

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: Підвищення енергонезалежності будівлі гуртожитку із

застосуванням гібридної дахової сонячної електростанції

Виконав (-ла):

студентка IV курсу, групи ОН-11

Криштопайтис Поліна Олексіївна _____

Керівник:

к.т.н., доц. Чернявський Анатолій Володимирович _____

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

доц. Торопов А.В.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

Студентка _____

Київ – 2025 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

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Криштопайтис Поліні Олексіївні

1. Тема проєкту «Підвищення енергонезалежності будівлі гуртожитку із застосуванням гібридної дахової сонячної електростанції», керівник проєкту к.т.н., доц. Чернявський Анатолій Володимирович, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “13” червня 2025 р.

3. **Вихідні дані до проєкту** схема теплопостачання, переїлк споживачів та їх технічні характеристики, споживання ПЕР за останні три роки.

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

- а) електрична частина: - Аналіз ефективності використання електричної енергії на об’єкті;
- б) теплова частина: - Визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та заходів з її підвищення;

в) охорона праці та пожежна безпека: - Охорона праці та пожежної безпеки під час експлуатації гібридної дахової сонячної станції.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Схема теплопостачання будівлі гуртожитку.
2. Заходи з енергозбереження в тепловій частині.
3. Система електропостачання будівлі та рекомендовані заходи.
4. Проєкт встановлення гібридної СЕС.

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. Третьякова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “22” травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом Криштопайтис П.О.

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
	Розрахунок електричної частини	28.05.-05.06.25	
	Розрахунок теплової частини	05.06.-09.06.25	
	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	09.06.-12.06.2025	
	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.25	
	Захист дипломного проєкту	20.06.25	

Студент

Поліна КРИШТОПАЙТИС

Керівник проєкту

Анатолій ЧЕРНЯВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему: «Підвищення енергоне залежності будівлі гуртожитку із застосуванням гібридної дахової сонячної електростанції». Дипломний проєкт містить 79 сторінки основного тексту, 29–ми рисунків, 18 таблиць, 45–ти літературних джерел з переліком посилань та 2 додатки. Розрахунки та побудова графіків зроблені в програмних застосунках «Microsoft Excel» та «PV SOL».

Метою дипломного проєкту є підвищення енергоне залежності будівлі гуртожитку за допомогою застосування гібридної дахової сонячної електростанції.

Об’єкт дослідження. Гуртожиток №21 НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського.

Предмет дослідження. Техніко–економічне обґрунтування, моделювання та аналіз впровадження гібридної сонячної електростанції на даху гуртожитку з метою зменшення залежності від централізованого енергопостачання, підвищення енергоефективності будівлі та забезпечення безперебійного електропостачання.

Методи дослідження. Застосовані методи теоретичного аналізу та узагальнення науково–технічних джерел для обґрунтування доцільності впровадження гібридної сонячної електростанції у структурі енергопостачання гуртожитку. Розрахункові методи використовувалися для оцінки енергетичних характеристик будівлі, визначення рівня її енергоспоживання, потенціалу сонячної генерації на основі кліматичних даних регіону та геометричних параметрів даху. Для моделювання роботи гібридної системи застосовано елементи енергетичного балансування, що дозволили врахувати взаємодію між сонячною генерацією, акумулюючими пристроями та основною мережею.

Результати роботи. За результатами виконаної роботи було проведено розрахунок існуючої системи електро– та теплопостачання. Також було проведено аналіз основних груп споживачів електричної енергії та

розроблено ряд заходів на зменшення використання електричної енергії. Розраховано тепловитрати через зовнішні огорожувальні конструкції та розроблено ряд заходів, спрямованих на покращення термічного опору цих конструкцій, що приведе до зменшення тепловитрат. Розроблено проект по встановленню гібридної СЕС на даху будівлі, а також визначено основні економічні показники даного проєкту.

Ключові слова: ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕПЛОВИТРАТИ, ТЕРМІЧНИЙ ОПІР.

ABSTRACT

Thesis project on the topic: “Improving the energy independence of a dormitory building using a hybrid rooftop solar power plant.” The thesis project contains 79 pages of main text, 29 figures, 18 tables, 45 references with a list of references, and 2 appendices. Calculations and graphs were made using Microsoft Excel and PV SOL software applications.

