерівномірно в різні роки, що обумовлено як кліматичними умовами (для теплової енергії), так і режимом експлуатації будівлі (для електроенергії).

Зокрема, у 2020 році спостерігається підвищене споживання теплової енергії, що може бути пов'язано з більш холодним опалювальним періодом. Водночас електроспоживання також демонструє коливання, але в меншій мірі, що свідчить про більш стабільний характер його використання.

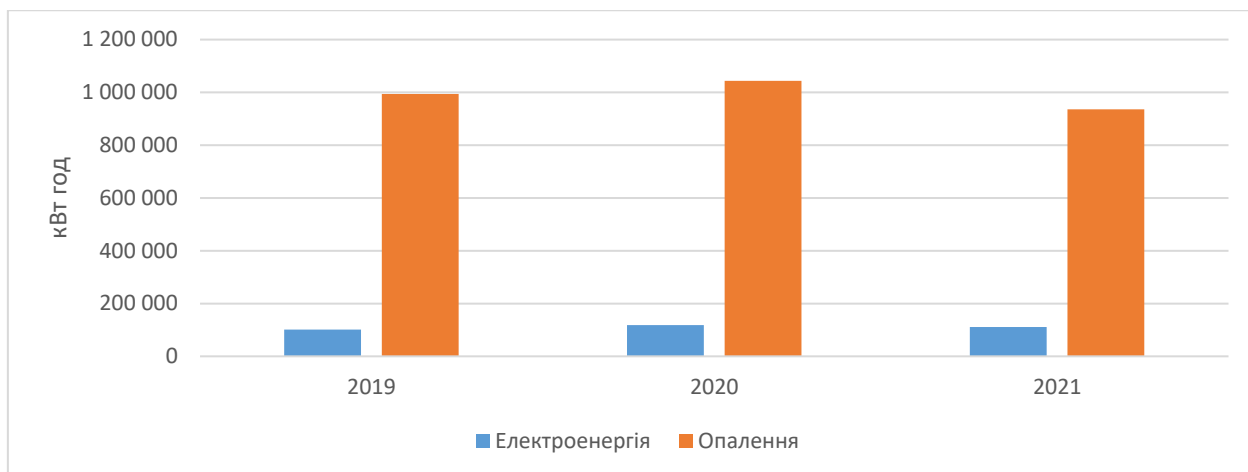


Рисунок 1.12 – Порівняння річного споживання електричної та теплової енергії

Рисунок 1.12 ілюструє діаграму-співвідношення між споживанням теплової та електричної енергії, де домінуючу частку займає тепла енергія, що підтверджує високі витрати на опалення будівлі.

Проведений аналіз показав, що всі види ресурсів мають характерні особливості споживання, зумовлені як сезонними факторами, так і режимом експлуатації будівлі. Найбільш прогнозованим є споживання теплової енергії, тоді як електроенергія та вода мають більш варіативний характер.

1.7 Оцінка тарифної політики на енергоносії

Для проведення подальших розрахунків у роботі використано чинні тарифи на основні види енергоресурсів для м. Херсон станом на 2026 рік. До розгляду включено тарифи на централізоване тепlopостачання, електричну енергію та холодне водопостачання. Відповідні дані наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Тарифна політика на енергоресурси в місті Херсон

Вид енергоресурсу	2026
Централізоване тепlopостачання, грн/Гкал	3 631,59
Електроенергія, грн/кВт·год	6,91
Холодна вода, грн/м ³	30,696

Аналіз тарифних показників свідчить, що найбільшу частку витрат становить теплова енергія. Це визначає доцільність першочергової реалізації заходів, спрямованих на зменшення тепловтрат будівлі. Водночас скорочення споживання електричної енергії та води також сприятиме підвищенню загальної економічної ефективності функціонування закладу.

Висновок до розділу 1

У результаті проведеного аналізу встановлено, що будівля загальноосвітньої школи №7 характеризується значною площею, високим рівнем експлуатаційного навантаження та морально застарілими конструктивними й інженерними рішеннями. Основні огорожувальні конструкції будівлі (стіни, вікна, покрівля, підлога) не відповідають сучасним вимогам до теплотехнічних характеристик, що призводить до суттєвих тепловтрат і ускладнює забезпечення нормативного температурного режиму в приміщеннях.

Аналіз світлопрозорих конструкцій і дверей показав їх неоднорідність та недостатній рівень теплозахисту, що додатково підсилює інфільтраційні втрати. Покрівля та підлога над підвальним приміщенням також мають занижені показники опору теплопередачі, що свідчить про необхідність їх термомодернізації.

Інженерні системи будівлі перебувають у переважно зношеному стані та функціонують без сучасних засобів автоматичного регулювання й балансування. Це знижує ефективність використання енергоресурсів і не дозволяє адаптувати режими роботи систем до фактичних умов експлуатації.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання житлової будівлі та її аналіз

Електропостачання будівлі загальноосвітньої школи №7 організовано за централізованою схемою від міських електричних мереж. Джерелом живлення є розподільчі мережі оператора розподілу – АТ «Херсонобленерго» [2].

Живлення будівлі (рис.2.1) здійснюється від комплектної трансформаторної підстанції типу КТП-10/0,4 кВ, оснащеної силовим трансформатором потужністю 400 кВА. Підстанція забезпечує пониження напруги з рівня 10 кВ до 0,4 кВ та подачу електроенергії до споживачів низької напруги. Від підстанції до будівлі прокладена кабельна лінія напругою 0,4 кВ.

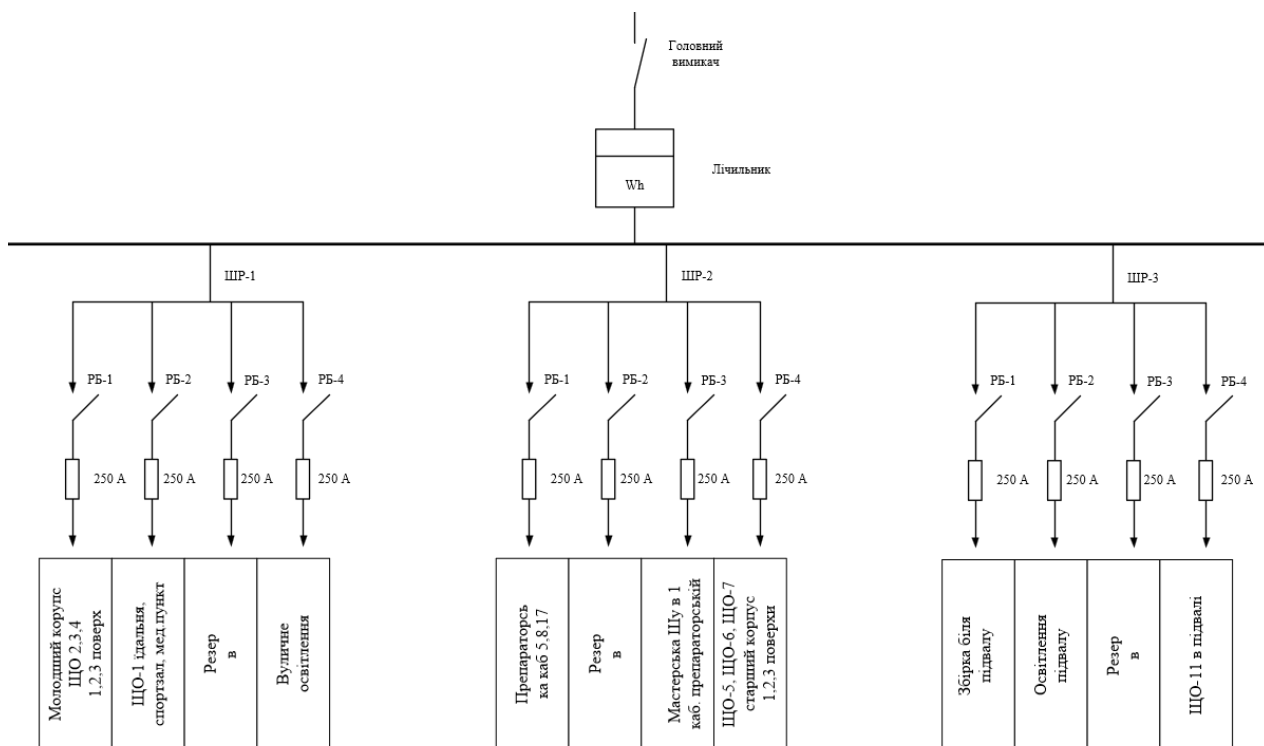


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання ЗОШ №7

Ввід електроенергії до школи виконано кабелем марки АВВГ 4×95 (рис.2.2), який прокладено підземним способом [3]. Кабель підключається до ввідно-розподільчого пристрою (ВРУ), розташованого в електрощитовій будівлі [4]. У ВРУ здійснюється розподіл електроенергії між основними споживачами об'єкта.



Рисунок 2.2 – Електричний кабель АВВГ 4х95

Подальший розподіл електроенергії виконується через систему внутрішніх розподільчих щитів, від яких живляться окремі групи навантажень, зокрема:

- система освітлення;
- розеткові мережі навчальних приміщень;
- обладнання харчоблоку;
- інженерні системи (вентиляція, водонагрівачі, кондиціонування).

Схема електропостачання будівлі є радіальною, що є типовим рішенням для громадських споруд даного типу [5]. Така схема характеризується простотою реалізації, проте має обмежену надійність, оскільки у випадку пошкодження ввідної лінії відбувається повне знеструмлення об'єкта. Резервне джерело живлення або альтернативні лінії електропостачання в будівлі відсутні.

Аналіз існуючої системи електропостачання показує, що вона відповідає базовим вимогам щодо забезпечення електроенергією.

2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії

Електроспоживання будівлі загальноосвітньої школи є сукупністю електроприймачів різного функціонального призначення, що забезпечують навчальний процес, роботу інженерних систем та господарсько-побутові потреби. Характер навантаження є нерівномірним протягом доби та року і визначається режимом експлуатації будівлі та сезонними умовами.

Гаряча вода в будівлі готується автономно за допомогою електричних водонагрівачів (рис.2.3) накопичувального типу. Встановлено 7 бойлерів, зокрема Ariston PRO1 R 80 V [6] та Atlantic O'Pro+ 100 [7], номінальною потужністю 1,5–2,0 кВт кожен.



Рисунок 2.3 – Бойлерне обладнання

Обладнання забезпечує потреби харчоблоку та санітарно-побутових приміщень. Робота бойлерів здійснюється без погодного чи часового регулювання, що призводить до додаткових витрат електроенергії на підтримання температури води.

Вентиляція будівлі має змішаний характер. У приміщенні харчоблоку встановлено механічну припливну вентиляцію (рис.2.4) на базі вентиляторів

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

VENTS VK 200 потужністю 2 кВт кожен [8]. В інших приміщеннях повітрообмін здійснюється природним шляхом.



Рисунок 2.4 – Вентиляційне обладнання

Вентиляційне обладнання працює без автоматичного регулювання продуктивності, повітроводи не ізолювані, що знижує загальну енергоефективність системи. Система охолодження представлена одним кондиціонером Cooper&Hunter CH-S12FTX5 [9], який використовується локально та не формує значного навантаження на електромережу.

Суттєву частку електроспоживання становить система освітлення. Внутрішнє освітлення працює за рахунок поєднання різних типів джерел світла. У будівлі експлуатуються лампи розжарювання [10] потужністю 60 Вт у кількості 118 одиниць із сумарною потужністю 7,1 кВт, люмінесцентні лампи [11] типу ЛБ-40 (рис.2.5) у кількості 1784 одиниць із загальною потужністю 71,4 кВт, а також лампи ЛБ-20 у кількості 1218 одиниць із сумарною потужністю 24,36 кВт.



Рисунок 2.5 – Люмінісцентна лампа ЛБ-40

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Частково впроваджені світлодіодні світильники, однак їх частка залишається недостатньою. Система освітлення не оснащена засобами автоматичного керування або датчиками присутності, що призводить до нераціонального використання електроенергії.

Найбільш енергоємною групою електроспоживачів є обладнання харчоблоку. У складі кухонного обладнання встановлені електричні плити Abat ЕПК-47ЖШ (рис.2.6) потужністю до 12 кВт [12], пекарська шафа Unox XF 023 Anna [13], електросковорода та електром'ясорубка Fimar 22RS [14].



Рисунок 2.6 – Електрична плита

Обладнання експлуатується протягом робочого дня з високим рівнем завантаження та характеризується значними питомими витратами електроенергії. Відсутність сучасних енергоощадних режимів та автоматичного керування знижує ефективність його використання.

Слід зазначити, що електроспоживаюче обладнання будівлі характеризується переважанням застарілих технічних рішень, відсутністю систем регулювання та високим рівнем енергоспоживання. Це зумовлює підвищені експлуатаційні витрати.

2.3 Повірочний розрахунок навантажень житлової будівлі

Оцінка електричних навантажень об'єкта є ключовим етапом аналізу системи електропостачання, оскільки дозволяє визначити фактичну потребу будівлі в електричній потужності, перевірити відповідність існуючих елементів

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

мережі та забезпечити надійність її функціонування. Коректне визначення навантажень є необхідною умовою як для безпечної експлуатації електроустановок, так і для обґрунтування подальших заходів з модернізації системи електропостачання.

У рамках даної роботи виконується визначення розрахункових значень активної, реактивної та повної потужностей електроспоживачів будівлі. Отримані результати використовуються для оцінки завантаження силових кабельних ліній та перевірки їх пропускної здатності. Основною розрахунковою величиною є струм навантаження, який визначає вимоги до перерізу провідників та вибору захисної апаратури.

Розрахунок навантажень здійснюється з урахуванням коефіцієнтів попиту, що дозволяє врахувати нерівномірність роботи електроприймачів у часі [15]. Для визначення основних електричних параметрів використовуються такі залежності:

$$P_p = n \cdot P_{ном.} \cdot K_p \quad (2.1)$$

де P_p – розрахункова активна потужність, кВт [15];

n – кількість однотипних споживачів;

$P_{ном.}$ – номінальна потужність одного електроприймача, кВт;

K_p – коефіцієнт попиту на обладнання.

Реактивна складова навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта потужності [15]:

$$Q_p = P_p \cdot tg(\phi) \quad (2.2)$$

де Q_p – реактивна потужність, квар;

$tg(\phi)$ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення між реактивною та активною потужностями.

Повна потужність [15], яка визначає фактичне навантаження на електричну мережу, знаходиться за формулою:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos(\phi)} \quad (2.3)$$

де S_p – повна потужність, кВА;

$\cos(\phi)$ – коефіцієнт потужності.

Для ілюстрації методики розрахунку розглянемо групу електроспоживачів харчоблоку, а саме електричні водонагрівачі. У будівлі встановлено 7 бойлерів номінальною потужністю 1,8 кВт кожен. З урахуванням коефіцієнта попиту $K_{\Pi} = 0,6$ визначимо активну потужність:

$$P_p = 7 \cdot 1,8 \cdot 0,6 = 7,56 \text{ кВт.}$$

Для даного типу обладнання приймаємо коефіцієнт потужності $\cos(\phi) = 0,95$, звідки $\text{tg}(\phi) \approx 0,33$.

Тоді реактивна потужність становитиме:

$$Q_p = 7,56 \cdot 0,33 = 2,49 \text{ квар,}$$

Повна потужність визначається як:

$$S_p = \frac{7,56}{0,95} = 7,96 \text{ кВА.}$$

Такий розрахунок виконується для інших груп електроприймачів, зокрема різних типів освітлення, вентиляційного обладнання та кухонної техніки [15]. Отримані результати узагальнюються у вигляді таблиці 2.1

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень будівлі школи

Характеристика споживача	п, шт	Рном, кВт	Рвст, кВт	Кп	Рр, кВт	cosφ	tgφ	Qр, квар	Sp, кВА
Бойлери	7	1,8	12,6	0,6	7,56	0,95	0,33	2,49	7,96
Освітлення (лампи розжарювання)	118	0,06	7,08	0,9	6,37	1,0	0	0	6,37
Освітлення (ЛБ-40)	1784	0,04	71,36	0,85	60,66	0,92	0,43	26,08	65,94
Освітлення (ЛБ-20)	1218	0,02	24,36	0,85	20,71	0,92	0,43	8,90	22,51
Вентиляція	2	2,0	4,0	0,7	2,80	0,9	0,48	1,34	3,11
Кондиціонер	1	1,2	1,2	0,7	0,84	0,9	0,48	0,40	0,93
Електроплита	2	12	24	0,7	16,8	0,85	0,62	10,42	19,76
Пекарська шафа	1	3,0	3,0	0,7	2,10	0,9	0,48	1,01	2,33
Електросковорода	1	5,0	5,0	0,7	3,50	0,9	0,48	1,68	3,89
Електром'ясорубка	1	1,5	1,5	0,6	0,90	0,85	0,62	0,56	1,06
Всього			154,1		122,24			52,88	133,86

Після визначення сумарної повної потужності будівлі виконується оцінка струмового навантаження на ввідну кабельну лінію. Це дозволяє перевірити відповідність існуючого кабелю умовам експлуатації та виключити ризик його перевантаження.

Розрахунок сили струму здійснюється на основі значення повної потужності за трифазною схемою живлення [15]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} \quad (2.4)$$

де I_p – розрахунковий струм, А;

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга мережі, кВ;

S_p – повна потужність будівлі, кВА.

Підставивши отримане раніше значення загальної потужності $S_p = 133,86$ кВА та прийнявши напругу мережі $U = 0,4$ кВ :

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$I_p = \frac{133,86}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 193,2 \text{ А.}$$

Електроживлення будівлі здійснюється через кабель марки АВВГ 4×95, допустимий тривалий струм якого становить близько 260 А [3]. Порівняння розрахункового значення струму з допустимим показує, що кабельна лінія працює в межах допустимих навантажень і має запас пропускної здатності.

2.4 Повірочний розрахунок системи освітлення спортивної зали

Організація освітлення у спортивних приміщеннях має вирішальне значення для забезпечення безпечних умов проведення занять та належного рівня зорового комфорту. На відміну від допоміжних приміщень, спортивні зали характеризуються підвищеними вимогами до освітленості через динамічний характер діяльності. У зв'язку з цим виконання повірочного розрахунку дозволяє оцінити відповідність існуючої системи освітлення чинним нормативним вимогам, зокрема ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [16].

Спортивна зала школи має розміри: довжина – 24 м, ширина – 12 м, висота – 6 м, що відповідає площі 288 м². Внутрішні поверхні характеризуються такими коефіцієнтами відбиття: стеля – 60%, стіни – 40%, підлога – 20% [17]. У приміщенні також наявні великі світлові прорізи (вікна), які забезпечують достатній рівень природного освітлення у денний час. Проте слід враховувати, що у зимовий період, коли тривалість світлового дня є обмеженою, а заняття фізичною культурою часто проводяться у ранкові або післяобідні години, природного освітлення недостатньо, що підвищує значення штучного освітлення.

Система штучного освітлення реалізована із застосуванням люмінесцентних світильників з лампами типу ЛБ-40. У спортивній залі

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

встановлено 24 світильники, у кожному з яких змонтовано по дві лампи ЛБ-40 потужністю 40 Вт.

Для оцінки ефективності освітлення визначаємо індекс приміщення [5]:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (2.5)$$

де a – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м;

h – розрахункова висота підвісу світильників над робочою поверхнею, м (визначається як різниця між висотою приміщення та висотою робочої площини).

Знайдемо індекс:

$$i = \frac{24 \cdot 12}{6 \cdot (24 + 12)} = 1,33.$$

На основі отриманого значення та з урахуванням характеристик приміщення приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,52$. Коефіцієнт запасу $k_z = 1,4$, коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$.

Розрахунок освітленості виконується за формулою [5]:

$$E_{\Phi} = \frac{F_{\text{Л}} \cdot N \cdot \eta}{S \cdot k_z \cdot z} \quad (2.6)$$

де E_{Φ} – розрахунковий рівень освітленості, Лк;

$F_{\text{Л}}$ – світловий потік одного джерела світла, Лм;

N – загальна кількість встановлених світильників, шт;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, %;

S – площа приміщення, м²;

Знайдемо рівень освітленості:

$$E_{\Phi} = \frac{5600 \cdot 24 \cdot 0,52}{288 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 157 \text{ Лк.}$$

Згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018, для спортивних залів нормативне значення освітленості повинно становити не менше 200 лк [16]. Таким чином, фактичний рівень освітлення є недостатнім.

Відхилення від нормативного значення становить:

$$\delta = \frac{|E_{\Phi} - E_{Н}|}{E_{Н}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Підставимо значення у формулу (2.7), знайдемо значення:

$$\delta = \frac{|157 - 200|}{200} \cdot 100\% = 21,5\%$$

Отримані результати свідчать про те, що існуюча система освітлення не забезпечує необхідного нормативного рівня освітленості, хоча отримане значення є ближчим до нормативного порівняно з попереднім варіантом. В умовах недостатнього природного освітлення це може негативно впливати на безпеку під час занять та якість зорового сприйняття.

2.5 Структурний аналіз електроспоживання будівлі навчального закладу

Враховуючи різноманітність електроприймачів у навчальному закладі, їх доцільно класифікувати за функціональним призначенням (табл.2.2). Це дає можливість не лише впорядкувати вихідні дані, а й забезпечити коректне порівняння різних груп обладнання між собою.

Під час аналізу враховуються як номінальні характеристики приладів, так і особливості їх використання протягом навчального процесу. Такий підхід дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку фактичного навантаження.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 2.2 – Структура електроспоживання будівлі

Група споживачів	Кількість, шт	Рном, кВт	Рвст, кВт	Кп	Рр, кВт
Освітлення (усі типи)	3120	—	102,8	0,85	87,74
Бойлери (Ariston, Atlantic)	7	1,8	12,6	0,6	7,56
Вентиляція (VENTS VK 200)	2	2,0	4,0	0,7	2,80
Кондиціонер (Cooper&Hunter)	1	1,2	1,2	0,7	0,84
Електроплити (Abat)	2	12,0	24,0	0,7	16,80
Пекарська шафа (Unox)	1	3,0	3,0	0,7	2,10
Електросковорода	1	5,0	5,0	0,7	3,50
Електром'ясорубка (Fimar)	1	1,5	1,5	0,6	0,90

Структура електроспоживання дозволяє сформувати енергетичну модель будівлі та є вихідною базою для побудови Sankey-діаграми [17]. Модель балансу електроспоживання зображена на рисунку 2.7.

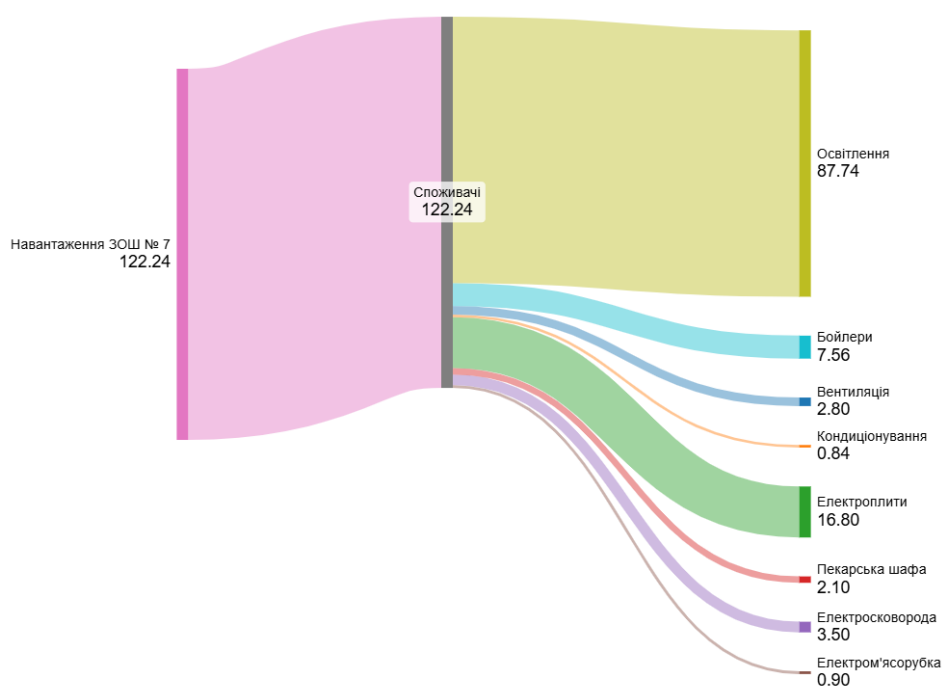


Рисунок 2.7 – Баланс електроспоживання ЗОШ №7 (кВт)

Отримані дані свідчать про те, що найбільшу частку в структурі електроспоживання займає система освітлення, яка формує понад 70%

загального електричного навантаження будівлі. Це пояснюється значною кількістю світильників та тривалістю їх використання протягом навчального дня.

Другим за величиною споживачем є кухонне обладнання, яке характеризується високою встановленою потужністю, але працює з меншим коефіцієнтом попиту через періодичний режим роботи.

Системи гарячого водопостачання (бойлери) та вентиляції мають відносно меншу частку, однак працюють тривалий час, що також впливає на загальний баланс.

2.6 Дослідження системи обліку та контролю споживання електроенергії

Система обліку електричної енергії є важливою складовою контролю енергоспоживання будівлі, оскільки дозволяє визначати фактичні витрати, аналізувати режими роботи обладнання та формувати заходи з підвищення енергоефективності.

У будівлі використовується трифазний електронний лічильник GAMA 300 [19], встановлений на головному вводі. Прилад (рис.2.8) розміщений у захисному корпусі зовнішнього виконання на фасаді будівлі та призначений для комерційного обліку електроенергії.

Лічильник забезпечує вимірювання активної електричної енергії, відображення даних на цифровому дисплеї та їх збереження у внутрішній пам'яті.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд приладу обліку

Аналіз показує, що система має обмежені можливості з точки зору енергоменеджменту. Облік здійснюється лише на загальному вводі без поділу на окремі групи споживачів (освітлення, вентиляція, кухонне обладнання тощо), що ускладнює аналіз структури навантаження.

Крім того, відсутня автоматизована система збору даних, тому зчитування показників виконується вручну з певною періодичністю. Це не дозволяє відслідковувати зміни навантаження в реальному часі.

Також система не забезпечує контроль параметрів якості електроенергії, таких як напруга, перекози фаз та коефіцієнт потужності, що може впливати на ефективність роботи обладнання.

Візуальний огляд вузла обліку показує задовільний технічний стан. Лічильник захищений герметичним корпусом, однак монтажна схема та стан кабельних ліній свідчать про відсутність модернізації системи протягом тривалого періоду.

2.7 Розроблення комплексу заходів підвищення енергоефективності електроспоживання будівлі

Підвищення енергоефективності будівель громадського призначення доцільно здійснювати шляхом реалізації комплексу технічних та

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

організаційних заходів, спрямованих на зменшення непродуктивного споживання електричної енергії. Для досліджуваного об'єкта основна частка навантаження припадає на систему освітлення та кухонне обладнання, що визначає пріоритетні напрямки модернізації.

У межах даного розділу розглянуто п'ять основних заходів, які дозволяють знизити річне споживання електроенергії та забезпечити економічну ефективність експлуатації будівлі.

2.7.1 Заміна світильників на LED-джерела світла

Заміна існуючих джерел світла на сучасні LED-світильники є одним із найбільш ефективних заходів зі зниження електроспоживання будівлі. Аналіз структури навантаження показав, що система освітлення формує значну частку загального споживання електричної енергії через велику кількість застарілих ламп розжарювання та люмінесцентних ламп типу ЛБ-40 і ЛБ-20. Дані джерела світла характеризуються низькою світловою віддачею, значними втратами електроенергії у вигляді тепла та обмеженим терміном служби.

У будівлі встановлено 118 ламп розжарювання потужністю 60 Вт, 1784 люмінесцентні лампи ЛБ-40 потужністю 40 Вт та 1218 ламп ЛБ-20 потужністю 20 Вт. Загальна встановлена потужність системи освітлення становить:

$$P_{\text{існ}} = 7,08 + 71,36 + 24,36 = 102,8 \text{ кВт.}$$

При річній тривалості роботи освітлення 3000 годин річне споживання електроенергії становить:

$$E_{\text{існ}} = P_{\text{існ}} \cdot t = 102,8 \cdot 3\,000 = 308\,400 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для модернізації системи освітлення запропоновано використання сучасних LED-аналогів. Лампи розжарювання потужністю 60 Вт замінюються на світлодіодні лампи Philips CorePro LEDbulb 10W E27 (рис.2.9) потужністю 10 Вт [20].

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



Рисунок 2.9 – Philips CorePro LEDbulb 10W E27

Люмінесцентні лампи типу ЛБ-40 замінюються на світлодіодні трубки Philips MASTER LEDtube 1200mm 18W 840 T8 (рис.2.10) потужністю 18 Вт [21].



Рисунок 2.10 – Philips MASTER LEDtube 1200mm 18W 840 T8

Для заміни ламп ЛБ-20 приймаються світлодіодні трубки Philips MASTER LEDtube 600mm 9W 840 T8 (рис.2.11) потужністю 9 Вт [22].



Рисунок 2.11 – Philips MASTER LEDtube 600mm 9W 840 T8

Дані LED-джерела світла характеризуються високою світловою віддачею, стабільним світловим потоком та тривалим терміном експлуатації, що забезпечує суттєве зниження споживання електроенергії та витрат на технічне обслуговування системи освітлення.

Після модернізації встановлена потужність системи освітлення становитиме:

$$P_{\text{нов}} = 118 \cdot 0,01 + 1784 \cdot 0,018 + 1218 \cdot 0,009 = 44,254 \text{ кВт.}$$

Річне споживання електроенергії після впровадження LED-освітлення:

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$E_{\text{нов}} = 44,254 \cdot 3000 = 132\,762 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таким чином, річна економія електроенергії становитиме:

$$\Delta W = 308\,400 - 132\,762 = 175\,638 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

За тарифу на електроенергію 6,91 грн/кВт·год річна грошова економія дорівнює:

$$\Delta E = 175\,638 \cdot 6,91 = 1\,213\,658 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Для визначення економічної ефективності заходу враховано середню ринкову вартість LED-джерел світла. Вартість LED-лампи 10 Вт прийнято на рівні 120 грн/шт, LED-трубки 18 Вт – 180 грн/шт, LED-трубки 9 Вт – 150 грн/шт. Загальний обсяг інвестицій становить:

$$E_{\text{інв}} = 118 \cdot 120 + 1784 \cdot 180 + 1218 \cdot 150 = 517\,980 \text{ грн.}$$

Термін окупності заходу визначається як відношення інвестиційних витрат до річної економії коштів:

$$T = \frac{E_{\text{інв}}}{\Delta E} = \frac{517\,980}{1\,213\,658} = 0,43 \text{ року.}$$

Термін окупності становить приблизно 5 місяців, що свідчить про високу економічну доцільність модернізації системи освітлення. Крім зменшення електроспоживання, впровадження LED-освітлення дозволить підвищити якість освітлення приміщень, зменшити витрати на технічне обслуговування та збільшити термін експлуатації освітлювального обладнання.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

2.7.2 Встановлення датчиків руху в місцях загального користування

Суттєву частку нераціонального споживання електроенергії в будівлі школи формує людський фактор – освітлення в санвузлах, роздягальнях та коридорах часто залишається увімкненим навіть за відсутності людей. Для усунення цієї проблеми доцільно впровадити систему автоматичного керування освітленням на основі датчиків руху.

У межах даного заходу передбачається встановлення інфрачервоних датчиків руху моделі DELUX ST10A 180° (рис.2.12), які забезпечують автоматичне вмикання освітлення при появі людини в зоні контролю та його вимикання через заданий проміжок часу після припинення руху [23].



Рисунок 2.12 – Датчик руху DELUX ST10A 180° білий

Для об'єкта приймаємо встановлення 20 датчиків у зонах з нерегулярним перебуванням людей.

До впровадження заходу освітлення в цих приміщеннях працює в середньому близько 10 годин на добу, навіть при фактичній відсутності користувачів. Після встановлення датчиків фактичний час роботи світильників скорочується приблизно до 6 годин на добу.

Розрахуємо економію електроенергії.

Сумарна потужність освітлення в зазначених приміщеннях приймається на рівні 5 кВт.

Річне споживання до впровадження:

$$W1 = 5 \cdot 10 \cdot 260 = 13\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Річне споживання після впровадження:

$$W_2 = 5 \cdot 6 \cdot 260 = 7\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W = 13\,000 - 7\,800 = 5\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Грошова економія при тарифі 6,91 грн/кВт·год:

$$\Delta E = 5\,200 \cdot 6,91 = 35\,932 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Витрати на впровадження, при ціні одного датчика 293 грн:

$$E_{\text{інв}} = 20 \cdot 293 = 5860 \text{ грн.}$$

Знайдемо термін окупності:

$$T = \frac{5\,860}{35\,932} = 0,17 \text{ року} = 2 \text{ місяці.}$$

Отриманий результат свідчить, що впровадження автоматичного керування освітленням є надзвичайно ефективним заходом з точки зору економії електроенергії. Термін окупності становить менше одного року, що робить даний захід одним із пріоритетних для реалізації.

2.7.3 Модернізація кухонного обладнання шляхом заміни електроплит на індукційні

Аналіз електроспоживання показав, що значна частка навантаження припадає на кухонне обладнання, зокрема електроплити, які працюють упродовж усього навчального дня. Існуючі плити належать до застарілого типу з ТЕН-нагрівом, що характеризується низьким коефіцієнтом корисної дії та значними втратами теплової енергії в навколишнє середовище.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

З метою підвищення енергоефективності пропонується заміна існуючих плит на сучасні індукційні. У якості базової моделі приймається професійна індукційна плита Abat КИП-47Н, яка використовується в закладах громадського харчування та відповідає необхідним експлуатаційним характеристикам [24].

Основною перевагою індукційної технології є безпосередній нагрів посуду без проміжного нагріву конфорки, що забезпечує ККД на рівні 90–95% (у порівнянні з 58–66% для традиційних електроплит). Це дозволяє суттєво зменшити споживання електроенергії.

Кількість плит до заміни підлягає 2 одиниці. Встановлена потужність однієї плити становить 12 кВт, коефіцієнт попиту – 0,65, середня тривалість роботи – 6 год/добу.

Знайдемо розрахункову потужність плит до модернізації:

$$P_1 = 24 \cdot 0,65 = 15,6 \text{ кВт.}$$

Знайдемо різне споживання, використовуючи знайдене P_1 :

$$W_1 = 15,6 \cdot 6 \cdot 260 = 24\,336 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

З урахуванням підвищення ефективності приймаємо зниження споживання на 30%:

$$W_2 = 0,7 \cdot 24\,336 = 17\,035 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Проаналізуємо економію електроенергії:

$$\Delta W = 24\,336 - 17\,035 = 7\,301 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Грошова економія (тариф 6,91 грн/кВт·год):

$$\Delta E = 7\,301 \cdot 6,91 = 50\,449 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Пошук витрат на впровадження.

Середня вартість однієї індукційної плити становить 114 000 грн, тоді загальні інвестиції:

$$E_{\text{інв}} = 2 \cdot 114\,000 = 228\,000 \text{ грн.}$$

Знайдемо термін окупності:

$$T = \frac{228\,000}{50\,449} = 4,5 \text{ року.}$$

Модернізація кухонного обладнання забезпечує стабільне зниження споживання електроенергії, однак має довший термін окупності у порівнянні з заходами, пов'язаними з освітленням. Незважаючи на це, впровадження індукційних плит є доцільним з точки зору довгострокової експлуатації.

2.7.4 Встановлення частотного регулювання вентиляційного обладнання

Система вентиляції будівлі функціонує у спрощеному режимі без можливості регулювання продуктивності вентиляторів. Наявні припливні установки працюють з постійною швидкістю незалежно від фактичного навантаження, що призводить до перевитрат електроенергії, особливо в періоди часткового завантаження кухні.

Підвищення ефективності роботи вентиляційної системи може супроводжуватись шляхом встановлення частотних перетворювачів, які дозволяють плавно змінювати швидкість обертання електродвигунів вентиляторів залежно від потреби.

У якості технічного рішення приймається використання частотного перетворювача Schneider Electric Altivar 12 ATV12HU22M2 [25], який забезпечує регулювання потужності двигуна в широкому діапазоні та адаптований до систем вентиляції.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		49

Номінальні параметри вентиляційної системи:

- кількість вентиляторів – 2 шт.;
- потужність одного вентилятора – 2 кВт;
- коефіцієнт попиту – 0,7;
- розрахункова потужність:

$$P = 2 \cdot 2 \cdot 0,7 = 2,8 \text{ кВт.}$$

Режим роботи становить 6 год/добу. Знайдемо річне споживання до впровадження заходу з модернізації:

$$W_1 = 2,8 \cdot 6 \cdot 260 = 4368 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

З урахуванням регулювання швидкості вентиляторів очікується зниження споживання електроенергії на 25%, що є типовим показником для вентиляційних систем.

Річне споживання після впровадження:

$$W_2 = 0,75 \cdot 4368 = 3276 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Економія електроенергії:

$$\Delta W = 4368 - 3276 = 1092 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Грошова економія (при тарифі 6,91 грн/кВт·год):

$$\Delta E = 1092 \cdot 6,91 = 7545,7 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Вартість одного частотного перетворювача сягає 9000 грн. Загальні витрати на проєкт:

$$E_{\text{інв}} = 2 \cdot 9000 = 18000 \text{ грн.}$$

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Знайдемо термін окупності:

$$T = \frac{18000}{7545,7} = 2,4 \text{ року.}$$

Встановлення частотного регулювання вентиляційного обладнання дозволяє оптимізувати роботу системи відповідно до реального навантаження та зменшити непродуктивні витрати електроенергії. Незважаючи на відносно невеликий річний економічний ефект, захід має важливе значення для підвищення загальної енергоефективності будівлі та забезпечення більш гнучкого керування інженерними системами.

2.7.5 Встановлення реле контролю напруги

Ще одним важливим напрямком підвищення надійності електропостачання є впровадження пристроїв автоматичного контролю параметрів напруги. Для будівлі школи, яка живиться від зовнішніх мереж і має значну кількість електроспоживаючого обладнання (кухонні агрегати, освітлення, вентиляція), характерними є коливання напруги, особливо у години пікових навантажень.

З метою захисту електрообладнання пропонується встановлення трифазного реле контролю напруги ZUBR D63t [26]. Даний пристрій забезпечує автоматичне відключення електроживлення у випадках зниження напруги нижче допустимого рівня, перевищення допустимого значення напруги та перекосу фаз у трифазній мережі.

Номінальний струм реле становить 63 А, що дозволяє використовувати його на вводі будівлі або для окремих груп навантаження. Діапазон регулювання напруги – 120–280 В, час спрацювання – до 0,02 с.

Встановлення такого пристрою не призводить до прямої економії електричної енергії, однак має суттєвий опосередкований ефект, який полягає

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

у запобіганні виходу з ладу електроприладів та зменшенні витрат на ремонт та заміну обладнання.

Висновок до 2 розділу

Проведене дослідження системи електропостачання будівлі школи дозволяє сформулювати комплексну оцінку її технічного стану та рівня енергоефективності. Встановлено, що електропостачання організоване за класичною радіальною схемою від мереж оператора розподілу – АТ «Херсонобленерго» через трансформаторну підстанцію типу КТП-10/0,4 кВ. Така схема є простою та економічно виправданою, однак характеризується обмеженою надійністю через відсутність резервного живлення.

Результати розрахунку електричних навантажень показали, що сумарна повна потужність будівлі становить 133,86 кВА, а розрахунковий струм – 193,2 А. Ввідний кабель АВВГ 4×95 працює з допустимим запасом по струму, що свідчить про відповідність його параметрів фактичним умовам експлуатації та відсутність ризику перевантаження.

Аналіз структури електроспоживання виявив суттєву нерівномірність розподілу навантажень. Домінуючу частку займає система освітлення (понад 70%), що обумовлено великою кількістю світильників та використанням застарілих джерел світла. Другим за рівнем споживання є кухонне обладнання, яке характеризується значною встановленою потужністю та інтенсивним режимом роботи. Інші системи (вентиляція, гаряче водопостачання, кондиціонування) формують меншу, але стабільну частку електроспоживання.

Окрему увагу приділено оцінці системи освітлення спортивної зали. Розрахунок показав, що фактичний рівень освітленості (109 лк) суттєво нижчий за нормативний (200 лк відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018), що вказує не лише на енергетичну, а й на функціональну неефективність існуючої системи.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

З ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Аналітичне опрацювання нормативної документації, що регламентує забезпечення енергоефективності у закладах загальної середньої освіти

Енергетична ефективність закладів загальної середньої освіти (ЗОШ) в Україні регулюється комплексом нормативно-правових актів, державних будівельних норм, стандартів та підзаконних документів. Вони визначають вимоги до проєктування, будівництва, реконструкції та експлуатації шкільних будівель з метою зменшення енергоспоживання та підвищення комфорту навчального середовища.

Ключовим документом у цій сфері є Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [27], прийнятий на заміну [28], який встановлює обов'язковість сертифікації енергетичної ефективності будівель, вимоги до мінімальних енергетичних показників та запроваджує систему енергетичного аудиту.