The aim of the thesis project is to increase the energy independence of a dormitory building with a hybrid rooftop solar power plant.

Object of research. Dormitory No. 21 of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.

Subject of research. Technical and economic justification, modeling, and analysis of the implementation of a hybrid solar power plant on the roof of the dormitory to reduce dependence on centralized energy supply, increase the energy efficiency of the building, and ensure uninterrupted power supply.

Research methods. Methods of theoretical analysis and generalization of scientific and technical sources were used to justify the feasibility of implementing a hybrid solar power plant in the energy supply structure of the dormitory. Calculation methods were used to assess the energy characteristics of the building, determine its energy consumption level, and solar generation potential based on regional climate data and roof geometry parameters. To model the operation of the

hybrid system, energy balancing elements were used, which made it possible to consider the interaction between solar generation, storage devices, and the main grid.

Results of the work. Based on the results of the work performed, the existing electricity and heat supply system was calculated. An analysis of the main groups of electricity consumers was also carried out, and a few measures to reduce electricity consumption were developed. Heat losses through external enclosing structures were calculated, and a few measures were developed to improve the thermal resistance of these structures, which will lead to a reduction in heat losses. A project was developed to install a hybrid solar power plant on the roof of the building, and the main economic indicators of this project were determined.

Keywords: RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY INDEPENDENCE, EFFICIENCY, HEAT LOSSES, THERMAL RESISTANCE.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ

АКБ – акумуляторна батарея

АСКОЕ – Автоматизована система керування та обліку електроенергії

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ГВП – гаряче водопостачання

ЕЕ – електрична енергія

ЕМ – енергетичний менеджмент

ЕП – електроприлад

ЗОК – зовнішні огорожувальні конструкції

ККД – коефіцієнт корисної дії

МРРТ – контролер заряду сонячних батарей

СЕС – сонячна електростанція

ТП – трансформаторна підстанція

ФП – фотоелектричні панелі

ХВП – холодне водопостачання

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ	13
1.1 Короткий опис об'єкту	13
1.2 Короткий опис інженерних систем	15
1.2.1 Система опалення.....	15
1.2.2 Система вентиляції та кондиціонування	16
1.2.3 Система водопостачання	17
1.2.4 Система освітлення.....	17
1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні два роки	18
1.4 Існуючі тарифи на енергоносії.....	21
1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності	21
Висновки по розділу 1	22
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	23
2.1 Існуючі тарифи на енергоносії.....	23
2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії	25
2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі.....	26
2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного освітлення ...	29
2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту в аналітичній формі.....	29
2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об'єкті.....	31
2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії.....	32
Висновки по розділу 2	34

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		8

3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....	36
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності будівель та сучасного стану справ в сфері ЖКГ	36
3.2 Визначення теплового навантаження будівлі	38
3.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов	43
3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій	44
3.5 Рекомендації для інженерних мереж.....	50
Висновки по розділу 3	52
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	53
4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту на подібних об'єктах в Україні, в тому числі нормативно–правові вимоги.....	53
4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів	54
4.3 Рекомендації щодо організаційно–управлінських заходів	56
Висновки по розділу 4	56
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТИ	58
5.1 Програмне забезпечення.....	58
5.2 Проектування гібридної СЕС.....	59
5.3 Вибір перерізу кабелів постійного струму	66
5.4 Вибір кабелів живлення змінного струму.....	68
5.5 Вибір автоматичного вимикача QF1.....	68
5.6 Вибір обмежувачів перенапруг	68
5.7 Вибір запобіжників	69
5.8 Визначення падіння напруги під час протікання змінного струму	70
5.9 Аналіз затінення	72

5.10	Задання параметрів акумуляторів для спроектованої системи	72
5.11	Електроспоживання будівлі.....	74
5.12	Симуляція отриманої системи	74
5.13	Економічна оцінка проекту	76
	Висновки по розділу 5	78
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІБРИДНОЇ ДАХОВОЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	79
6.1	Технічна характеристика обладнання	79
6.2	Перелік робіт та виконавці	79
6.3	Характеристика умов праці.....	81
6.4	Визначення шкідливих чинників.....	82
6.5	Вибір відповідних заходів і засобів з обмеження шкідливих чинників та електробезпеки	83
6.6	Розрахунок блискавкозахисту	85
6.7	Вибір заходів з пожежотушіння.....	86
	Висновки по розділу 6	87
	ВИСНОВКИ.....	89
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
	ДОДАТОК А	97
	ДОДАТОК Б.....	98

ВСТУП

У світі відбуваються зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінували великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізується домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та/або шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії із відновлюваних та альтернативних джерел [1].