Суттєве значення має Закон України «Про альтернативні джерела енергії», який створює правові основи для використання сонячної, вітрової та інших відновлюваних джерел енергії в будівлях соціальної інфраструктури, у тому числі в школах.

Проєктування та реконструкція шкільних будівель регламентується системою державних будівельних норм, зокрема:

– ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», який встановлює вимоги до теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій [1];

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Король Л.О.			Визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та заходів з її підвищення	Літ.	Арк.54	Акрушів
Перевір.		Шовкалюк М.М.						
Реценз.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затверд.								

- ДБН В.2.2-3:2018 «Заклади освіти», що визначає архітектурно-планувальні та інженерні вимоги до шкільних будівель, включаючи енергоефективні рішення [29];
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», який регламентує проектування інженерних систем з урахуванням енергозбереження [30];
- ДБН В.1.2-11-2021 «Енергозбереження та енергоефективність», що встановлює загальні принципи енергоефективного проектування [31].

У сфері технічного регулювання також застосовуються національні стандарти, гармонізовані з європейськими, зокрема:

- ДСТУ Б EN ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту», який визначає вимоги до впровадження систем управління енергоспоживанням [32];
- стандарти серії ISO 13790, що регламентують методи розрахунку енергоспоживання будівель [33];
- ДСТУ ISO 14001, який встановлює вимоги до систем екологічного менеджменту [34].

На рівні державного управління важливу роль відіграють підзаконні акти, зокрема постанови Кабінету Міністрів України щодо впровадження системи енергетичного менеджменту в бюджетних установах. Вони передбачають обов’язковий моніторинг енергоспоживання, проведення енергетичних аудитів та розроблення програм підвищення енергоефективності.

Окремо слід враховувати європейські нормативні орієнтири, зокрема Директиву 2024/1275 ЄС про енергетичну ефективність будівель (EPBD), яка передбачає поступовий перехід до будівель з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB) [35]. Українське законодавство поступово гармонізується з цими вимогами, що особливо важливо при модернізації шкільної інфраструктури.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Конструктивне рішення зовнішніх стін (рисунок 1.2), а також їхній технічний стан, є одним із ключових чинників, що визначають рівень тепловтрат будівлі. У межах даного дослідження доцільно проаналізувати відповідність приведенного опору теплопередачі цієї огорожувальної конструкції чинним нормативним вимогам. Відомості щодо площі фасадів залежно від їх орієнтації наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані щодо площі фасадних поверхонь

Напрямок сторони світу	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
Площа стіни (м²)	0	1161,39	0	1855,53	0	898,77	0	1719,62

Зовнішня огорожувальна конструкція стіни навчального закладу складається з кількох шарів. Зокрема, основним несучим елементом є кладка із силікатної цегли на цементно-піщаному розчині товщиною $\delta = 0,38$ м із коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,87$ Вт/(м·К) [44]. Внутрішній оздоблювальний шар виконаний із цементно-піщаного розчину товщиною $\delta = 0,02$ м, для якого значення теплопровідності становить $\lambda = 0,93$ Вт/(м·К) [36].

Загальний термічний опір зовнішньої стіни визначається на основі розрахункового співвідношення, що враховує опори теплопередачі всіх шарів конструкції.

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

де λ_i – коефіцієнт теплопровідності відповідного конструктивного шару, Вт/м²·К [36];

δ – товщина конструктивного шару, м;

h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до поверхні стіни, який відповідно до вимог ДСТУ 9191:2022 приймається рівним $8,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [36];

h_{se} – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стіни до навколишнього повітря, що згідно з ДСТУ 9191:2022 становить $23 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [36];

Після визначення всіх необхідних параметрів виконуємо підстановку числових значень у розрахункову формулу для обчислення загального термічного опору конструкції зовнішньої стіни.

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,87} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,62 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни визначається як обернена величина до загального термічного опору конструкції та розраховується за залежністю:

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

$$k_c = \frac{1}{0,62} = 1,6 \frac{\text{Вт} \cdot \text{К}}{\text{м}^2},$$

Нормативне мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін приймається на рівні $R_{q \min} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [1].

Далі виконаємо порівняння отриманого (розрахункового) значення опору теплопередачі з установленим нормативним мінімумом.

$$R_\Sigma = 0,62 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 3,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Отримане значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції не забезпечує досягнення мінімально допустимого нормативного рівня. Це свідчить про недостатні теплозахисні характеристики зовнішніх огорожень

будівлі та необхідність впровадження енергоефективних заходів, спрямованих на підвищення їх термічного опору.

Світлопрозорі конструкції навчального закладу оснащені однокамерними енергоощадними склопакетами типу 4-12-4, де 4 мм – товщина зовнішнього скла, а 12 мм – міжскляний повітряний або газонаповнений проміжок.

Загальна кількість віконних конструкцій у будівлі становить 374 одиниці, серед яких 141 встановлено у дерев'яно-композитних рамах, а 233 – в металопластикових профільних системах.

У таблиці 3.2 наведено основні технічні характеристики світлопрозорих конструкцій будівлі.

Таблиця 3.2 – Технічна документація віконних блоків

Напрямок за стороною світу	Ширина та висота блоку, м		Площа блоку	Кількість віконних блоків	Сумарна площа	Тип матеріалу
	a	b	м²	шт.	м²	(Д, МП)
Пн-Сх	2,05	1,75	3,5875	10	35,875	Д
	1,7	0,4	0,68	9	6,12	Д
	2,05	1,75	3,5875	28	100,45	МП
Пд-Сх	2,05	1,75	3,5875	50	179,375	Д
	1,7	1,7	2,89	10	28,9	Д
	2,05	1,75	3,5875	69	247,5375	МП
	1,7	1,7	2,89	3	8,67	МП
Пд-Зх	2,05	1,75	3,5875	38	136,325	Д
	1,7	1,7	2,89	1	2,89	МП
	2,05	1,75	3,5875	50	179,375	МП
Пн-Зх	2,05	1,75	3,5875	24	86,1	Д
	1,7	1,7	2,89	42	121,38	МП
	2,05	1,75	3,5875	40	143,5	МП
Всього				374	1276,498	

Опір теплопередачі дерев'яних вікон приймається на рівні $R_{В\text{ дер}} = 0,33 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, тоді як для металопластикових конструкцій цей показник становить $R_{В\text{ мп}} = 0,37 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Відповідно, коефіцієнт теплопередачі металопластикових вікон визначається на основі оберненої залежності від опору теплопередачі.

$$k_{В\text{ мп}} = \frac{1}{0,37} = 2,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Аналогічно для дерев'яних вікон:

$$k_{В\text{ дер}} = \frac{1}{0,33} = 3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Мінімально допустимий нормативний рівень опору теплопередачі для віконних конструкцій становить $R_{q\text{ min}} = 0,7 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ [1].

Отже, виконаємо порівняння цього нормативного значення з розрахунковими показниками опору теплопередачі дерев'яних та металопластикових вікон з метою оцінки їх відповідності вимогам енергоефективності.

$$R_{В\text{ дер}} = 0,33 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q\text{ min}} = 0,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{В\text{ мп}} = 0,37 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q\text{ min}} = 0,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Отримане значення мінімально допустимого опору теплопередачі огорожувальних конструкцій не відповідає нормативним вимогам. Це свідчить про недостатній рівень теплозахисних характеристик зовнішніх елементів будівлі та необхідність впровадження енергоефективних заходів, спрямованих на підвищення їх теплотехнічних показників, зокрема шляхом збільшення опору теплопередачі.

Загальна кількість входних дверей у будівлі навчального закладу становить 14 одиниць, із сумарною площею світлопрозорих та глухих дверних конструкцій 38,2 м².

Детальний перелік і основні технічні характеристики зовнішніх дверей наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічна документація зовнішніх дверей

Напрямок за стороною світу	Ширина та висота дверей, м		Площа однієї конструк.	Сумарна кількість	Загальна площа	Тип матеріалу
	a	b	м²	шт.	м²	(Д, МП)
Пн-Сх	0,9	2,1	1,89	1	1,89	Д
Пд-Сх	0,9	2,1	1,89	3	5,67	Д
	1,4	2,1	2,94	1	2,94	МП
Пд-Зх	4,5	2,1	9,45	1	9,45	МП
	0,9	2,1	1,89	1	1,89	Д
Пн-Зх	0,9	2,1	1,89	2	3,78	МП
	1,2	2,1	2,52	5	12,6	Д
Всього				14	38,22	

Всі дверні блоки характеризуються відсутністю утеплювального шару та недостатнім ущільненням притворів, також не передбачено використання дверних доводчиків, що додатково знижує їх енергоефективність.

Термічний опір дерев'яних дверних конструкцій визначається на основі відповідних теплотехнічних характеристик матеріалу та конструктивних шарів:

$$R_{\text{Ддер}} = 0,36 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Аналогічно металопластикових дверей:

$$R_{Д\text{мп}} = 0,49 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі дерев'яних дверних конструкцій визначається як обернена величина до їх термічного опору та характеризує інтенсивність тепловтрат через огорожувальний елемент.

$$k_{Д\text{дер}} = \frac{1}{0,36} = 2,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Аналогічно щодо теплопередачі металопластикових дверей:

$$k_{Д\text{мп}} = \frac{1}{0,49} = 2,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Нормативне мінімально допустиме значення термічного опору дверних конструкцій для II температурної зони становить $R_{q\text{min}} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [1].

Далі виконаємо порівняння цього нормативного показника з розрахунковим значенням термічного опору дверей з метою оцінки їх відповідності вимогам енергоефективності.

$$R_{q\text{min}} = 0,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > R_{Д\text{мп}} = 0,49 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

$$R_{q\text{min}} = 0,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > R_{Д\text{дер}} = 0,36 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Величина мінімально допустимого опору теплопередачі огорожувальних конструкцій не забезпечується, що свідчить про невідповідність теплозахисних властивостей зовнішніх елементів будівлі чинним нормативним вимогам. Такий стан конструкцій потребує впровадження комплексу енергоефективних заходів, спрямованих на підвищення їх термічного опору та зменшення тепловтрат.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		60

Окрему увагу слід приділити конструкції покрівлі школи, оскільки саме через верхні огорожувальні елементи відбувається значна частка втрат теплової енергії. Загальна площа даху будівлі становить 3289,8 м². У межах розрахункового аналізу здійснюється перевірка відповідності опору теплопередачі даної конструкції нормативним вимогам.

Перекриття будівлі школи складається з таких шарів: багатопустотна залізобетонна плита товщиною $\delta = 0,22$ м, $\lambda = 2,04$ Вт/(м·К) [36]; шар вапняно-піщаного розчину товщиною $\delta = 0,04$ м, $\lambda = 0,81$ Вт/(м·К) [36]; шар шлаку товщиною $\delta = 0,25$ м, $\lambda = 0,25$ Вт/(м·К) [36].

Термічний опір покрівлі визначається за розрахунковою формулою, що враховує опори всіх шарів конструкції та коефіцієнти тепловіддачі внутрішнього і зовнішнього середовища.

$$R_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{h_{se}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{si}}; \quad (3.3)$$

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до поверхні огорожувальної конструкції, відповідно до вимог ДСТУ 9191:2022 дорівнює $8,7 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ [36];

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні перекриття до навколишнього повітря, відповідно до вимог ДСТУ 9191:2022 і дорівнює $6 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ [36];

$$R_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,04}{0,81} + \frac{0,25}{0,25} + \frac{1}{6} = 1,44 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Знайдемо обернено коефіцієнт теплопередачі:

$$k_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{R_{\text{Покрівлі}}}; \quad (3.4)$$

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$k_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{1,44} = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}.$$

Мінімально допустиме нормативне значення опору теплопередачі для перекриттів над неопалюваними приміщеннями становить $R_{q \min} = 5,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, відповідно до табл. 1 ДБН В.2.6-31:2021 [1].

Виконаємо порівняння розрахункового значення опору теплопередачі перекриття з нормативно встановленим мінімумом для оцінювання відповідності конструкції вимогам енергоефективності.

$$R_{\text{Покрівлі}} = 1,44 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 5,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Величина мінімально допустимого опору теплопередачі огорожувальної конструкції не забезпечується, що вказує на недостатній рівень теплозахисних властивостей та необхідність реалізації енергоефективних заходів, спрямованих на підвищення термічного опору огорожень будівлі.

Оскільки підвальне приміщення будівлі школи є неопалюваним, у подальших розрахунках тепловтрати визначаються через перекриття першого поверху (підлогу над підвалом). Загальна площа підлоги становить $3871,7 \text{ м}^2$.

Конструкція підлоги включає такі шари: залізобетонна багатопустотна плита перекриття товщиною $\delta = 0,22 \text{ м}$, $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [36], розчин складний (цемент, вапно, пісок) товщиною $\delta = 0,04 \text{ м}$, $\lambda = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [36] та дерев'яна підлога сосни вздовж волокон товщиною $\delta = 0,03 \text{ м}$, $\lambda = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [36].

Розрахунок термічного опору підлоги над неопалюваним підвалом виконується за формулою (3.1), при цьому застосовуються скориговані коефіцієнти тепловіддачі: внутрішній $h_{si} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ та умовний зовнішній $h_{se} = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [36].

Після підстановки всіх вихідних даних визначається сумарний термічний опір конструкції підлоги над неопалюваним підвальним приміщенням.

$$R_{\text{Підлоги 1}} = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{0,03}{0,35} + \frac{1}{6} = 0,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Оберненим рівнянням знайдемо теплопередачі перекриття:

$$k_{\text{Підлоги 1}} = \frac{1}{0,5} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}.$$

Мінімально допустиме нормативне значення приведенного опору теплопередачі для перекриттів над неопалюваними або технічними приміщеннями встановлюється на рівні $R_{q \min} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [1].

Виконаємо порівняння отриманого розрахункового значення опору теплопередачі конструкції з нормативним мінімумом для оцінювання її відповідності вимогам енергоефективності.

$$R_{\text{Підлоги 1}} = 0,42 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Отримане розрахункове значення термічного опору є істотно нижчим за нормативно встановлений рівень, що свідчить про недостатню теплоізоляційну ефективність перекриття над неопалюваним підвальним приміщенням відповідно до вимог чинних будівельних норм. Унаслідок цього в опалювальний період фіксуються підвищені тепловтрати через нижню частину будівлі, що негативно впливає на загальний енергетичний баланс об'єкта.

Кількість втрат теплової енергії через огорожувальні конструкції визначається за відповідною розрахунковою залежністю [37]:

$$Q_i = Fk(t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}})(1 + \sum \beta)bu, \quad (3.5)$$

де F – площа відповідної огорожувальної конструкції [37];

k – коефіцієнт теплопередачі елемента будівлі;

$t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря приміщення, для будівель закладів освіти приймається 21 °С [37];

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, яка для I температурної зони (м. Херсон) становить –19 °С;

$\sum \beta$ – сукупність додаткових втрат теплоти, виражених у відсотках від основних теплових втрат [37];

$b_{\text{в}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує зміну температурного перепаду залежно від розташування огорожувальної конструкції відносно зовнішнього середовища.

Отримані значення тепловтрат для огорожувальних конструкцій систематизовано та подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Тепловтрати для різних конструкцій ЗОШ

Найменування огороження	Орієнтація	Площа, м ²	Термічний опір, R ₀	Коеф. Тепл-пер., $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{°C})}$	$b_{\text{в}}$	1 + $\sum \beta$	Тепловтрати, Q _{огр} , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
Стіни	Пн-Сх	1161,4	0,62	1,61	1	1,1	388 141,1
	Пд-Сх	1855,5				1,05	
	Пд-Зх	898,77				1	
	Пн-Зх	1719,6				1,1	
Вікна Пластикові	Пн-Сх	100,45	0,37	2,7	1	1,1	92 232,81
	Пд-Сх	256,21				1,05	
	Пд-Зх	182,27				1	
	Пн-Зх	264,88				1,1	
Вікна дерев'яні	Пн-Сх	42	0,33	3,03	1	1,1	60 113,21
	Пд-Сх	208,28				1,05	
	Пд-Зх	136,33				1	
	Пн-Зх	86,1				1,1	

Продовження таблиці 3.4

Двері дерев'яні	Пн-Сх	1,89	0,36	2,78	1	1,1	2 642,5
	Пд-Сх	5,67				1,05	
	Пд-Зх	1,89				1	
	Пн-Зх	12,6				1,1	
Двері Метало пластикові	Пд-Сх	2,94	0,49	2,04	1	1,05	1 362,8
	Пд-Зх	9,45				1	
	Пн-Зх	3,78				1,1	
Підлога		3 871,7	0,5	2	0,3	1	92 921
Перекрыття		3 289,8	1,44	0,69	0,9	1	82 245
Всього							737 357

Додатково слід відзначити, що значна частина теплової енергії в навчальних закладах втрачається внаслідок повітрообміну через природну вентиляцію приміщень. У зв'язку з цим виконаємо розрахунок тепловтрат, пов'язаних із природною інфільтрацією повітря. Для цього використаємо відповідну розрахункову залежність [37]:

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot n_{\text{об}} \cdot V \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}), \quad (3.6)$$

де, $n_{\text{об}}$ – кратність повітрообміну в приміщеннях будівлі, для розрахунку приймається $n_{\text{об}} = 0,7 \text{ год}^{-1}$ [37];

V – об'єм кондиціонованих кімнат школи.

Підставимо значення:

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot 0,7 \cdot 33393,06 \cdot (21 - (-19)) = 315\,097 \text{ Вт.}$$

Далі виконаємо підстановку вихідних даних у формулу (3.7) для визначення величини тепловтрат через природну вентиляцію:

$$Q_{\text{СУМ}} = Q_{\text{Заг}} + Q_{\text{інф}}, \quad (3.7)$$

Знайдемо загальні тепловтрати:

$$Q_{\text{СУМ}} = 737\,357 + 315\,097 = 1\,052\,454 \text{ Вт} = 1\,052 \text{ кВт.}$$

3.3 Аналітичне визначення основних складових теплового балансу будівлі

Сумарні річні теплові втрати будівлі на момент проведення енергетичного аудиту становили 737 357 Вт. У таблиці 3.5 наведено структуру розподілу теплових втрат між основними огорожувальними конструкціями та системами будівлі.

Таблиця 3.5 – Структура розподілу теплових втрат

Огородження	Q, Вт
Стіни	388 141
Вікна	152 346
Підлога	92 921
Двері	4 005
Перекриття	82 245

Для наочного представлення структури теплових втрат будівлі виконаємо їх графічну візуалізацію на рисунку 3.1.

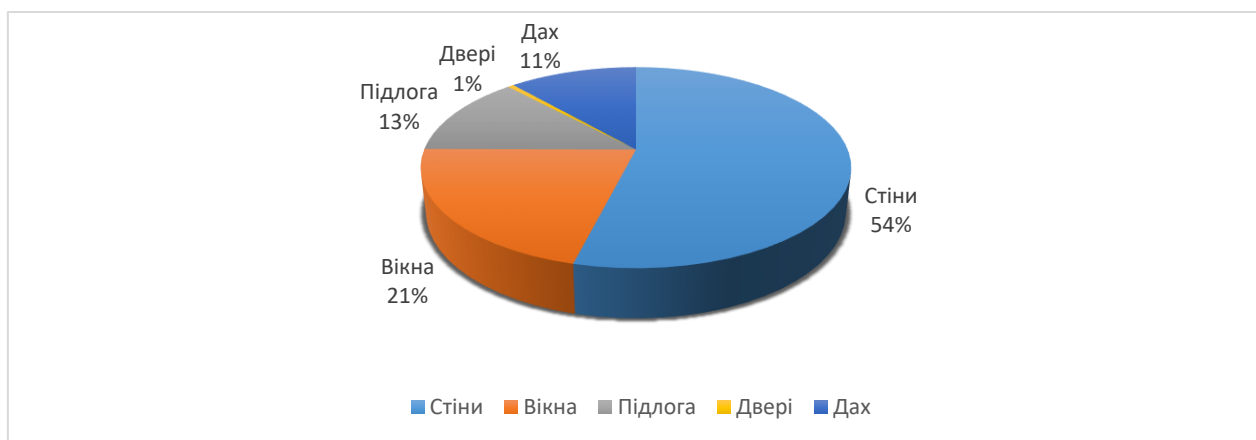


Рисунок 3.1 – Теплові втрати через огорожувальні констркції школи

Аналіз структури тепловтрат, наведених на круговій діаграмі, свідчить про нерівномірний розподіл втрат теплової енергії між огорожувальними конструкціями будівлі школи. Найбільша частка тепловтрат припадає на зовнішні стіни – 388 141 Вт, що вказує на недостатній рівень їх теплозахисних характеристик та значну потребу в додатковому утепленні фасадів.

Суттєві втрати теплової енергії також спостерігаються через віконні конструкції, які становлять 152 346 Вт. Це може бути пов'язано з низьким опором теплопередачі віконних блоків, наявністю застарілих конструкцій, а також недостатньою герметичністю стиків і рам.

Втрати теплоти через підлогу складають 92 921 Вт, що свідчить про недостатню теплоізоляцію перекриття над неопалюваним підвальним приміщенням. Через відсутність ефективного утеплення нижньої частини будівлі відбувається значне охолодження приміщень першого поверху.

Тепловтрати через дах становлять 82 245 Вт. Незважаючи на меншу частку у загальному балансі втрат, покрівля також потребує підвищення рівня теплоізоляції, оскільки через верхні огорожувальні конструкції відбувається постійний відтік теплого повітря.

Найменші тепловтрати спостерігаються через дверні конструкції – 4 005 Вт, однак навіть цей показник свідчить про необхідність удосконалення ущільнення та утеплення вхідних дверей.

3.4 Розроблення енергоефективних заходів для огорожувальних конструкцій будівлі школи

3.4.1 Утеплення фасаду школи мінераловатними плитами

Результати проведених теплотехнічних розрахунків показали, що існуюче значення термічного опору зовнішніх стін не відповідає чинним нормативним вимогам. Недостатній рівень теплоізоляційних властивостей

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

фасадних конструкцій призводить до значних тепловтрат та зниження загальної енергоефективності будівлі школи.

З метою підвищення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій пропонується виконати зовнішнє утеплення фасадів мінераловатними плитами на основі базальтового волокна. Як теплоізоляційний матеріал передбачається використання плит товщиною 0,15 м із середньою густиною 125 кг/м³ [38].

Застосування даного теплоізоляційного матеріалу дозволить суттєво підвищити опір теплопередачі зовнішніх стін, зменшити втрати теплової енергії через фасадні конструкції, покращити мікроклімат у приміщеннях та знизити витрати на опалення будівлі.

Схематичне зображення запропонованого заходу з утеплення зовнішніх стін наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Утеплення стін мінераловатними плитами

Після впровадження даного заходу термічний опір фасаду школи зміниться та буде наступним:

$$R_{\text{Фасаду}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,87} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,15}{0,049} + \frac{1}{23} = 3,68 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Зміниться також і коефіцієнт теплопередачі стіни:

$$k_{\text{Фасаду}} = \frac{1}{3,68} = 0,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Для оцінки ефективності запропонованого заходу з утеплення зовнішніх стін визначимо річну економію теплової енергії [37], використовуючи відповідну розрахункову залежність:

$$\Delta Q_{\text{Фасаду}} = \sum \left(\left(\frac{1}{R_{\text{зс}}} - \frac{1}{R_{\text{ут.зс}}} \right) \cdot F_{\text{зс}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{р.о.}}) \right) \cdot b_{\text{и}} (1 + \Sigma \beta) \quad (3.8)$$

де $t_{\text{р.о}}$ – середня розрахункова температура зовнішнього повітря за опалювальний період, для м. Херсон приймається -19°C [45];

$t_{\text{в}}$ – нормативна температура внутрішнього повітря в приміщеннях будівлі, що становить 21°C [37];

$F_{\text{зс}}$ – загальна площа зовнішніх стін, м^2 .

Після підстановки вихідних параметрів у формулу (3.8) визначимо величину річної економії теплової енергії внаслідок утеплення зовнішніх стін.

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{Фасаду}} &= \left(\frac{1}{0,62} - \frac{1}{3,68} \right) \cdot 40 \\ &\cdot (1161,4 \cdot 1,1 + 1855,5 \cdot 1,05 + 898,8 \cdot 1 + 1719,6 \cdot 1,1) \\ &= 322\,747 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Розрахунок обсягу річного скорочення витрат теплової енергії, що забезпечується завдяки термомодернізації (утепленню) зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі, виконується відповідно до наведеної нижче формули [37]:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{сум.}} = (\Delta Q) \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}, \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунки за формулою (3.9), зауваживши, що подача опалення в школи починається при -10°C :

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{Фасаду.ут}} = (322\,747) \cdot \frac{21 - (2,2)}{21 - (-19)} \cdot 181 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 566,6 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Визначимо річний економічний ефект у вигляді зменшення витрат на енергоресурси:

$$W = \Delta Q \cdot R_{\text{т}}, \quad (3.10)$$

де $R_{\text{т}}$ – тариф на теплову енергію, який становить 3 631,59 , грн/Гкал

Підставимо наведене значення у відповідну розрахункову формулу:

$$W = 566,6 \cdot 3\,632 = 2\,057\,891 \text{ грн/рік}$$

Наразі вартість утеплення 1 м² фасаду разом із монтажними роботами становить 2 484 грн. Відповідно, простий термін окупності заходу з утеплення покрівлі визначається за такою залежністю:

$$T_{\text{Фасаду}} = \frac{5635,3 \cdot 2484}{2\,057\,891} = 6,8 \text{ років.}$$

Строк окупності заходів з утеплення фасаду є коротким, що свідчить про високу економічну ефективність інвестицій у даний енергоефективний захід.

3.4.2 Модернізація перекриття мінераловатними плитами

Рівень теплоізоляції горищного перекриття не відповідає чинним нормативним вимогам. У зв'язку з цим рекомендується виконати його додаткове утеплення із застосуванням мінераловатного теплоізоляційного матеріалу. Конструктивне рішення утеплення наведено на рисунку 3.3.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

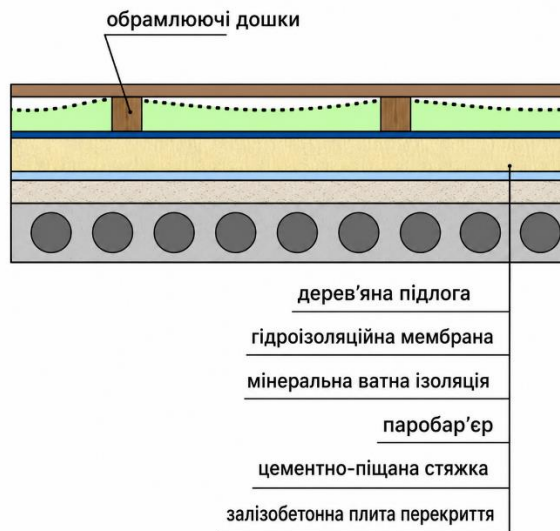


Рисунок 3.3 – Шар укладання мінеральної вати

Пропонується виконати утеплення перекриття із застосуванням мінеральної вати густиною 125 кг/м^3 та товщиною $0,2 \text{ м}$ [38]. Далі визначимо річну економію від впровадження даного проєктного рішення.

Термічний опір перекриття після проведення енергомодернізації будівлі розраховується за формулою (3.3):

$$R_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,04}{0,81} + \frac{0,25}{0,25} + \frac{0,2}{0,049} + \frac{1}{6} = 5,52 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається відповідно до залежності, наведеної у формулі (3.2):

$$k_{\text{Покрівлі}} = \frac{1}{5,52} = 0,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Для оцінювання річного обсягу економії енергетичних ресурсів здійснимо розрахунок зниження теплових втрат через перекриття після реалізації заходів з його утеплення, застосовуючи формулу (3.8):

$$\Delta Q_{\text{Покрівлі}} = \left(\frac{1}{1,44} - \frac{1}{5,52} \right) \cdot 40 \cdot 3289,8 \cdot 0,9 = 60\,789,8 \text{ Вт.}$$

Річний обсяг економії теплової енергії [37], що досягається внаслідок виконання утеплення покрівлі школи, визначається згідно з формулою (3.9):

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{Покрівлі.ут}} = (60\,789,8) \cdot \frac{21 - (2,2)}{21 - (-19)} \cdot 181 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 106,7 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річний економічний ефект у вигляді зменшення витрат, отриманий внаслідок виконання заходів з утеплення даху, визначається за формулою (3.10):

$$\Delta W_{\text{Покрівлі}} = 106,7 \cdot 3\,632 = 384\,266 \text{ грн.}$$

Прийmemo, що вартість утеплення 1 м² даху становить 1 300 грн. Відповідно, простий термін окупності заходу з утеплення покрівлі визначається таким чином:

$$T_{\text{Покрівлі}} = \frac{3289,8 \cdot 1300}{384\,266} = 11,1 \text{ років.}$$

Отриманий простий термін окупності заходу з утеплення даху становить 11,1 роки, що свідчить про відносно тривалий період повернення інвестицій.

Такий результат означає, що економічний ефект від зменшення витрат на теплову енергію накопичується поступово, і початкові капітальні вкладення відшкодовуються лише в довгостроковій перспективі. З точки зору енергоефективності захід є доцільним, оскільки забезпечує зниження тепловтрат та підвищення енергетичної стійкості будівлі, однак з фінансової позиції його привабливість є помірною.

4.4.3 Заміна всіх вікон школи на енергоефективні

У будівлі ЗОШ наявні 141 віконна конструкція в дерев'яних рамах та 233 - у металопластикових рамах. Вказані конструкції характеризуються недостатнім рівнем теплозахисних властивостей, оскільки їхній опір

теплопередачі є відносно низьким і становить: $R_{В\text{ дер}} = 0,33 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ та $R_{В\text{ мп}} = 0,37 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

З метою підвищення енергоефективності будівлі пропонується здійснити повну заміну на сучасні віконні конструкції типу Rehau, а саме двокамерні металопластикові склопакети з покращеним опором теплопередачі $R_{В\text{ нов}} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ [37].

На рисунку 3.4 представлено рекомендований тип віконної конструкції, що пропонується до встановлення.

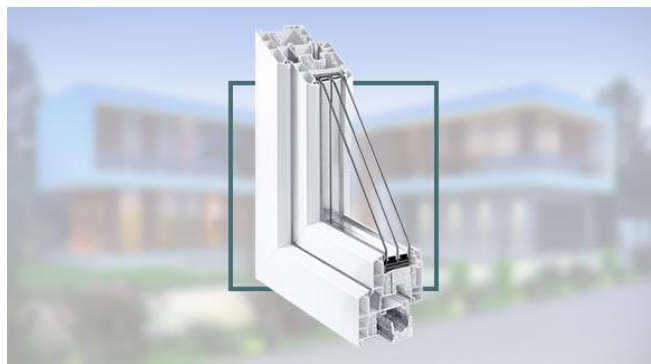


Рисунок 3.4 – Модель вікна Rehau в розрізі

Виконаємо розрахунок тепловтрат через зазначені віконні конструкції [37] після реалізації запропонованого заходу з їх заміни:

$$Q_{В.існ} = K_{існ} \cdot F_{В} \cdot \Delta t = \frac{1}{R_{В.існ}} \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{зовн}) \quad (3.11)$$

Підставимо значення до формули (3.11):

$$Q_{В.д.існ} = \frac{1}{0,33} \cdot 472,71 \cdot (21 - (-19)) = 57\,298 \text{ Вт.}$$

$$Q_{В.м.існ} = \frac{1}{0,37} \cdot 803,81 \cdot (21 - (-19)) = 86\,898,4 \text{ Вт.}$$

Використовуючи наведену нижче формулу, визначимо величину тепловтрат через світлопрозорі конструкції (вікна) після реалізації заходів з термомодернізації [37].

$$Q_{B.нов} = K_{нов} \cdot F_B \cdot \Delta t = \frac{1}{R_{B.нов}} \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{зовн}) \quad (3.12)$$

Підставимо відповідні вихідні дані у формулу та визначимо шукане значення:

$$Q_{B.д.нов} = \frac{1}{0,94} \cdot 472,71 \cdot (21 - (-19)) = 20\,115 \text{ Вт.}$$

$$Q_{B.м.нов} = \frac{1}{0,94} \cdot 803,81 \cdot (21 - (-19)) = 34\,204 \text{ Вт.}$$

Як видно з результатів розрахунку, тепловтрати через світлопрозорі конструкції суттєво зменшилися.

Далі визначимо річну економію теплової енергії, що досягається внаслідок впровадження заходу з термомодернізації та підвищення опору теплопередачі віконних конструкцій [37]:

$$Q_{Вік нов} = ((57\,298 - 20\,115) + (86\,898,4 - 34\,204)) \cdot \frac{(21 - (2,2))}{(21 - (-19))} \cdot 181 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 158 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річне скорочення споживання теплової енергії за рахунок зменшення інфільтрації з 0,7 до 0,6 [39] (неорганізований природний повітрообмін) за формулою (3.6) буде наступне:

$$Q_{інф. нов.} = (0,7 - 0,6) \cdot 33393,06 \cdot 1,293 \cdot 1005(21 - (2,2))181 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{3600 \cdot 1,163} = 84,6 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Визначимо сумарне скорочення витрат теплової енергії після реалізації заходу із заміни віконних конструкцій:

$$\Delta Q_{рік}^{Н.В.} = Q_{Вік нов} + Q_{інф}, \quad (3.13)$$

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Підставивши величини до формули (3.13) маємо:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{Нов.Вік.}} = 158 + 84,6 = 242,6 \text{ Гкал.}$$

Визначимо річний економічний ефект у грошовому вираженні, тобто щорічну економію витрат на енергоресурси, використовуючи наведену нижче формулу:

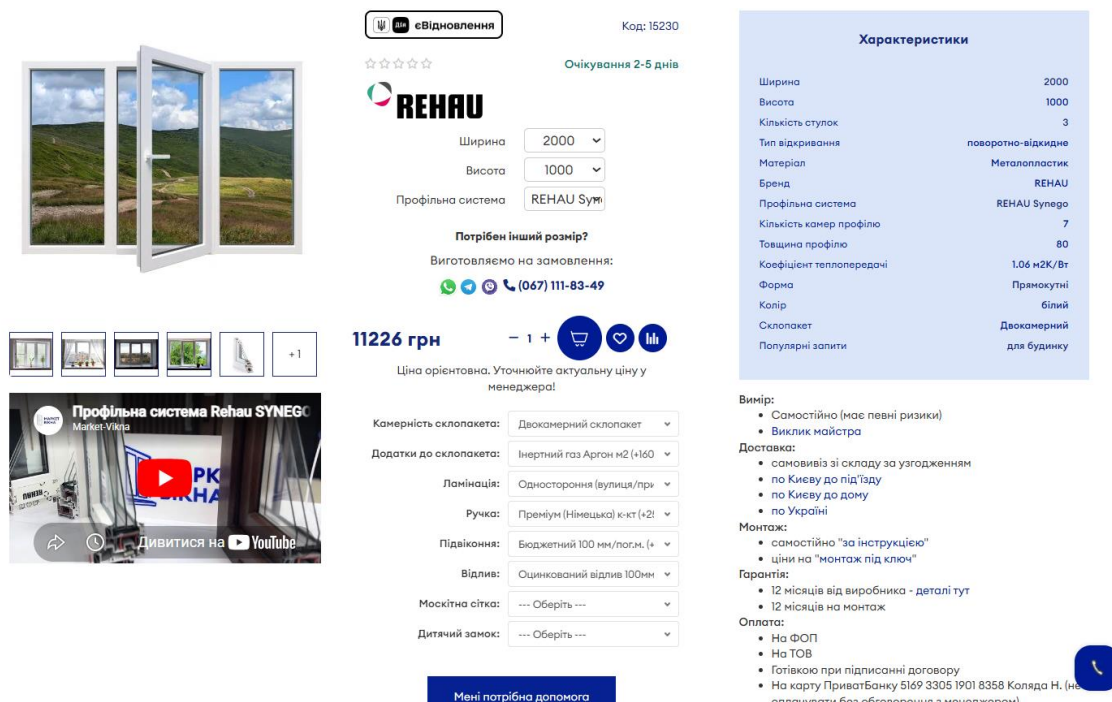
$$W = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{Нов.Вік.}} \cdot R_{\text{т}}, \quad (3.14)$$

де $R_{\text{т}}$ – тариф на теплоенергію, грн/Гкал.

Підставимо значення до формули (3.14):

$$E = 242,6 \cdot 3\,632 = 881\,123 \text{ грн/рік.}$$

Виконаємо розрахунок економічної доцільності заходу з заміни віконних конструкцій на рисунку 3.5.



The screenshot displays the REHAU website interface for configuring window profiles. On the left, there's a visual representation of a window. The main section shows configuration options: Width (2000), Height (1000), and Profile System (REHAU Sygne). Below these, there's a price tag of 11226 грн and a note about the price being approximate. To the right, a table lists the characteristics of the selected profile system.

Характеристики	
Ширина	2000
Висота	1000
Кількість ступок	3
Тип відкривання	поворотно-відкидне
Матеріал	Металопластик
Бренд	REHAU
Профільна система	REHAU Sygne
Кількість камер профілю	7
Товщина профілю	80
Коефіцієнт теплопередачі	1,06 м2К/Вт
Форма	Прямокутні
Колір	білий
Склопакет	Двокамерний
Популярні запити	для будинку

Below the table, there are sections for 'Вимір' (Measurement), 'Доставка' (Delivery), 'Монтаж' (Installation), 'Гарантія' (Warranty), and 'Оплата' (Payment), each with specific details and links.

Рисунок 3.5 – Ціноутворення віконних конструкцій

Після аналізу технічних характеристик та вартості пропонованих світлопрозорих конструкцій визначимо їх вартісні параметри.

Ціна за 1 м² таких вікон без урахування монтажу становить 4 413 грн/м². Вартість монтажних робіт не враховуємо, оскільки заклад має своїх майстрів. Таким чином, сумарна вартість встановлення 1 м² віконної конструкції становитиме 4 413 грн/м².

Далі наведено розрахунки економічної ефективності заходу (табл. 3.6 – 3.7) на основі зазначених вихідних даних.

Таблиця 3.6 – Основні дані заходу

Часовий горизонт реалізації проєкту, років	Загальні витрати, тис.грн	Щорічні витрати на обслуговування, тис.грн	Щорічна економія від заходу, тис.грн	Ставка дисконту, %
25	5630	0	881	14,5

Таблиця 3.7 – Обчислення ключових економічних індикаторів

	Загальні витрати, тис.грн	Щоріч. витрати, тис.грн	Економ. щорічна, тис.грн	Грошовий потік, тис. грн	Кумул. грошовий потік, тис.грн	Коеф. дисконту	Дискон. грошовий потік, тис.грн	Дискон. кумулянт. грошовий потік, тис. грн
0	5630	0	0	-5630	-5630	1	-5630,00	-5630,00
1		0	881	881	-4749	0,873	769,43	-4860,57
2		0	881	881	-3868	0,763	671,99	-4188,57
3		0	881	881	-2987	0,666	586,89	-3601,68
4		0	881	881	-2106	0,582	512,57	-3089,11
5		0	881	881	-1225	0,508	447,66	-2641,45
6		0	881	881	-344	0,444	390,97	-2250,48
7		0	881	881	537	0,388	341,46	-1909,02
8		0	881	881	1418	0,338	298,22	-1610,81
9		0	881	881	2299	0,296	260,45	-1350,35
10		0	881	881	3180	0,258	227,47	-1122,89

Продовження таблиці 3.7

11		0	881	881	4061	0,225	198,66	-924,22
12		0	881	881	4942	0,197	173,50	-750,72
13		0	881	881	5823	0,172	151,53	-599,19
14		0	881	881	6704	0,150	132,34	-466,84
15		0	881	881	7585	0,131	115,58	-351,26
16		0	881	881	8466	0,115	100,95	-250,32
17		0	881	881	9347	0,100	88,16	-162,15
18		0	881	881	10228	0,087	77,00	-85,16
19		0	881	881	11109	0,076	67,25	-17,91
20		0	881	881	11990	0,067	58,73	40,82
21		0	881	881	12871	0,058	51,29	92,12
22		0	881	881	13752	0,051	44,80	136,91
23		0	881	881	14633	0,044	39,12	176,04
24		0	881	881	15514	0,039	34,17	210,21
25		0	881	881	16395	0,034	29,84	240,05

Після проведеного аналізу маємо, що простий термін окупності становить 6 років та 5 місяці, а чиста приведена вартість проєкту 240 тис. грн.