Серед відновлювальних джерел енергетики особливе місце займає сонячна енергетика, адже вона має низку переваг: майже невичерпний ресурс, автономність і незалежність від центральних енергомереж, екологічна вигода, зниження витрат на електрику та масштабність [2].

На сьогодні, Україна, перебуваючи у стані війни, демонструє стабільне зростання сонячної електроенергії. Регулярні блекаути, спричинені атаками на інфраструктуру, зростання тарифів на електроенергію та прагнення до енергонезалежності роблять сонячну енергію не лише актуальною, а й стратегічно важливою для майбутнього країни. У 2024 році ринок сонячної енергетики став доступнішим завдяки зниженню вартості обладнання на 40%. Особливої уваги дане питання набуває для житлових будинків, зокрема гуртожитків, які мають стабільне енергоспоживання та великі площі дахів для встановлення сонячних панелей. Підвищення рівня енергоефективності таких будівель сприяє не лише економії коштів на оплату енергоресурсів, але й покращенню комфорту проживання мешканців, зменшенню ризиків збоїв або планових відключень у разі обстрілів, а також поліпшенню екології в країні [3].

Метою цього проєкту покращення енергетичної автономії будівлі гуртожитку шляхом впровадження гібридної сонячної електростанції,

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		11

розміщеної на даху.

Отже, виконання цього проєкту сприятиме, по–перше, підвищенню рівня енергетичної ефективності будівлі; по–друге, покращить рівень енергонезалежності в умовах обмеження потужностей паливно–енергетичного сектору.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		12

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Короткий опис об'єкту

Об'єктом дипломного проєктування є гуртожиток №21 сімейного типу НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, який зображено на рисунку 1.1.

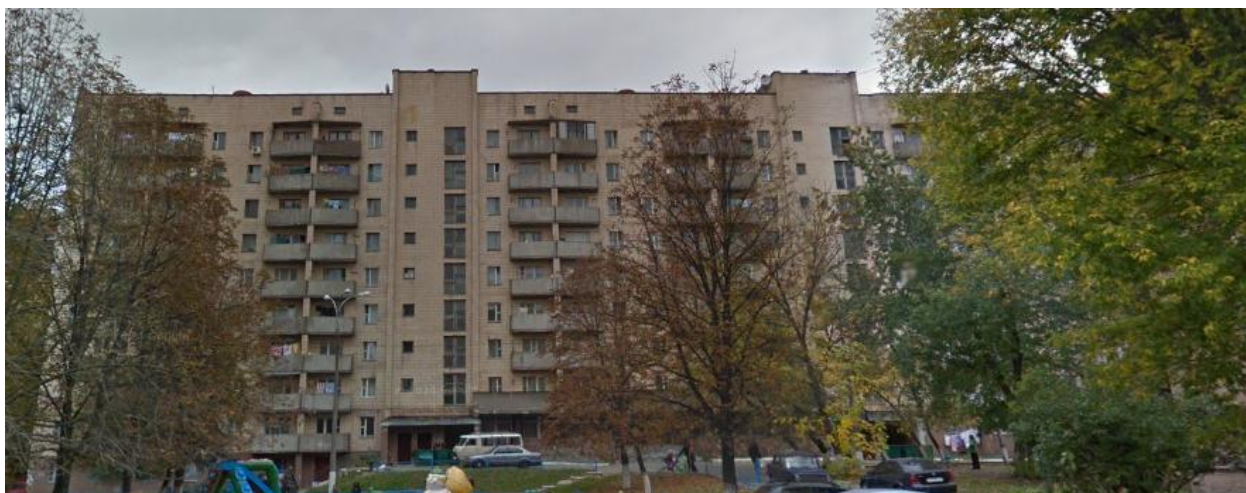


Рисунок 1.1 – Гуртожиток №21 НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського

Дана будівля розташована за адресою м. Київ, Солом'янський район, Ковальський провулок, 22А представлено на рисунку 1.2.