Проаналізуємо внутрішню норму рентабельності (IRR) в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Пошук IRR

Норма рентабельності					
	Грошовий потік, тис. грн	i = 14,5%		i = 15%	
		Коефіцієнт дисконту	Дисконт. грошовий потік, тис.грн	Коефіцієнт дисконту	Дисконт. грошовий потік, тис.грн
0	-5630	1,000	-5630,00	1,000	-5630,00
1	881	0,873	769,43	0,870	766,09
2	881	0,763	671,99	0,756	666,16
3	881	0,666	586,89	0,658	579,27

Продовження таблиці 3.8

4	881	0,582	512,57	0,572	503,71
5	881	0,508	447,66	0,497	438,01
6	881	0,444	390,97	0,432	380,88
7	881	0,388	341,46	0,376	331,20
8	881	0,338	298,22	0,327	288,00
9	881	0,296	260,45	0,284	250,44
10	881	0,258	227,47	0,247	217,77
11	881	0,225	198,66	0,215	189,36
12	881	0,197	173,50	0,187	164,67
13	881	0,172	151,53	0,163	143,19
14	881	0,150	132,34	0,141	124,51
15	881	0,131	115,58	0,123	108,27
16	881	0,115	100,95	0,107	94,15
17	881	0,100	88,16	0,093	81,87
18	881	0,087	77,00	0,081	71,19
19	881	0,076	67,25	0,070	61,90
20	881	0,067	58,73	0,061	53,83
21	881	0,058	51,29	0,053	46,81
22	881	0,051	44,80	0,046	40,70
23	881	0,044	39,12	0,040	35,39
24	881	0,039	34,17	0,035	30,78
25	881	0,034	29,84	0,030	26,76
NPV проекту:		-3571,65		-4322,16	

Графічно проаналізуємо IRR на рисунку 3.6.

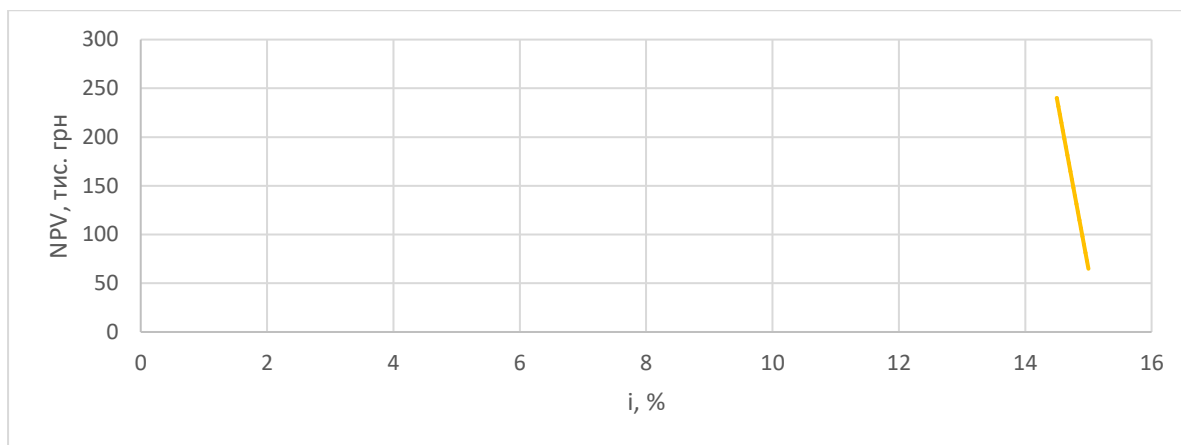


Рисунок 3.6 – Характеристика IRR

З графіку та розрахунків бачимо, що IRR становить 15,19%. Таке значення підтверджує те що проєкт є доцільним для впровадження, однак варто бути обережним в його реалізації, оскільки зростання ставки дисконтування може призвести до його збитковості.

4.4.4 Утеплення підлоги плитами пінополістирольними

Рівень теплоізоляції перекриття над підвалом не відповідає чинним нормативним вимогам. Для усунення цього недоліку пропонується здійснити утеплення зазначеної огорожувальної конструкції плитами пінополістиролу щільністю 35 кг/м³, а з зовнішнього боку виконати штукатурний шар товщиною 1 см. Схему конструкції утеплення подано на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Накладання теплоізоляції на перекриття

Визначимо річний економічний ефект від реалізації даного проєкту. Теплотехнічний опір підлоги першого поверху після проведення модернізації будівлі обчислюється відповідно:

$$R_{\text{підлоги}} = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{0,03}{0,35} + \frac{0,2}{0,05} + \frac{1}{6} = 4,5 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається шляхом розрахунку :

$$k_{\text{підлоги}} = \frac{1}{4,5} = 0,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Для визначення річної економії енергоресурсів здійснимо розрахунок зменшення тепловтрат через підлогу першого поверху після виконання утеплення, використовуючи формулу (3.8):

$$\Delta Q_{\text{підлоги}} = \left(\frac{1}{0,5} - \frac{1}{4,5} \right) \cdot 40 \cdot 3871,7 \cdot 0,3 = 82\,596,3 \text{ Вт}.$$

Річний ефект у вигляді економії теплової енергії, що досягається завдяки утепленню підлоги над підвалом, розраховується згідно з формулою (3.9):

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{підлоги.ут}} = (82\,596,3) \cdot \frac{22 - (2,2)}{21 - (-19)} \cdot 181 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 152,7 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річний економічний ефект у вигляді зменшення витрат коштів у результаті виконання утеплення підвального приміщення:

$$\Delta W_{\text{підлоги}} = 152,7 \cdot 3\,632 = 554\,606 \text{ грн}.$$

Приймемо, що вартість утеплення 1 м² підвального приміщення становить 1630 грн. У такому випадку простий термін окупності заходу з утеплення підвалу визначається як:

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

$$T_{\text{підлоги}} = \frac{3871,7 \cdot 1630}{554\,606} = 11,4 \text{ років.}$$

Отримане значення простого терміну окупності заходу з утеплення підвалу становить 11,4 років. Це означає, що інвестиції, вкладені в реалізацію енергоефективного заходу, повністю компенсуються за рахунок економії енергоресурсів протягом зазначеного періоду.

Такий термін окупності можна вважати відносно довгим, однак він є прийнятним для заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель.

3.5 Заміна існуючого вузла теплового введення на індивідуальний тепловий пункт (ІТП) із автоматичним регулюванням системи

Проектом передбачається модернізація існуючого вузла теплового введення будівлі шляхом заміни застарілого гідроелеваторного вузла на сучасний модульний індивідуальний тепловий пункт (ІТП) [40]. До складу ІТП входять вузол обліку теплової енергії, автоматизована система регулювання, насосне обладнання, модуль системи опалення, запірно-регулююча арматура, система погодозалежного регулювання, а також передбачається можливість підключення системи гарячого водопостачання. Встановлення ІТП (рис.3.8) забезпечить автоматичне регулювання подачі теплоносія залежно від температури зовнішнього повітря, дозволить зменшити перевитрати теплової енергії, підвищити ефективність роботи системи опалення, забезпечити стабільні параметри роботи теплопостачання та знизити споживання електроенергії будівлі.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд індивідуального теплового пункту

Існуюче річне споживання теплової енергії становить 804 Гкал. Очікуване скорочення споживання теплової енергії після встановлення ІТП становить 15%. Річна економія теплової енергії складе:

$$804 \cdot 0,15 = 120,6 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

При середньому тарифі на теплову енергію 3 632 грн/Гкал річна економія коштів становитиме:

$$120,6 \cdot 3\,632 = 437\,656 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Річне споживання електроенергії будівлі становить 110443 кВт·год. З урахуванням наявності 7 електричних бойлерів та автоматизації роботи системи тепlopостачання після встановлення ІТП доцільно прийняти очікуване скорочення споживання електроенергії на рівні 12%.

Річна економія електроенергії становитиме:

$$110443 \cdot 0,12 = 13253,16 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

При середньому тарифі на електроенергію 6,91 грн/кВт·год економія коштів становитиме:

$$13253 \cdot 6,91 = 91578 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Загальна річна економія коштів становитиме:

$$437656 + 91578 = 529234 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Орієнтовна вартість впровадження модульного ІТП приймається на рівні 1,6 млн грн. Орієнтовний термін окупності заходу становитиме:

$$T_{\text{ІТП}} = \frac{1600000}{529234} = 3 \text{ роки.}$$

Встановлення сучасного ІТП є технічно та економічно доцільним заходом, який дозволить підвищити енергоефективність будівлі, зменшити витрати на теплопостачання та забезпечити автоматизоване регулювання системи опалення.

Висновок до 3 розділу

У результаті виконаного аналізу рівня енергетичної ефективності будівлі закладу загальної середньої освіти встановлено, що більшість огорожувальних конструкцій не відповідають чинним нормативним вимогам щодо опору теплопередачі.

Додатково встановлено, що значна частка втрат теплової енергії припадає на інфільтрацію повітря, що ще більше погіршує загальний енергетичний баланс об'єкта. Проведений розрахунок загальних тепловтрат дозволив кількісно оцінити основні джерела енергетичних втрат та визначити найбільш проблемні елементи будівлі.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Графічне порівняння тепловтрат до та після впровадження енергоефективних заходів наведено на рисунку 3.9

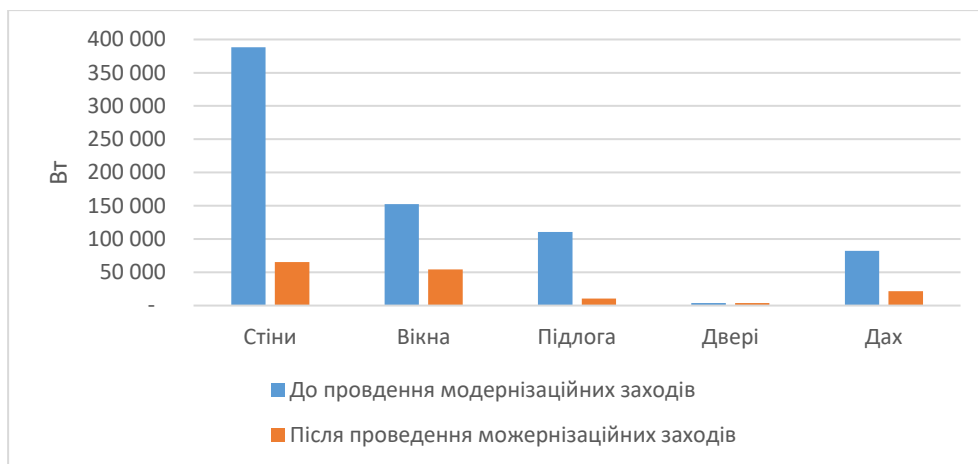


Рисунок 3.9 – Тепловтрати будівлі до та після термомодернізації

З графіку бачимо, що впровадження рекомендованих заходів дозволяє досягти суттєвої економії на енергоресурсах.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

4.1 Огляд поточного стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту в шкільних закладах

На сучасному етапі розвитку освітньої інфраструктури енергоменеджмент у шкільних закладах поступово переходить від локального контролю витрат енергоресурсів до комплексного управління енергетичними процесами на основі цифрових технологій та аналітичних систем. Якщо раніше основна увага приділялася лише обліку спожитої енергії, то сьогодні ключовим напрямом стає формування інформаційно-керованої системи управління, здатної забезпечити прогнозування, аналіз та оптимізацію режимів енергоспоживання.

Аналіз сучасного стану енергоменеджменту у шкільних закладах показує, що в багатьох випадках система управління енергоспоживанням залишається фрагментарною. Контроль енерговитрат часто здійснюється постфактум, після отримання щомісячних рахунків або звітних даних. Такий підхід не дозволяє оперативно виявляти відхилення у споживанні та своєчасно реагувати на нераціональні режими роботи обладнання.

Однією з характерних проблем є недостатня інтеграція систем обліку в єдине інформаційне середовище. Дані про споживання теплової та електричної енергії збираються окремо, без взаємозв'язку між окремими підсистемами будівлі. У результаті адміністрація закладу не має можливості оцінювати взаємний вплив режимів роботи освітлення, вентиляції, опалення та іншого обладнання на загальне енергоспоживання школи.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Король Л.О.			Рекомендації для розвитку енергоменеджменту			Літ.	Арк.86	Акрушів
Перевір.		Бориченко О.В.								
Реценз.										
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП		
Затверд.										

Сучасні тенденції розвитку енергоменеджменту в закладах освіти базуються на використанні цифрових технологій та автоматизованих платформ моніторингу. Одним із ключових напрямів є впровадження систем дистанційного збору даних із приладів обліку та сенсорних мереж. Використання автоматизованих систем енергомоніторингу дозволяє отримувати інформацію про енергоспоживання в режимі реального часу, формувати погодинні графіки навантаження та здійснювати аналіз змін енергетичних показників.

Окремим напрямом розвитку є концепція «розумної будівлі», у межах якої системи енергоменеджменту інтегруються з автоматизованим управлінням мікрокліматом, освітленням та вентиляцією. Такий підхід дозволяє не лише контролювати рівень енергоспоживання, а й автоматично адаптувати режими роботи обладнання відповідно до фактичного навантаження будівлі. У сучасних системах моніторингу застосовуються IoT-технології, хмарні сервіси та багаторівневі сенсорні мережі, що забезпечують високий рівень деталізації даних та гнучкість управління [41].

Для шкільних закладів актуальною тенденцією також є формування централізованих систем енергоменеджменту на рівні громад або міських адміністрацій. Це дозволяє здійснювати одночасний контроль енергоспоживання декількох об'єктів освіти, проводити порівняльний аналіз показників та визначати заклади з найбільшими втратами енергоресурсів. Практика впровадження дистанційного енергомоніторингу в закладах освіти вже демонструє можливість зниження витрат енергоресурсів за рахунок своєчасного виявлення неефективних режимів роботи обладнання.

4.2 Заходи модернізації системи обліку та моніторингу використання енергії та інших ресурсів

Підвищення ефективності енергоменеджменту в шкільних закладах неможливе без модернізації систем обліку та контролю використання

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

енергетичних ресурсів. Традиційні методи збору показників, які базуються на ручному зчитуванні даних із комерційних лічильників, не забезпечують необхідного рівня оперативності та точності для сучасного управління енергоспоживанням. У зв'язку з цим одним із пріоритетних напрямів розвитку є впровадження автоматизованих систем контролю та енергетичного моніторингу.

Сучасна система обліку енергоресурсів у шкільному закладі повинна забезпечувати не лише фіксацію фактичного споживання електричної та теплової енергії, а й виконувати функції аналітичного контролю, прогнозування та оперативного реагування на відхилення режимів роботи обладнання. Для реалізації таких функцій доцільним є впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) [42] та автоматизованої системи енергетичного моніторингу (АСЕМ) [43].

АСКОЕ забезпечує автоматичний збір даних із приладів обліку електричної енергії, їх передачу до центрального серверного модуля та подальше збереження у базі даних [42]. Основною перевагою системи є можливість отримання погодинних параметрів споживання, контролю графіків навантаження та виявлення перевищення встановлених лімітів. На відміну від традиційного комерційного обліку, АСКОЕ дозволяє здійснювати постійний дистанційний контроль енергоспоживання без необхідності ручного збору інформації [42].

Доповненням до АСКОЕ є впровадження автоматизованої системи енергетичного моніторингу (АСЕМ), яка виконує функції комплексного аналізу енергетичних показників. На відміну від системи комерційного обліку, АСЕМ орієнтована не лише на збір даних, а й на формування аналітичної інформації для прийняття управлінських рішень.

АСЕМ забезпечує централізований моніторинг усіх енергетичних ресурсів, формування графіків навантаження, аналіз добових і сезонних режимів споживання та автоматичне визначення аномальних відхилень [43].

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Однією з ключових переваг АСЕМ є можливість інтеграції з іншими інженерними системами будівлі (рис.4.1). Зокрема, система може взаємодіяти з автоматизованим керуванням освітленням, вентиляцією та теплопостачанням. Це дозволяє реалізувати принцип адаптивного енергоспоживання, коли режими роботи обладнання автоматично змінюються відповідно до фактичного навантаження або графіка використання приміщень.



Рисунок 4.1 – Принципова схема роботи та взаємодії АСЕМ

Особливу роль у модернізації системи моніторингу відіграє впровадження багаторівневого обліку ресурсів. Окрім електроенергії та теплової енергії, доцільним є контроль споживання води, природного газу та інших ресурсів. Інтеграція таких даних у єдину платформу моніторингу дозволяє створити комплексну систему управління ресурсоспоживанням шкільного закладу.

Важливим напрямом модернізації є використання хмарних технологій та вебінтерфейсів доступу до даних. Сучасні системи АСКОЕ та АСЕМ підтримують дистанційний доступ через локальну мережу або Інтернет, що забезпечує можливість оперативного контролю енергетичних показників адміністрацією закладу або органами місцевого управління освітою.

4.3 Організаційно-управлінські пропозиції в просуванні теми енергоменеджменту

Розвиток енергоменеджменту в шкільних закладах потребує не лише технічної модернізації систем контролю та моніторингу, а й формування ефективної організаційної моделі управління енергетичними процесами. Практика функціонування освітніх установ свідчить, що навіть за наявності сучасних систем обліку ефективність використання енергоресурсів значною мірою залежить від рівня управлінської координації, організації внутрішніх процесів та залучення персоналу до реалізації політики енергоефективності.

Одним із ключових напрямів просування енергоменеджменту є створення в закладі постійно діючої системи енергетичного управління. Доцільним є формування окремої координаційної групи або енергетичної комісії, до складу якої можуть входити представники адміністрації, технічного персоналу, педагогічного колективу та відповідальні за експлуатацію інженерних систем. Такий підхід забезпечує колективну участь у процесі управління енергоспоживанням та дозволяє інтегрувати питання енергоефективності у повсякденну діяльність закладу.

Важливою організаційною складовою є впровадження енергетичної політики закладу. Документ повинен визначати стратегічні цілі у сфері енергоменеджменту, порядок контролю споживання ресурсів, принципи раціональної експлуатації обладнання та механізми оцінки результативності впроваджених заходів. Наявність такої політики дозволяє систематизувати процес управління енергетичними ресурсами та забезпечити довгострокове планування розвитку енергоменеджменту.

Для підтримки ефективності енергетичного управління рекомендується впровадити систему внутрішнього оцінювання результатів. Одним із можливих підходів є формування ключових показників ефективності (KPI) у сфері енергоспоживання. До таких показників можуть належати:

- динаміка зміни споживання енергії;

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

- рівень енергетичних втрат;
- частота виникнення аномальних режимів;
- ефективність використання обладнання;
- результативність реалізованих організаційних заходів.

Значну роль у розвитку енергоменеджменту відіграє цифровізація управлінських процесів. Використання автоматизованих платформ моніторингу дозволяє не лише отримувати дані про споживання ресурсів, а й забезпечує можливість централізованого управління, формування прогнозів та підтримки управлінських рішень на основі аналітичної інформації. Це створює умови для переходу від реактивного управління до превентивної моделі енергетичного контролю.

Важливим напрямом організаційного розвитку є взаємодія шкільного закладу з органами місцевого самоврядування та енергосервісними структурами. Така співпраця дозволяє забезпечити методичну підтримку, отримувати доступ до сучасних технологій моніторингу та залучати додаткові ресурси для реалізації проєктів у сфері енергоефективності.

Висновок до розділу 4

У результаті проведеного дослідження було визначено, що подальший розвиток енергоменеджменту в шкільних закладах потребує переходу до сучасної моделі управління енергетичними ресурсами, заснованої на автоматизованому контролі, цифровому моніторингу та комплексному аналізі даних. Встановлено, що традиційні підходи до обліку енергоспоживання не дозволяють своєчасно виявляти перевитрати ресурсів, оцінювати ефективність роботи інженерних систем та оперативно реагувати на зміни режимів навантаження.

У розділі проаналізовано сучасні тенденції розвитку енергоменеджменту в освітній сфері та приділено увагу модернізації системи обліку енергоресурсів шляхом впровадження АСКОВ та АСЕМ.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

5.1 Обґрунтування використання сонячної електростанції для енергозабезпечення об'єкта

З точки зору сучасних підходів до енергетичного менеджменту, підвищення ефективності роботи громадських будівель досягається за рахунок зменшення споживання електроенергії з централізованої мережі та часткової заміни традиційних джерел живлення на відновлювані. Для об'єкта шкільної освіти одним із найбільш раціональних технічних рішень є впровадження мережевої сонячної електростанції, яка працює паралельно з існуючою системою електропостачання.

Електричне навантаження школи має виражений нерівномірний характер із чітко вираженим денним піком споживання. Основна частка навантаження формується системами внутрішнього та зовнішнього освітлення, які працюють протягом усього навчального процесу та є базовим постійним споживачем електроенергії. Додатково суттєвий внесок у загальне енергоспоживання створює обладнання харчоблоку, зокрема електричні плити, що працюють у пікові години приготування їжі, а також електричні бойлери, які забезпечують нагрів гарячої води в циклічному режимі. Також враховується робота вентиляційних систем, комп'ютерного обладнання та іншої допоміжної електротехніки.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Король Л.О.			Оцінка можливостей застосування вторинних та відновлюваних джерел енергії на об'єкті	Літ.	Арк.91	Акрушів
Перевір.		Бориченко О.В.						
Реценз.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затверд.								

З інженерної точки зору важливо, що часовий профіль навантаження школи практично збігається з часовим профілем генерації фотоелектричних модулів. Максимальні значення споживання припадають на проміжок активного навчального процесу (орієнтовно 8:00–16:00), що дозволяє забезпечити високу частку прямого самоспоживання виробленої електроенергії без необхідності її накопичення в акумуляторних системах. Це суттєво підвищує загальну енергетичну ефективність системи.

Впровадження сонячної електростанції дозволяє зменшити навантаження на зовнішню електричну мережу та скоротити обсяги закупівлі електроенергії. З економічної точки зору це є критично важливим для бюджетних установ, оскільки витрати на електропостачання є однією з постійних статей експлуатаційних витрат. СЕС виконує функцію часткового заміщення мережевої електроенергії локальною генерацією.

Окремо слід відзначити можливість роботи системи у мережевому режимі з передачею надлишкової електроенергії. У години, коли миттєва генерація перевищує споживання об'єкта, надлишок може віддаватися в електричну мережу відповідно до діючих механізмів обліку електроенергії. Це підвищує коефіцієнт використання встановленої потужності та покращує економічні показники проєкту.

З точки зору надійності енергопостачання впровадження СЕС також має позитивний ефект. У поєднанні з можливими системами резервування електроживлення забезпечується підвищення стійкості роботи критично важливих споживачів, таких як освітлення евакуаційних шляхів, системи безпеки, зв'язку та окремі технологічні процеси навчального закладу.

Екологічний аспект проєкту полягає у зниженні викидів парникових газів за рахунок скорочення споживання електроенергії, виробленої на основі викопного палива. Фотоелектрична генерація є безвикидною технологією в процесі експлуатації, не створює шумового навантаження та не потребує витрат палива, що відповідає принципам декарбонізації енергетичного сектору.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

5.2 Характеристика особливостей кліматичних умов міста Херсону

Кліматичні умови міста Херсона є одним із ключових факторів, що визначають ефективність роботи фотоелектричних установок. Регіон розташований у південній частині України, що забезпечує підвищений рівень сонячної радіації порівняно з центральними та північними областями. Це створює сприятливі передумови для впровадження сонячних електростанцій у системи енергозабезпечення об'єктів різного призначення, зокрема громадських будівель.

Для Херсонського регіону характерний помірно-континентальний клімат із жарким і тривалим літнім періодом та відносно м'якою зимою. Середньорічна температура (табл.5.1) повітря становить близько $+10...+11\text{ }^{\circ}\text{C}$, при цьому в літні місяці максимальні значення можуть досягати $+30...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в зимовий період опускатися до $-5...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [44]. Такий температурний режим не є критичним для роботи фотоелектричних модулів, однак потребує врахування температурного коефіцієнта потужності при розрахунках генерації.

Таблиця 5.1 – Середня місячна та річна температура

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Річна
Херсон	-3,2	-2,6	2,2	9,3	18,5	20	23	21,9	16,8	10,5	4,1	-0,8	9,8
Асканія Нова	-3,5	-3	1,8	8,8	15,6	20	23	22	16,3	10,2	3,8	-1	9,5

Основним визначальним параметром для проєктування сонячних електростанцій є рівень сумарної сонячної радіації. Для Херсонської області він є одним із найвищих в Україні та становить приблизно $1350\text{--}1450\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ на рік [44]. Такий рівень інсоляції забезпечує високий потенціал генерації електроенергії та дозволяє ефективно використовувати фотоелектричні системи протягом усього року.

Високі значення сонячної радіації особливо характерні для весняно-літнього періоду, коли тривалість світлового дня значно збільшується, а

кількість ясних днів є максимальною. У цей період сонячна електростанція здатна працювати близько до номінальної потужності протягом тривалого часу, що забезпечує основний обсяг річної генерації. В осінньо-зимовий період рівень інсоляції знижується, що призводить до зменшення виробітку, однак навіть у цей час СЕС продовжує частково компенсувати електроспоживання об'єкта.

Тривалість сонячного сьйва в Херсонському регіоні є високою та становить у середньому близько 2200–2400 годин на рік (рис.5.1). Це один із найкращих показників в Україні, що безпосередньо впливає на доцільність використання сонячної енергетики. Значна кількість ясних днів забезпечує стабільний режим роботи фотоелектричних модулів та зменшує вплив хмарності на річний виробіток електроенергії.

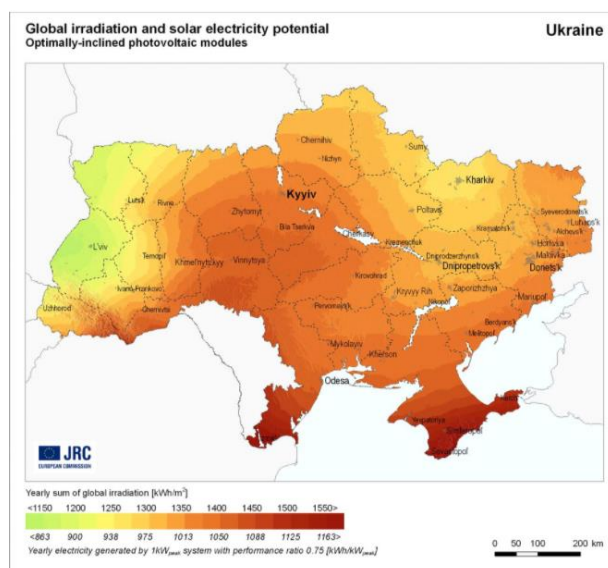


Рисунок 5.1 – Карта сонячної радіації України

З точки зору просторового розподілу сонячної радіації, південні регіони України, включаючи Херсонську область, мають значно вищий рівень надходження сонячної енергії порівняно з центральними та північними областями. Це обумовлює доцільність пріоритетного впровадження фотоелектричних станцій саме в цих регіонах. Для порівняння, різниця в

інсоляції між півднем та північню країни може сягати 15–25%, що суттєво впливає на економічну ефективність проєктів.

Сезонні коливання кліматичних параметрів також впливають на режим роботи сонячної електростанції. Найбільш продуктивним є період з квітня по вересень, коли поєднуються висока інтенсивність сонячного випромінювання та тривала тривалість дня. У зимові місяці виробіток зменшується, однак завдяки загальному високому річному рівню інсоляції регіон залишається одним із найбільш ефективних для використання фотоелектричних систем.

5.3 Розрахунок можливої потужності та генерації СЕС

Проектowana сонячна електростанція формується на основі доступних покрівельних площ будівлі та прийнятої схеми розміщення фотоелектричних модулів. Для розрахунку використано модулі потужністю 600 Вт, які є типовими для сучасних дахових мережевих СЕС та забезпечують високу щільність встановлення при оптимальних експлуатаційних характеристиках.

Панелі буде розташовано під кутом 35 градусів. Встановлення модулів на дахах розглядається за комбінованою схемою розміщення. На основних покрівлях розміром 20×40 м прийнято дворядну структуру встановлення, що відповідає допустимим вимогам щодо міжрядного затінення та забезпечує ефективне використання площі даху.

Розрахунок для одного даху 20×40 м виконується наступним чином: приймається два ряди фотоелектричних модулів, у кожному з яких розміщується по 15 панелей.

$$N_{\text{даху}} = 2 \cdot 15 = 30 \text{ панелей.}$$

Оскільки таких покрівельних ділянок три, загальна кількість панелей на них становить:

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		95

$$N_{20 \times 40} = 3 \cdot 30 = 90 \text{ панелей.}$$

Таким чином, основна частина генераційної потужності формується саме на великих дахових площах, що забезпечують найбільш ефективне використання встановленої потужності.

Додатково в проєкті враховуються два дахи розміром 8×18 м, які мають меншу площу та обмежену можливість розміщення модулів. Для них прийнято однорядну схему встановлення фотоелектричних панелей.

Кількість панелей у одному ряду визначається виходячи з довжини даху 18 м та довжини одного модуля з урахуванням монтажних зазорів (приблизно 2.6 м на один модуль):

$$N = \frac{18}{2,6} \approx 6,9.$$

З урахуванням конструктивних обмежень приймається 6 панелей у ряду. Оскільки таких дахів два, загальна кількість панелей на цій частині об'єкта становить:

$$N_{8 \times 18} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ панелей.}$$

Після об'єднання всіх покрівельних площ визначається загальна кількість встановлених фотоелектричних модулів:

$$N_{\text{сумарно}} = 90 + 12 = 102 \text{ панелі.}$$

З урахуванням номінальної потужності одного модуля 600 Вт, загальна встановлена потужність сонячної електростанції становить:

$$P_{\text{сумарно}} = 102 \cdot 0.6 = 61.2 \text{ кВт.}$$

Отримане значення встановленої потужності близько 61 кВт є результатом раціонального використання доступних покрівельних площ та прийнятої схеми

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		96

розміщення модулів з урахуванням конструктивних обмежень та вимог до запобігання взаємному затіненню.

Для оцінки ефективності роботи запроєктованої сонячної електростанції було виконано аналіз прогнозованої генерації електроенергії протягом характерних днів різних сезонів року (рис. 5.2). Виробіток електроенергії фотоелектричними модулями безпосередньо залежить від рівня сонячної інсоляції, тривалості світлового дня, погодних умов та висоти сонця над горизонтом.

У зимовий період спостерігається найнижчий рівень генерації через короткий світловий день та меншу інтенсивність сонячного випромінювання. У весняний та осінній періоди виробіток електроенергії суттєво збільшується, а найбільші значення генерації досягаються в літній період, коли тривалість сонячного сьйва є максимальною.

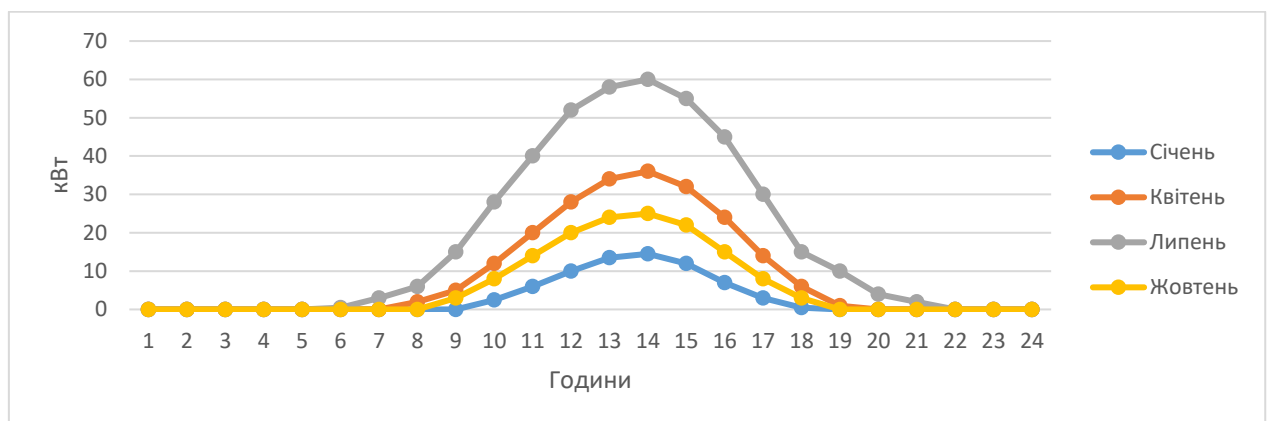


Рисунок 5.2 – Погодинна генерація СЕС протягом року

Аналіз сезонних графіків генерації дозволяє оцінити зміну потужності сонячної електростанції протягом доби та визначити періоди найбільш ефективної роботи системи.

З наведених графіків видно, що максимальна потужність генерації спостерігається у літній період, коли миттєвий виробіток електроенергії наближається до номінальної потужності сонячної електростанції. У весняний та осінній сезони генерація має стабільний характер та забезпечує значну

частину денного електроспоживання об'єкта. У зимовий період рівень виробітку суттєво нижчий, однак станція продовжує частково компенсувати споживання електроенергії з мережі.

Особливістю експлуатації сонячної електростанції на об'єкті школи є сезонний режим роботи закладу. У літній період навчальний процес практично відсутній, що призводить до суттєвого зменшення власного електроспоживання будівлі. При цьому генерація сонячної електростанції влітку є максимальною, внаслідок чого утворюється надлишок виробленої електроенергії.

За умови підключення мережевої сонячної електростанції надлишкова електроенергія може передаватися до зовнішньої електричної мережі, що дозволяє підвищити економічну ефективність проєкту та скоротити термін окупності встановленого обладнання.

Для оцінки рівня покриття навантаження сонячною електростанцією було також проаналізовано погодинний графік електроспоживання будівлі школи протягом типового робочого дня (рис.5.3).

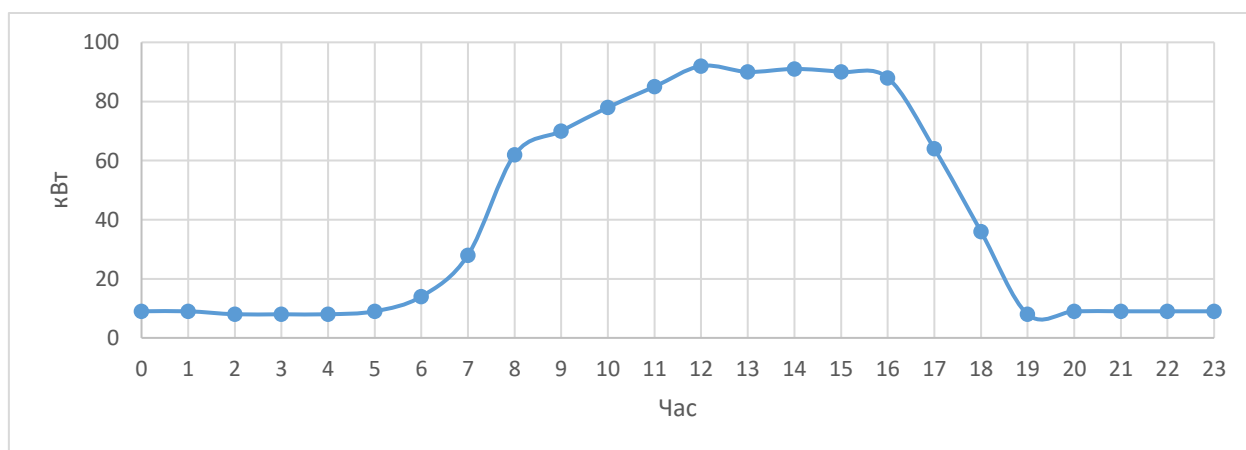


Рисунок 5.3 – Добовий графік споживання електроенергії будівлею

Аналіз графіка показує, що найбільше електроспоживання припадає на денний період, коли одночасно функціонують системи освітлення, вентиляції, харчоблок, бойлери гарячого водопостачання та навчальне обладнання. Максимальні значення навантаження спостерігаються у проміжку з 10:00 до

15:00, що добре узгоджується з періодом найбільшої генерації сонячної електростанції.

Завдяки такому співпаданню графіків генерації та споживання забезпечується ефективне використання виробленої сонячної електроенергії без значних втрат та мінімізується обсяг споживання електроенергії з централізованої мережі.

5.4 Підбір обладнання для СЕС

Для реалізації проєктованої мережевої сонячної електростанції виконано підбір основного та допоміжного обладнання з урахуванням архітектури покрівель, умов експлуатації та вимог до надійності електропостачання об'єкта. Вибір компонентів здійснювався з орієнтацією на промислові рішення, які забезпечують стабільну генерацію електроенергії, мінімальні втрати при перетворенні та тривалий термін експлуатації системи.

Як фотоелектричні модулі (рис.5.4) прийнято сучасні монокристалічні панелі потужністю 600 Вт класу Tier-1, що відповідають вимогам комерційних дахових електростанцій. Для проєкту обрано модулі типу LONGi Hi-MO 6 LR5-72HTH 600M [45], які побудовані на основі технології високоефективних напівелементів та характеризуються покращеною роботою при частковому затіненні, зниженими втратами потужності при нагріванні та стабільною генерацією протягом усього строку експлуатації.

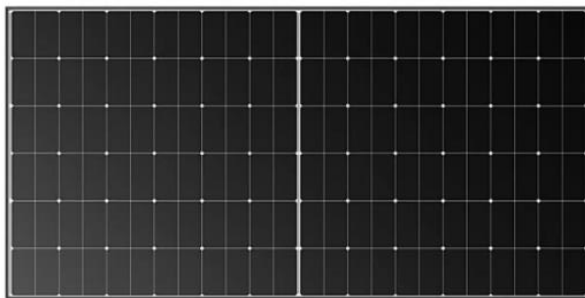


Рисунок 5.4 – Сонячна панель LONGi Hi-MO 6 LR5-72HTH 600M [45]

Дані фотоелектричні модулі відзначаються високою механічною міцністю, стійкістю до вітрових та снігових навантажень, а також зниженим коефіцієнтом деградації, що є важливим для дахових установок із тривалим життєвим циклом.

Для перетворення та синхронізації виробленої електроенергії з електричною мережею прийнято використання двох трифазних мережевих інверторів типу Huawei SUN2000-30KTL-M3 [46]. Дане обладнання (рис.5.5) належить до класу високоефективних інверторних систем із сучасною схемотехнікою, що забезпечує високий ККД перетворення, гнучке керування MPPT-трекерами та розширені функції моніторингу.



Рисунок 5.5 – Інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3 [46]

Інвертори даної серії забезпечують стабільну роботу в широкому діапазоні вхідних напруг, мають вбудовані системи електричного захисту, функції контролю ізоляції, а також можливість інтеграції до систем диспетчеризації енергоспоживання. Це дозволяє здійснювати контроль генерації в режимі реального часу та підвищує загальну надійність системи.

Для монтажу фотоелектричних модулів на плоских дахах застосовується спеціалізована алюмінієва баластна система кріплення, яка не потребує наскрізного кріплення до покрівлі. Така конструкція забезпечує збереження гідроізоляційного шару даху та рівномірний розподіл навантаження на несучі конструкції будівлі.

Система кріплення включає анодовані алюмінієві профілі, баластні блоки для фіксації без механічного анкерування, притискні елементи для модулів,

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

міжмодульні з'єднувачі та комплект елементів заземлення. Конструкція розрахована на експлуатацію у вітрових навантаженнях, характерних для регіону встановлення.

Електрична частина системи виконується із застосуванням спеціалізованого сонячного кабелю типу PV1-F (рис.5.6), який має подвійний ізоляційний шар, стійкий до ультрафіолетового випромінювання, вологи та температурних перепадів [47]. Для з'єднання модулів використовуються герметичні конектори типу MC4, що забезпечують низький перехідний опір та високу надійність контактів у довгостроковій експлуатації.



Рисунок 5.6 – Сонячний кабель

До складу допоміжного електротехнічного обладнання входять:

- автоматичні вимикачі постійного та змінного струму;
- пристрої захисту від імпульсних перенапруг (SPD);
- головні та розподільчі електроштити;
- система захисного заземлення та вирівнювання потенціалів;
- система моніторингу та збору даних (Smart Monitoring System).

Сукупність обраного обладнання забезпечує побудову надійної, енергоефективної та довговічної мережевої сонячної електростанції, яка відповідає сучасним технічним стандартам і вимогам до об'єктів комерційної генерації електроенергії.

5.5 Визначення економічної ефективності та строку окупності проєкту

Економічна ефективність впровадження сонячної електростанції оцінюється на основі капітальних витрат на придбання основного та допоміжного обладнання, а також очікуваного річного економічного ефекту від

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

заміщення споживання електроенергії з мережі. Для розрахунку прийнято діючий тариф на електроенергію для бюджетних установ на рівні 6,91 грн/кВт·год.

Загальна вартість проєкту (табл.5.2) формується з вартості фотоелектричних модулів, інверторного обладнання, системи кріплення, електротехнічної частини, монтажних робіт та додаткових витрат, пов'язаних з проєктуванням і введенням в експлуатацію.

Таблиця 5.2 – Кошторис проєкту

Стаття витрат	Опис	Вартість, грн
Фотоелектричні модулі	600 Вт, 102 шт	357 000
Інвертори	2 × 30 кВт	190 000
Система кріплення	баластна алюмінієва система	210 000
Кабельна продукція та захист	PV кабель, SPD, автоматика	170 000
Електромонтажні роботи	монтаж, підключення, пусконаладження	340 000
Проєктування та супровід	документація, погодження	170 000
Резервні витрати	логістика, непередбачені витрати	60 000
Всього		1 497 000

Школа у літній період фактично не здійснює повноцінного навчального процесу, у зв'язку з чим власне електроспоживання об'єкта суттєво знижується. У цей час залишаються лише чергові та допоміжні навантаження (охоронні системи, аварійне освітлення, частково вентиляційні та сервісні споживачі). Водночас саме в літній період спостерігається максимальна генерація сонячної електростанції, що призводить до утворення значного надлишку електроенергії, який може бути переданий у зовнішню електричну мережу.