Гуртожиток є 9-ти багатоповерховою цегляною будівлею, розрахованою на 565 кімнат, враховуючи місця відпочинку для адміністрації гуртожитку. Рік забудови – 1980 рік. Будівля призначена для проживання студентів–аспірантів та сімейних студентів. Наявні дитячі кімнати, в яких діти можуть як навчатись так і гратись, часто використовують як укриття «дві стіни». В гуртожитку наявні 2 пасажирські ліфти, які потребують заміни.

					ОН-11.21.013		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ		
Розроб.	Криштопайтис						
Перев.	Чернявський А.В.						
Реценз.	Торопов А. В.						
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.						
Затверд.	Бориченко О.В.				НН ІЕЕ		
					Лист.	Лист	Листів
						13	

Гуртожиток функціонує понад 40 років, що призвело до низки проблем з енергоефективністю. Основні труднощі включають фізичне зношення будівельних елементів, недосконалість системи опалення, низький рівень теплоізоляції зовнішніх стін та даху, а також неекономне споживання електроенергії. Суттєві втрати тепла спостерігаються через зовнішні конструкції, зокрема стіни, вікна та двері.

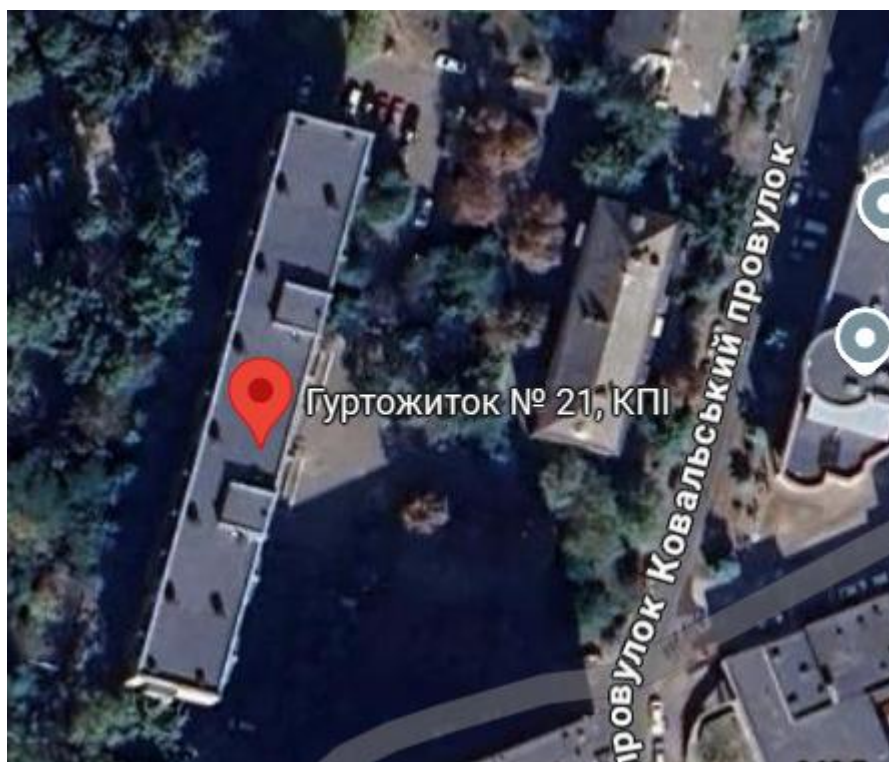


Рисунок 1.2 – Географічне розташування гуртожитку №21 НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського

Форма будівлі – прямокутна. Геометричні дані наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Геометричні дані гуртожитку

Параметр	Кількість, м
Висота	25,2
Ширина	13,85
Довжина	83,50

Загальна площа 1-го поверху становить 1156,5 м². Всі розраховані дані опалювальної та неопалювальної частини будівлі представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Загальні параметри опалювального або неопалювального

	Загальний	Опалювальний
Площа, м ²	10 408,5	8 326,8
Об'єм, м ³	29 143,2	23 315

1.2 Короткий опис інженерних систем

1.2.1 Система опалення

Теплопостачання гуртожитку здійснюється за допомогою ТЕЦ-5. В підвалі наявний ІТП, зображений на рисунку 1.3, завдяки якому регулюються параметри подачі теплової енергії до споживача. Система опалення – залежна, однотрубна з чавунними радіаторами, без регулювальної арматури, представлено на рисунку 1.4.