Для оцінки економічної ефективності проєкту прийнято, що річна генерація сонячної електростанції становить:

$$E = 1350 \cdot 61 = 82\,350 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

З урахуванням характерного для об'єктів освіти режиму споживання електроенергії прийнято, що 60% виробленої електроенергії використовується безпосередньо для покриття власних потреб будівлі, а 40% передається у мережу як надлишкова генерація.

Таким чином, розподіл електроенергії становить:

$$E_{\text{власне}} = 82350 \cdot 0,6 = 49410 \text{ кВт}.$$

$$E_{\text{продажу}} = 82350 \cdot 0,4 = 32940 \text{ кВт}.$$

Економічний ефект від власного споживання електроенергії визначається за діючим тарифом на електроенергію:

$$W_{\text{власне}} = 49410 \cdot 6,91 = 341\,423 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Надлишкова електроенергія, що передається в електричну мережу, реалізується за зниженим тарифом, який прийнято на рівні 50% від базового тарифу для споживання електроенергії:

$$W_{\text{продажу}} = 32940 \cdot 3,45 = 113\,643 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Загальний річний економічний ефект від роботи сонячної електростанції становить:

$$W_{\text{заг}} = 113\,643 + 341\,423 = 455\,066 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Тоді термін окупності проекту визначається як:

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-321.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

$$T = \frac{1\,497\,000}{455\,066} = 3,3 \text{ роки.}$$

Отримане значення терміну окупності свідчить про високу економічну ефективність впровадження сонячної електростанції. Враховуючи тривалий строк експлуатації фотоелектричних модулів, що перевищує 25 років, після завершення періоду окупності система забезпечує стабільний економічний ефект у вигляді щорічної економії витрат на електроенергію та додаткового доходу від реалізації надлишкової генерації в мережу.

Висновок до 5 розділу

Проведений аналіз показав, що впровадження мережевої сонячної електростанції для будівлі школи є технічно обґрунтованим та економічно доцільним рішенням у контексті сучасних підходів до енергетичного менеджменту. Особливості режиму роботи навчального закладу, зокрема концентрація основного електроспоживання у денні години, створюють сприятливі умови для максимально ефективного використання фотоелектричної генерації без необхідності значного застосування систем накопичення енергії.

Аналіз кліматичних умов Херсонського регіону підтверджує наявність високого рівня сонячної радіації та значної тривалості сонячного сяйва протягом року, що забезпечує стабільну та прогнозовану роботу фотоелектричних систем. Особливо ефективною є експлуатація СЕС у весняно-літній період, коли генерація досягає максимальних значень і може повністю покривати або навіть перевищувати поточні потреби об'єкта.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

6.1 Загальна характеристика умов виконання робіт

Модернізація системи штучного освітлення передбачає проведення електромонтажних робіт у внутрішніх приміщеннях будівлі з частковою заміною існуючих джерел світла на сучасні світлодіодні LED-аналоги. Роботи виконуються в діючій електроустановці напругою 220 В змінного струму з використанням існуючих освітлювальних мереж та комутаційного обладнання.

Особливістю виконання робіт є проведення монтажу в умовах експлуатації будівлі, що потребує організації безпечного доступу до робочих зон, дотримання вимог електробезпеки та забезпечення належного технічного стану монтажного обладнання. Основна частина робіт пов'язана з демонтажем застарілих люмінесцентних та лампових світильників, перевіркою стану контактних з'єднань, патронів, кабельних ліній і встановленням нових LED-джерел світла.

Електромонтажні роботи повинні виконуватися відповідно до вимог чинних нормативних документів з охорони праці та правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Перед початком робіт обов'язковим є відключення відповідних груп освітлення від мережі живлення та перевірка відсутності напруги.

У процесі модернізації системи освітлення застосовуються світлодіодні джерела світла виробництва Philips, технічні характеристики яких наведені у таблиці 6.1.

					<i>ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи штучного освітлення</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.109</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Король Л.О.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Третьякова Л.Д.</i>						
<i>Реценз.</i>						<i>НН ІЕЕ, кафедра ЕП</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Прокопенко І.Д.</i>						
<i>Затверд.</i>								

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики LED-джерел світла

Найменування LED-джерела	Тип цоколя	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Колірна температура, К	Термін служби, год
Philips CorePro LEDbulb 10W E27	E27	10	1050	4000	15000
Philips MASTER LEDtube 1200 mm 18W 840 T8	G13	18	1850	4000	50000
Philips MASTER LEDtube 600 mm 9W 840 T8	G13	9	900	4000	50000

Застосування LED-технологій дозволяє суттєво знизити теплове навантаження на освітлювальну мережу та підвищити надійність роботи системи освітлення. Світлодіодні лампи характеризуються стабільністю світлового потоку, низьким рівнем пульсації та відсутністю електромагнітних пускорегулювальних пристроїв, що позитивно впливає на умови експлуатації освітлювальної установки.

Для виконання монтажних робіт використовуються ручний електромонтажний інструмент, переносні драбини та вимірювальні прилади. Інструмент, який застосовується під час виконання робіт, повинен відповідати вимогам електробезпеки та мати справну ізоляцію робочих частин.

Основні технічні засоби, що використовуються під час модернізації освітлення, наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Основне обладнання та монтажні засоби

Найменування обладнання	Призначення
Індикатор напруги	Перевірка відсутності напруги
Мультиметр [48]	Контроль параметрів електромережі
Викрутки з ізольованими ручками	Монтаж контактних з'єднань
Переносна драбина	Доступ до світильників
Бокорізи та стрипер	Оброблення провідників

Під час проведення робіт важливе значення має стан виробничого середовища. Монтаж LED-світильників виконується у сухих приміщеннях за нормальних параметрів мікроклімату та за умови достатнього рівня природного або тимчасового освітлення робочої зони. Проходи до електрощитів та місць виконання робіт повинні залишатися вільними, а монтажне обладнання – розміщуватися таким чином, щоб не створювати перешкод для переміщення працівників.

Заміна застарілих джерел світла на сучасні LED-світильники дозволяє не лише підвищити енергоефективність системи освітлення, а й покращити експлуатаційні характеристики освітлювальної мережі, зменшити навантаження на електропроводку та підвищити загальну надійність роботи освітлювальної установки.

6.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час модернізації системи освітлення

Виконання робіт із модернізації системи штучного освітлення супроводжується впливом комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, характерних для електромонтажних робіт у діючих електроустановках. Особливістю даного виду робіт є поєднання електротехнічних операцій із монтажними роботами на висоті, використанням ручного електроінструменту та проведенням демонтажу існуючого освітлювального обладнання.

Основним небезпечним фактором під час виконання робіт є електричний струм. Монтаж та заміна світильників виконуються в освітлювальних мережах напругою 220 В, що створює ризик ураження працівників електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, випадкового дотику до струмовідних частин або помилкового подання напруги на ділянку виконання робіт. Небезпека ураження струмом значно зростає під час виконання демонтажу застарілих світильників та перевірки електричних з'єднань.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Під час модернізації освітлення значна частина робіт виконується на висоті із застосуванням переносних драбин або помостів. У таких умовах існує ризик падіння працівника внаслідок втрати рівноваги, використання несправного монтажного обладнання або неправильного розташування драбини. Додаткову небезпеку становить можливість падіння інструменту чи демонтованих елементів світильників.

У процесі демонтажу люмінесцентних ламп виникає ризик механічного травмування уламками скла. Крім того, люмінесцентні лампи містять незначну кількість парів ртуті, тому пошкодження колби лампи може призвести до локального забруднення повітря робочої зони.

Під час виконання монтажних робіт застосовується ручний електрифікований інструмент, використання якого супроводжується підвищеним рівнем локальної вібрації та шуму. Тривала робота в таких умовах може викликати підвищене стомлення працівників та зниження концентрації уваги.

Окрему увагу необхідно приділити параметрам освітлення робочої зони. Недостатня освітленість місць виконання робіт ускладнює проведення монтажних операцій та збільшує ймовірність помилок під час підключення електрообладнання. Водночас надмірна яскравість або осліплююча дія LED-джерел світла під час перевірки працездатності системи можуть створювати додаткове зорове навантаження.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для модернізації системи освітлення, наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Виробничий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Електричний струм	Освітлювальна мережа 220 В	Електротравми, опіки
Робота на висоті	Монтаж світильників на стелі	Падіння працівника

Продовження таблиці 6.3

Механічне травмування	Демонтаж світильників та ламп	Порізи, забої
Підвищена яскравість світла	LED-джерела під час перевірки	Перевтома органів зору
Шум та вібрація	Ручний електроінструмент	Втома, зниження працездатності
Пошкодження колб ламп	Демонтаж люмінесцентних ламп	Забруднення повітря, травмування
Нагріті елементи світильників	Робота старих ламп	Термічні опіки

Важливим фактором безпеки є технічний стан існуючої освітлювальної мережі. У процесі експлуатації можливе старіння ізоляції провідників, послаблення контактних з'єднань та часткове пошкодження електромонтажної арматури. Такі дефекти можуть стати причиною локального перегріву, виникнення коротких замикань та аварійних режимів роботи мережі.

Умови праці під час модернізації системи освітлення відносяться до робіт із підвищеною небезпекою, оскільки виконання електромонтажних операцій у діючих електроустановках потребує суворого дотримання вимог охорони праці, постійного контролю технічного стану обладнання та застосування справних засобів захисту.

6.3 Перелік робіт та склад бригади під час модернізації системи освітлення

Модернізація системи штучного освітлення виконується поетапно із дотриманням вимог електробезпеки та технології виконання електромонтажних робіт. Організація робіт передбачає попередню підготовку робочих місць, демонтаж існуючих джерел світла, монтаж LED-обладнання та проведення перевірки працездатності освітлювальної мережі після завершення монтажу.

До початку виконання робіт здійснюється відключення відповідних груп освітлення від мережі живлення, перевірка відсутності напруги та підготовка робочої зони. Після цього проводиться демонтаж застарілих ламп розжарювання та люмінесцентних джерел світла, а також огляд технічного стану патронів, контактних з'єднань і елементів освітлювальної мережі.

Основні етапи модернізації системи освітлення наведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Перелік робіт під час модернізації системи освітлення

№	Найменування робіт	Характер виконуваних операцій
1	Підготовка робочого місця	Відключення мережі, перевірка відсутності напруги
2	Демонтаж існуючих ламп	Зняття ламп розжарювання та люмінесцентних ламп
3	Огляд освітлювальної мережі	Перевірка контактів, патронів та кабельних ліній
4	Монтаж LED-джерел світла	Встановлення нових LED-ламп та LED-трубок
5	Перевірка електричних з'єднань	Контроль правильності підключення
6	Випробування освітлення	Перевірка працездатності та режимів роботи
7	Прибирання робочої зони	Видалення демонтованих матеріалів та відходів

Роботи виконуються електромонтажною бригадою, склад якої формується з урахуванням обсягів робіт та вимог нормативних документів щодо безпечної експлуатації електроустановок. До складу бригади входять працівники, які мають відповідну кваліфікацію та допуск до виконання робіт в електроустановках напругою до 1000 В [49].

Організаційна структура бригади наведена у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Склад електромонтажної бригади

Посада	Кількість працівників	Основні функції
Виконавець робіт	1	Організація та контроль виконання робіт
Електромонтер	2	Демонтаж та монтаж світильників
Підсобник	1	Подача інструменту та допоміжні роботи

Керівництво роботами здійснює виконавець робіт, який відповідає за дотримання вимог охорони праці, організацію безпечного виконання монтажу та контроль технічного стану обладнання. Електромонтери безпосередньо виконують демонтаж і монтаж світильників, перевірку електричних з'єднань та випробування освітлювальної мережі.

Під час виконання робіт бригада використовує переносний електромонтажний інструмент, вимірювальні прилади та монтажне обладнання. Усі роботи проводяться відповідно до затвердженої послідовності технологічних операцій, що забезпечує безпечне виконання модернізації системи освітлення та мінімізує ризик виникнення аварійних ситуацій.

6.4 Оцінювання умов праці методом Елмері

Для оцінювання рівня безпеки під час виконання робіт із модернізації системи штучного освітлення проведено аналіз умов праці методом Елмері. Даний метод дозволяє визначити рівень організації безпечного виконання робіт шляхом фіксації позитивних та негативних виробничих факторів, що виникають під час окремих технологічних операцій.

Метод Елмері базується на проведенні спостереження за станом робочого місця, дотриманням вимог електробезпеки, правильністю організації монтажних робіт [50], використанням справного обладнання та можливими небезпечними ситуаціями, які можуть виникнути під час модернізації системи освітлення. Під час оцінювання кожному фактору надається одна з трьох оцінок:

- позитивна «+» - вимоги безпеки виконуються;
- негативна «-» - виявлено небезпечний фактор або порушення;
- відсутня «#» - фактор відсутній або не спостерігається.

Особливу увагу під час проведення оцінювання приділено роботам у діючій електроустановці, демонтажу люмінесцентних ламп, роботам на висоті

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

та операціям із підключення нових LED-світильників, оскільки саме ці етапи характеризуються найбільшим рівнем виробничого ризику.

Спостереження та оцінювання умов праці наведені у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Результати спостереження за умовами праці методом Елмері

Етап моніторингу	Об'єкти спостереження	Позитивна	Негативна	Відсутня
Етап 1. Підготовка робочого місця	1.1 Робоча зона очищена від сторонніх предметів	+		
	1.2 Проходи до електрощитів залишаються вільними	+		
	1.3 Кабелі та упаковка можуть створювати небезпеку падіння		—	
Етап 2. Доставка та перенесення LED-ламп	2.1 LED-лампи транспортуються у захисній упаковці	+		
	2.2 Під час перенесення існує ризик падіння ламп		—	
	2.3 Можливе пошкодження LED-трубок при необережному перенесенні		—	
Етап 3. Робота на висоті	3.1 Використовується справна переносна драбина	+		
	3.2 Драбина встановлена на рівній поверхні	+		
	3.3 Існує ризик втрати рівноваги працівником		—	
	3.4 Можливе падіння інструменту під час монтажу		—	
Етап 4. Знеструмлення освітлювальної мережі	4.1 Перед роботами виконується відключення ділянки мережі	+		
	4.2 Існує можливість помилкового вимкнення іншої частини школи		—	
	4.3 Можливе випадкове подання напруги на робочу ділянку		—	

Продовження таблиці 6.6

Етап 5. Перевірка відсутності напруги	5.1 Використовується індикатор напруги	+		
	5.2 Перед монтажем проводиться контроль відсутності напруги	+		
Етап 6. Демонтаж існуючих ламп	6.1 Лампи демонтуються після відключення живлення	+		
	6.2 Гарячі лампи можуть спричинити опіки		—	
	6.3 Руйнування колби може призвести до порізів		—	
	6.4 Пошкодження люмінесцентної лампи може спричинити виділення парів ртуті		—	
Етап 7. Монтаж LED- світильників	7.1 Монтаж виконується при відсутній напрузі	+		
	7.2 Використовується інструмент з ізольованими ручками	+		
	7.3 Існує ризик пошкодження контактної частини світильника		—	
Етап 8. Підключення та перевірка роботи системи	8.1 Контакти перевіряються після монтажу	+		
	8.2 Можливе коротке замикання при помилковому підключенні		—	
	8.3 Існує ризик ураження електричним струмом при поданні напруги		—	
	8.4 Перед ввімкненням перевіряється схема підключення	+		
Етап 9. Прибирання робочого місця	9.1 Демонтовані лампи збираються у спеціальну тару	+		
	9.2 Під час прибирання існує ризик порізів уламками скла		—	

За результатами проведеного спостереження встановлено, що під час виконання робіт із модернізації системи освітлення основними небезпечними факторами є можливість ураження електричним струмом, ризик падіння працівників під час робіт на висоті, пошкодження люмінесцентних ламп із можливим виділенням парів ртуті, а також небезпека механічного травмування уламками скла.

Разом із цим на більшості етапів робіт забезпечується дотримання основних вимог охорони праці, зокрема використання справного електромонтажного інструменту, проведення знеструмлення освітлювальної мережі, контроль відсутності напруги та організація безпечного робочого місця.

На основі отриманих результатів визначено індекс Елмері:

$$I_E = \frac{13}{26} \cdot 100\% = 50\%.$$

Отримане значення індексу свідчить про середній рівень безпеки виконання робіт та наявність значної кількості потенційно небезпечних виробничих факторів. Для підвищення рівня безпеки необхідно посилити контроль за виконанням електромонтажних робіт, дотриманням порядку знеструмлення освітлювальних мереж, а також забезпечити додатковий контроль під час робіт із люмінесцентними лампами та виконання монтажу на висоті.

6.5 Засоби індивідуального захисту під час модернізації системи освітлення

Під час виконання робіт із модернізації системи штучного освітлення працівники піддаються впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, зокрема електричного струму, можливості механічного травмування, робіт на висоті, впливу уламків скла та підвищеного зорового навантаження.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

Для забезпечення безпечних умов праці необхідним є використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), які відповідають характеру виконуваних електромонтажних робіт [51].

Вибір засобів індивідуального захисту здійснюється залежно від умов виконання робіт, виду електромонтажних операцій та рівня виробничої небезпеки. Під час модернізації системи освітлення застосовуються засоби захисту голови, рук, органів зору, спеціальний захисний одяг, захисне взуття та засоби захисту під час робіт на висоті.

Основні засоби індивідуального захисту, які використовуються під час модернізації системи освітлення, наведені у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або модель	Гарантований термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Захист від механічних забруднень та незначних механічних ушкоджень	Костюм робочий бавовняний	12 місяців	Використовується під час електромонтажних робіт у приміщенні
Захисне взуття	Захист ніг від механічних ушкоджень та ковзання	Черевики робочі з нековзкою підошвою	12 місяців	Підошва стійка до стирання та ковзання
Захист рук	Захист від порізів та механічних ушкоджень	Рукавички монтажні з поліестеру	5 робочих змін	Використовуються під час демонтажу та монтажу світильників
Діелектричні рукавички	Захист від ураження електричним струмом	Діелектричні рукавички до 1000 В	6 місяців	Використовуються під час робіт в електроустановках

Продовження таблиці 6.7

Захист голови	Захист від падіння інструменту та механічних ушкоджень	Захисна каска з полікарбонату	2 роки	Використовується під час монтажних робіт на висоті
Захист очей	Захист очей від уламків скла та пилу	Захисні окуляри закритого типу	2 роки	Полікарбонатні лінзи зі стійкістю до механічного впливу
Захист органів дихання	Захист від пилу та можливих випарів при пошкодженні ламп	Респіратор FFP2	До 1 робочої зміни	Використовується під час роботи з люмінесцентними лампами
Захист для роботи на висоті	Захист від падіння під час монтажу світильників	Запобіжний пояс ПЛ-2	До першого пошкодження	Використовується при роботі на висоті понад 1,3 м
Захист органів слуху	Зниження шумового навантаження під час роботи електроінструменту	Протишумові вкладиші	6 місяців	Зниження рівня шуму до 10 дБ

Застосування засобів індивідуального захисту дозволяє суттєво знизити ризик виробничого травматизму під час виконання електромонтажних робіт. Особливе значення під час модернізації системи освітлення мають діелектричні рукавички, захисні окуляри та засоби захисту від падіння з висоти, оскільки основні небезпечні фактори пов'язані з роботами в електроустановках та монтажем світильників під стелею приміщень.

Усі засоби індивідуального захисту повинні проходити періодичний контроль технічного стану та використовуватись відповідно до вимог нормативних документів з охорони праці та електробезпеки.

6.6 Дії працівників та засоби пожежної безпеки під час виникнення пожежі

Під час виконання робіт із модернізації системи штучного освітлення існує ймовірність виникнення пожежонебезпечних ситуацій, пов'язаних із коротким замиканням, пошкодженням ізоляції провідників, неправильним підключенням світильників або несправністю електромонтажного інструменту. У зв'язку з цим працівники електромонтажної бригади повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння та знати порядок дій у разі виникнення пожежі.

Під час виконання електромонтажних робіт на робочому місці повинні бути наявні:

- вуглекислотний або порошковий вогнегасник;
- діелектричні рукавички;
- аптечка першої допомоги;
- справний засіб зв'язку для виклику пожежно-рятувальної служби;
- схема евакуації з приміщення.

Для електроустановок напругою до 1000 В доцільно використовувати вуглекислотні вогнегасники, оскільки вони дозволяють гасити електрообладнання без пошкодження електричних елементів та без ризику ураження працівників електричним струмом.

У разі виникнення пожежі працівники повинні діяти відповідно до встановленого порядку:

1. Негайно припинити виконання робіт.
2. Знеструмити ділянку електромережі, на якій виникла пожежа.
3. Повідомити інших працівників про небезпеку.
4. Викликати пожежно-рятувальну службу за номером 101.
5. Розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння.

Під час гасіння пожежі в електроустановках забороняється використовувати воду або пінні вогнегасники до повного відключення

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

електроживлення, оскільки це може призвести до ураження електричним струмом.

Основні засоби пожежної безпеки та порядок їх використання наведені у таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Засоби пожежної безпеки та дії працівників у разі пожежі

Засіб або дія	Призначення	Особливості застосування
Вуглекислотний вогнегасник	Гасіння електрообладнання під напругою	Використовується для електроустановок до 1000 В
Порошковий вогнегасник	Ліквідація локальних загорянь	Допускається використання в електрощитових
Діелектричні рукавички	Захист працівника від ураження струмом	Використовуються під час знеструмлення мережі
Аптечка першої допомоги	Надання допомоги постраждалим	Повинна знаходитися у доступному місці
Засіб зв'язку	Виклик аварійних служб	Використовується для виклику служби 101
Знеструмлення мережі	Усунення джерела займання	Виконується перед гасінням пожежі
Евакуація працівників	Запобігання травмуванню людей	Проводиться відповідно до плану евакуації

Дотримання вимог пожежної безпеки та правильний порядок дій у разі виникнення пожежі дозволяють мінімізувати наслідки аварійної ситуації, запобігти поширенню вогню та забезпечити безпечну евакуацію працівників із приміщення.

Висновок до 6 розділу

У даному розділі досліджено питання забезпечення охорони праці та пожежної безпеки під час виконання робіт із модернізації системи штучного освітлення шляхом заміни застарілих джерел світла на сучасні LED-світильники. Проведений аналіз показав, що виконання електромонтажних

робіт у діючих електроустановках належить до робіт підвищеної небезпеки та потребує суворого дотримання вимог електробезпеки, правил виконання робіт на висоті та використання справного монтажного обладнання.

У процесі роботи визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для модернізації системи освітлення, серед яких найбільш небезпечними є ураження електричним струмом, ризик падіння працівників під час монтажу світильників, механічні травми під час демонтажу ламп та можливість пошкодження люмінесцентних джерел світла. Для забезпечення безпечних умов праці сформовано перелік основних електромонтажних робіт, визначено склад бригади та проаналізовано організацію виконання монтажних операцій.

Оцінювання умов праці методом Елмері дозволило встановити рівень безпеки виконання робіт та виявити потенційно небезпечні операції, що потребують посиленого контролю. Отримане значення індексу Елмері підтвердило необхідність постійного контролю технічного стану електромонтажного обладнання, правильності знеструмлення мережі та дотримання безпечної технології виконання робіт.

Для зниження ризику виробничого травматизму обґрунтовано використання засобів індивідуального захисту, зокрема діелектричних рукавичок, захисних окулярів, касок, спеціального взуття та засобів захисту під час робіт на висоті. Також розглянуто основні вимоги пожежної безпеки, порядок дій працівників у разі виникнення пожежі та перелік первинних засобів пожежогасіння, які повинні застосовуватись під час електромонтажних робіт.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

ВИСНОВОК

У дипломній роботі виконано комплексний аналіз енергетичного стану будівлі загальноосвітньої школи №7 та розроблено технічні рішення, спрямовані на підвищення рівня її енергоефективності, зменшення споживання енергетичних ресурсів і підвищення надійності функціонування інженерних систем.

Виконано розрахунок електричних навантажень об'єкта та проведено оцінювання режимів електроспоживання. За результатами дослідження встановлено потенціал скорочення споживання електричної енергії за рахунок модернізації систем освітлення, удосконалення систем обліку та впровадження сучасних засобів контролю енергоспоживання.

На основі теплотехнічних розрахунків проведено оцінку теплового стану будівлі та визначено величини втрат теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції. Отримані результати підтвердили необхідність реалізації комплексу заходів з термомодернізації, спрямованих на підвищення теплозахисних характеристик будівлі та зменшення витрат теплової енергії.

У роботі обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованої системи енергетичного моніторингу, яка забезпечує безперервний контроль параметрів енергоспоживання, підвищує оперативність прийняття управлінських рішень та створює основу для ефективного функціонування системи енергоменеджменту закладу.

Окремим напрямом дослідження стало використання відновлюваних джерел енергії. Виконано технічне та економічне обґрунтування встановлення сонячної електростанції для часткового покриття власних потреб школи в електричній енергії.

У розділі з охорони праці виконано аналіз потенційних небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час модернізації штучного освітлення.

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996 (дата звернення: 21.05.2026).
2. АТ «Херсонобленерго». Офіційний сайт. URL: <https://ksoe.com.ua/> (дата звернення: 24.05.2026).
3. Кабель силовий АБВГ 4×95 мм² (алюмінієвий, 0,66/1 кВ). 001.com.ua. URL: <https://001.com.ua/uk/kabel-sylovyy-avvg-4x95-mm2-zhorstkyy-z-alyuminiyevymy-zhylamy-yevropan> (дата звернення: 25.05.2026).
4. Ввідно-розподільчі пристрої (ВПП або ВРУ). Аско.ua. URL: <https://www.acko.ua/solutions/promislovist/vvidni-rozpodilchi-pristroi-vrp-abo-vru/> (дата звернення: 30.05.2026).
5. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/44177b49efb78f66ddd5046b711b4db2> (дата звернення: 29.05.2026).
6. PRO1 R електричний накопичувальний водонагрівач. Ariston. URL: <https://www.ariston.com/ua-ua/produktsiyi/vodonagrivachi/elektrichni-nakopichuval-ni-vodonagrivachi/pro1-r/> (дата звернення: 21.05.2026).
7. ATLANTIC OPRO 100 VM 100 D400-1-M 2000 W. Atlantic Ukraine. URL: <https://atlantic.com.ua/ua-ua/produktsiyi/vodonagrivachi/elektrichni-nakopichuval-ni-vodonagrivachi/pro1-r/> (дата звернення: 27.05.2026).
8. VENTS VK 200. Канальний відцентровий вентилятор. VENTS. URL: <https://vents.ua/product/vk-200/> (дата звернення: 28.05.2026).
9. Кондиціонер Cooper&Hunter CH-S12FTX5 Winner Inverter. Cooper&Hunter. URL: <https://cooper-hunter.com.ua/prodazha/konditsionery-bytovye/nastennye/cooperhunter/winner/cooperandhunter-ch-s12ftx5/> (дата звернення: 30.05.2026).

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

10. Види ламп розжарювання: розбираємося у всіх нюансах. Expertka.com.ua. URL: <https://expertka.com.ua/blog-materialiv/budivnytstvo/vsi-riznovidi-lamp-rozzharyuvannya-rozbiraemosya-u-vsikh-nyuansakh.html> (дата звернення: 30.05.2026).

11. Люмінесцентні лампи: технічні характеристики, види, сфери використання. URL: <https://landorra.dn.ua/obzory/luminescentni/uk/vred-luminescentni-lampi-tehnicni-harakteristiki.aspx> (дата звернення: 30.05.2026).

12. Електрична плита ЕПК-47ЖШ Abat. Koral.biz.ua. URL: <https://korall.biz.ua/ua/plita-elektricheskaya-epk-47zhsh-abat> (дата звернення: 30.05.2026).

13. Конвекційна піч UNOX XF023. UNOX. URL: <https://unox.kiev.ua/product/xf023/> (дата звернення: 30.05.2026).

14. Електром'ясорубка Fimar 22/RS 3ph CE. System4. URL: <https://system4.ua/uk/product/elektromyazorubka-fimar-22-rs-3ph-ce> (дата звернення: 31.05.2026).

15. Попов В. А., Ткаченко В. В., Ярмолук О. С. Системи електропостачання: розрахункова робота [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. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 90 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e56ab1a2-687a-43c7-8595-7a6cf71fda3f/content> (дата звернення: 30.05.2026).

16. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/c23f70485c6bc8e8cd1825b3d19aa12a> (дата звернення: 30.05.2026).

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

17. Основні світлотехнічні величини та одиниці їх вимірювання. Corelamps. URL: <https://corelamps.com/yak-obraty-svitylnyk-chy-lampochku/osnovni-svitlotekhnichni-velychyny/> (дата звернення: 30.05.2026).
18. SankeyMATIC: online tool for creating Sankey diagrams. URL: <https://sankeymatic.com/> (дата звернення: 01.06.2026).
19. Трифазний електронний лічильник електричної енергії серії GAMA 300. Elgama-Elektronika. URL: <https://www.elgama.com.ua/tryfaznyj-gama-300/> (дата звернення: 02.06.2026).
20. Лампа світлодіодна Philips CorePro LEDbulb E27 10W 230V 4000K (929001179502). ROZETKA. URL: https://build.rozetka.com.ua/ua/philips_929001179502/p34565311/ (дата звернення: 30.05.2026).
21. Philips MASTER LEDtube 1200 mm 18W 840 T8 I W (929001187712). URL: <https://ledtema.com.ua/lampi-kupity-optom/lampi/philips-master-ledtube-1200-mm-18w-840-t8-i-w-929001187712-lampa-led> (дата звернення: 30.05.2026).
22. PHILIPS MASTER LEDtube VLE 600 mm HO 8W 840 T8. BMTLED. URL: <https://www.bmtled.com/philips-t8-tube-master-series/philips-master-ledtube-vle-600mm-ho-8w-840-t8-929002021202.html> (дата звернення: 30.05.2026).
23. Світильник DELUX 90011720 (датчик руху ST10A 180°). ROZETKA. URL: https://build.rozetka.com.ua/ua/delux_90011720/p45031880/ (дата звернення: 30.05.2026).
24. Плита індукційна Abat КИП-47Н (артикул 71000019410). URL: <https://restorg.com.ua/induktsiyna-plyta-abt-71000019410/> (дата звернення: 30.05.2026).
25. Altivar 12 (ATV12) – перетворювач частоти Schneider Electric. ElectroControl. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/preobrazovateli-chastoty/schneider-electric/altivar-12/> (дата звернення: 03.06.2026).
26. Реле напруги ZUBR D63t (з термозахистом). Amperok. URL: https://amperok.com.ua/rele_naprugy_zubr_d63t (дата звернення: 30.05.2026).

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

27. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 30.05.2026).

28. Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 04.06.2026).

29. ДБН В.2.2-3:2018. Заклади освіти. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/bcdd00b3894a0c6556afdbf04b0cdbf5> (дата звернення: 30.05.2026).

30. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/7b5a549d5593441ff02db619df390d0d> (дата звернення: 30.05.2026).

31. ДБН В.1.2-11:2021. Енергозбереження та енергоефективність. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/f33b1d91fbc9c7e4acaf6dc7bd3f2b7e> (дата звернення: 30.05.2026).

32. ДСТУ ISO 50001:2014. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT). URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2014.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

33. ISO 13790:2004. Thermal performance of buildings — Calculation of energy use for space heating. Geneva : International Organization for Standardization, 2004. URL: <https://www.scribd.com/document/700484607/ISO-13790-2004> (дата звернення: 30.05.2026).

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

34. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL:

<https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

35. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast) (Text with EEA relevance) [Електронний ресурс] // Official Journal of the European Union. 2024. OJ L 1275. URL: https://build-up.ec.europa.eu/system/files/2024-05/OJ_L_202401275_EN_TXT.pdf (дата звернення: 10.06.2026).

36. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. URL: <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyaczijnogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf> (дата звернення: 05.06.2026).

37. Енергозбереження будівель та споруд: розрахункова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d674a78c-63c9-4459-8c94-4b7af96443c3/content> (дата звернення: 06.06.2026).

38. Мінеральна вата IZOVAT 125 кг/м³ (базальтова теплоізоляція). Budizol. URL: <https://budizol.kiev.ua/mineralna-vata-izovat-125-kgm3-ua> (дата звернення: 30.05.2026).

39. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель щодо якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT). Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та

					ННІЕЕ.1909-с.ОН-з21.ДП.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

житлово-комунального господарства України, 2012. URL: http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

40. Індивідуальний тепловий пункт. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Індивідуальний_тепловий_пункт (дата звернення: 06.06.2026).

41. Роль хмарних технологій в IoT-пристроях: в чому їх переваги. GigaCloud. URL: <https://gigacloud.ua/articles/rozbyrayemo-rol-hmarnyh-tehnologij-v-iot-prystroyah-v-chomu-yih-perevagy/> (дата звернення: 07.06.2026).

42. Автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів (АСОЕ). Компанія СЕА. URL: <https://www.sea.com.ua/ua/asoe/> (дата звернення: 01.06.2026).

43. Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ). URL: <https://asem.com.ua/> (дата звернення: 08.06.2026).

44. Клімат Херсонської області. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Клімат_Херсонської_області (дата звернення: 30.05.2026).

45. Сонячна панель LONGi Solar (фотоелектричний модуль). Solarplace. URL: <https://solarplace.com.ua/p2762242106-sonyachna-panel-longi.html> (дата звернення: 31.05.2026).

46. SUN2000-30KTL-M3 – мережевий трифазний фотоелектричний інвертор. Sun Energy. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/sun2000-30ktl-m3> (дата звернення: 31.05.2026).

47. Кабель для сонячних панелей PV1-F 1×6 мм² (сонячний кабель для фотоелектричних систем). ELSNAB. URL: <https://elsnab.com.ua/kabel-i-provod/kabel-dlya-solnechnyh-paneley-solar-pv1-f-1h6-solnechnyy-kabel-dlya-paneley> (дата звернення: 31.05.2026).

48. Мультиметри: що це таке, для чого потрібні та як обрати. Е-Lab.
URL: <https://e-lab.com.ua/electronics-basics/multymetry-shcho-tse-take-dlia-choho-potribni-ta-iak-obraty.html> (дата звернення: 30.05.2026).

49. НПАОП (нормативно-правовий акт з охорони праці) // ДНАОП:
нормативно-правова база з охорони праці. URL:
https://dnaop.com/html/32419_6.html (дата звернення: 09.06.2026).

50. Електронний архів Метінвест Політехніка. URL:
<https://dspace.mipolytech.education/server/api/core/bitstreams/5a69d0c8-e16f-42d3-8bdf-3afaf27af64f/content> (дата звернення: 30.05.2026).

51. Про затвердження мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я
при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому
місці : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.11.2018 № 1804,
зареєстрований у Міністерстві юстиції України 27.12.2018 № 1494/32946 // База
даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18> (дата звернення: 30.05.2026).

52. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних
процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна
кліматологія. Чинний від 01.11.2011. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
URL: <https://www.klimatvdomi.com/pdf/1.1-27.2010.pdf> (дата звернення:
10.06.2026).

ДОДАТКИ

Додаток А. Тепловізійні знімки будівлі

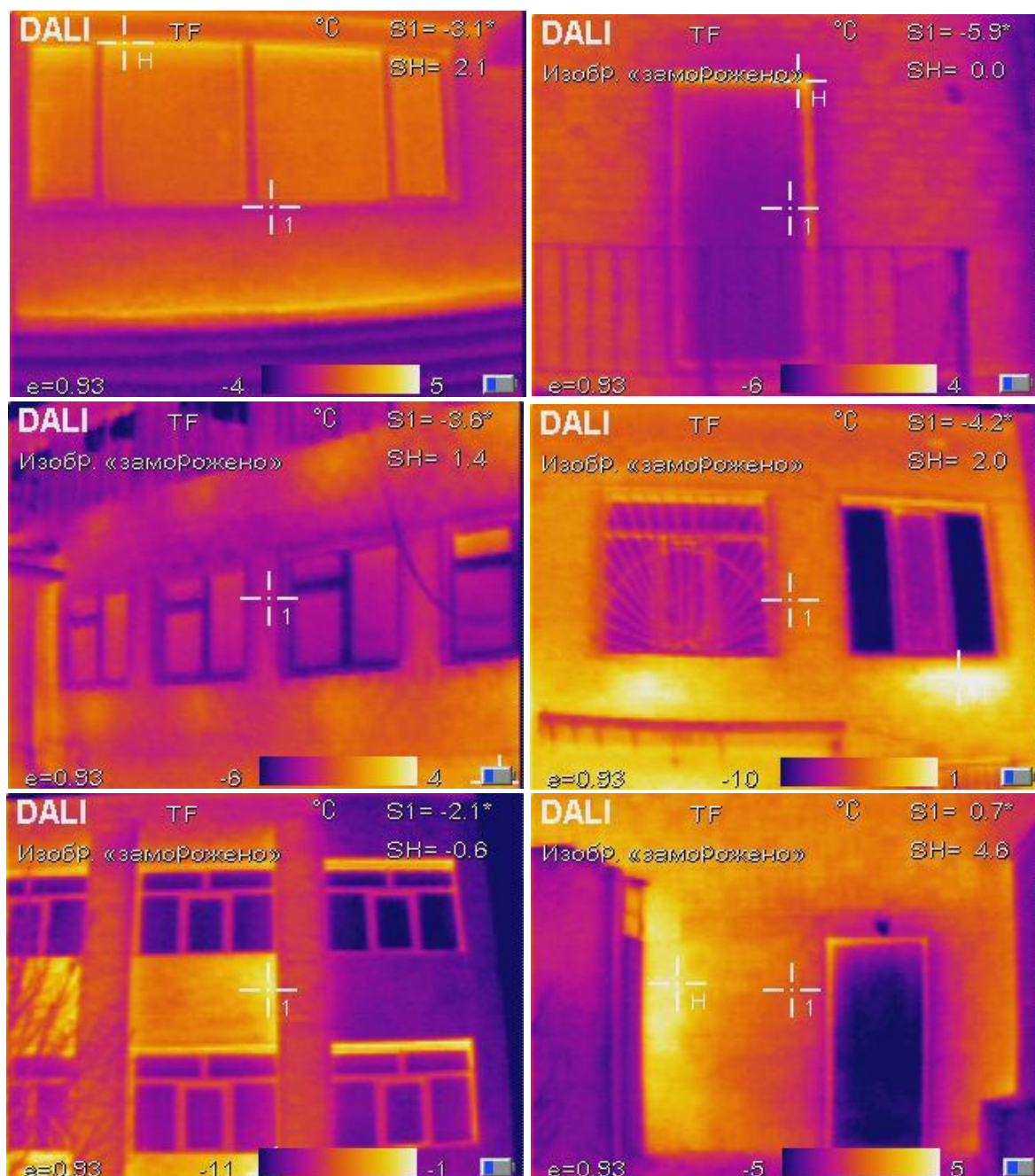


Рисунок А.1 – Тепловізійне обстеження фасаду та віконних конструкцій будівлі

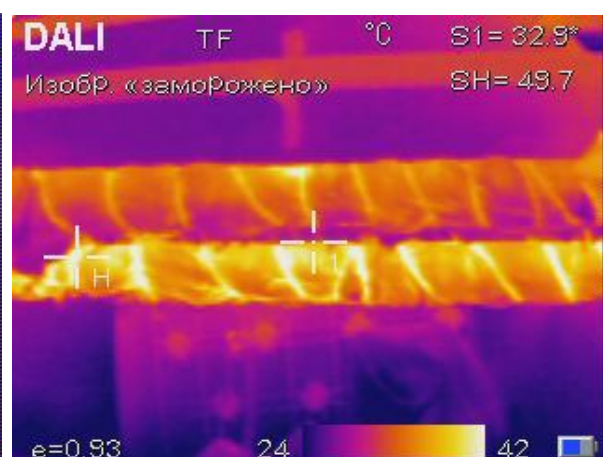
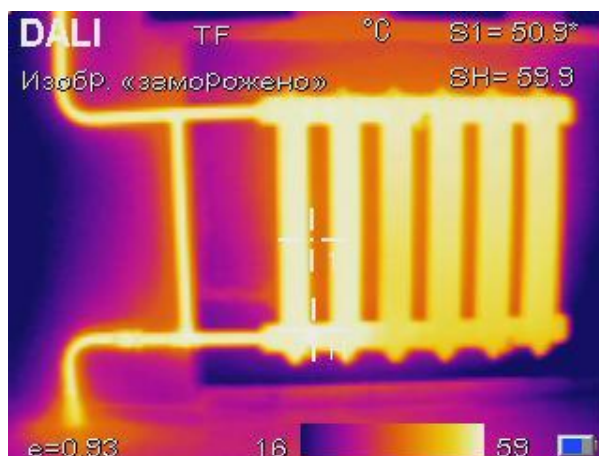


Рисунок А.1 – Тепловізійне обстеження в середині будівлі