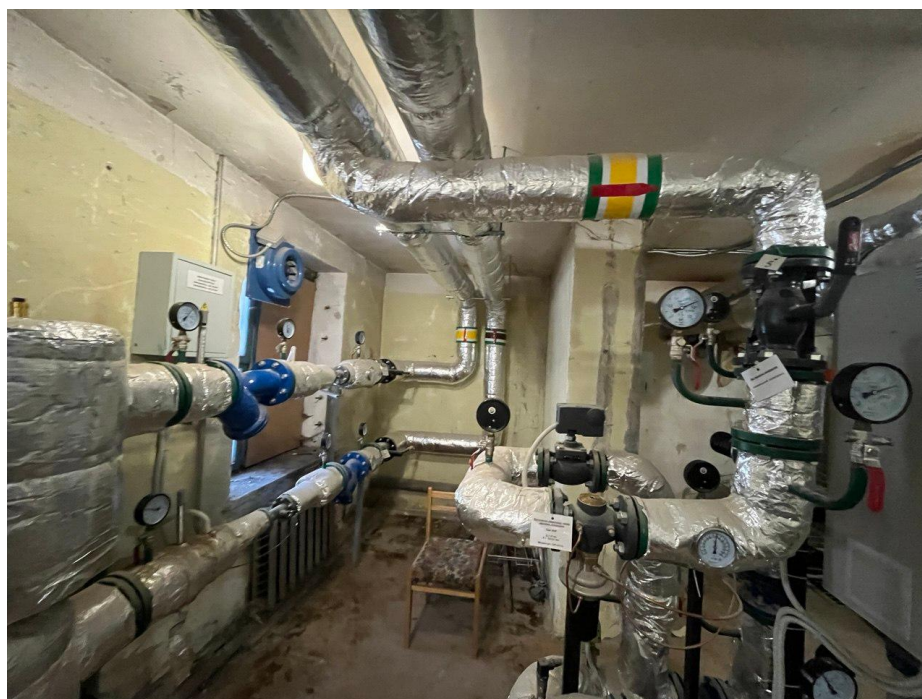


Рисунок 1.3 – Загальний вид ІТП



Рисунок 1.4 – Однотрубна система опалення

1.2.2 Система вентиляції та кондиціонування

Вентиляція будівлі здійснюється в природний спосіб через вентиляційні канали, які виведені на покрівлю, зображені на рисунку 1.5. Система кондиціонування відсутня.



Рисунок 1.5 – Вентиляційні виходи на даху будівлі

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		16

1.2.3 Система водопостачання

Холодна вода до гуртожитку подається від ПрАТ «АК Київводоканал». Після надходження у будівлю вона спрямовується до теплообмінника, де відбувається її нагрів за рахунок теплової енергії з централізованої системи теплопостачання. У результаті нагріта вода подається споживачам як гаряче водопостачання (ГВП).

1.2.4 Система освітлення

Система освітлення у нежитлових приміщеннях (хол, коридор) представлена переважно люмінесцентними (а) та світлодіодними світильниками (б), зображена на рисунку 1.6. У житлових кімнатах освітлення встановлюється мешканцями самостійно, тому облік світильників не ведеться, тому точні дані щодо їхньої кількості й типу відсутні. Датчики руху – не встановлені.



а) люмінесцентні світильники

б) світлодіодні світильники

Рисунок 1.6 – Система освітлення

1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні два роки

В даному гуртожитку обліковуються наступні енергоресурси: електрична енергія, теплова енергія та холодне водопостачання, гаряче водопостачання виконується за допомогою теплообмінника, тому дані по споживанню ГВП відсутні. Дані по споживанню та грошових витрат на ПЕР наведені в таблицях 1.2–1.3. Оскільки в 2022–му році почалось повномасштабне вторгнення, то споживання енергоносіїв не обліковувалось.

Таблиця 1.2 – Споживання електричної енергії протягом 2023–2024 року

Місяць	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість спожитої ел.ен, тис.грн	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість спожитої ел.ен, тис.грн
	2023		2024	
Січень	19090	32071,2	18509	48863,76
Лютий	21610	36304,8	19660	51902,4
Березень	21050,0	35364	17708,0	46749,12
Квітень	22145	37203,6	18245	48166,8
Травень	23916	40178,88	22241	58716,24
Червень	20434	46589,52	19671	84978,72
Липень	16495	43546,8	14367	62067,168
Серпень	18647	49228,08	15819	68338,08
Вересень	16586	43787,04	16036	69275,52
Жовтень	21110	55730,4	21532	93019,104
Листопад	19420	51268,8	19808	85572,288
Грудень	20100	53064	20502	88568,64
Σ	240603	524337,12	224099	806217,84

Таблиця 1.3 – Споживання теплової енергії протягом 2023–2024 року

Місяць	Споживання тепл.ен, Гкал	Вартість спожитої тепл.ен, грн	Споживання тепл.ен, Гкал	Вартість спожитої тепл.ен, грн
	2023		2024	
Січень	188,04	311090,61	210,05	347501,42
Лютий	216,05	357431,72	196,67	325367,27
Березень	169,18	279892,22	177,14	293054,47
Квітень	90,42	149590,85	64,11	106062,08
Травень	45,12	74653,90	31,20	51613,39
Червень	16,45	27219,73	13,57	22450,21
Липень	42,50	70305,45	32,50	53762,43
Серпень	19,01	31450,14	37,67	62320,84
Вересень	11,84	19588,10	44,72	73987,39
Жовтень	15,45	25560,48	45,67	75553,34
Листопад	56,09	92795,29	118,62	196243,11
Грудень	218,87	362100,30	197,11	326106,91
Σ	1089,02	1801678,79	1169,02	1934022,86

Візуальне відображення вищенаведених таблиць представлено на рисунках 1.7–1.8.

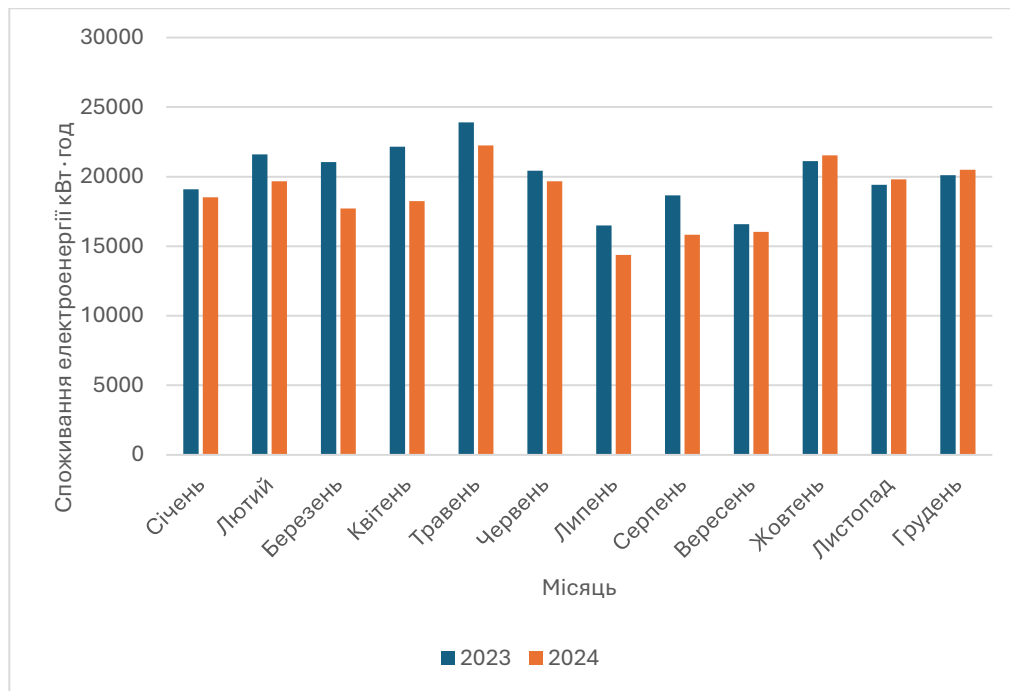


Рисунок 1.7 – Споживання електроенергії кВт·год за 2023 – 2024 рр.

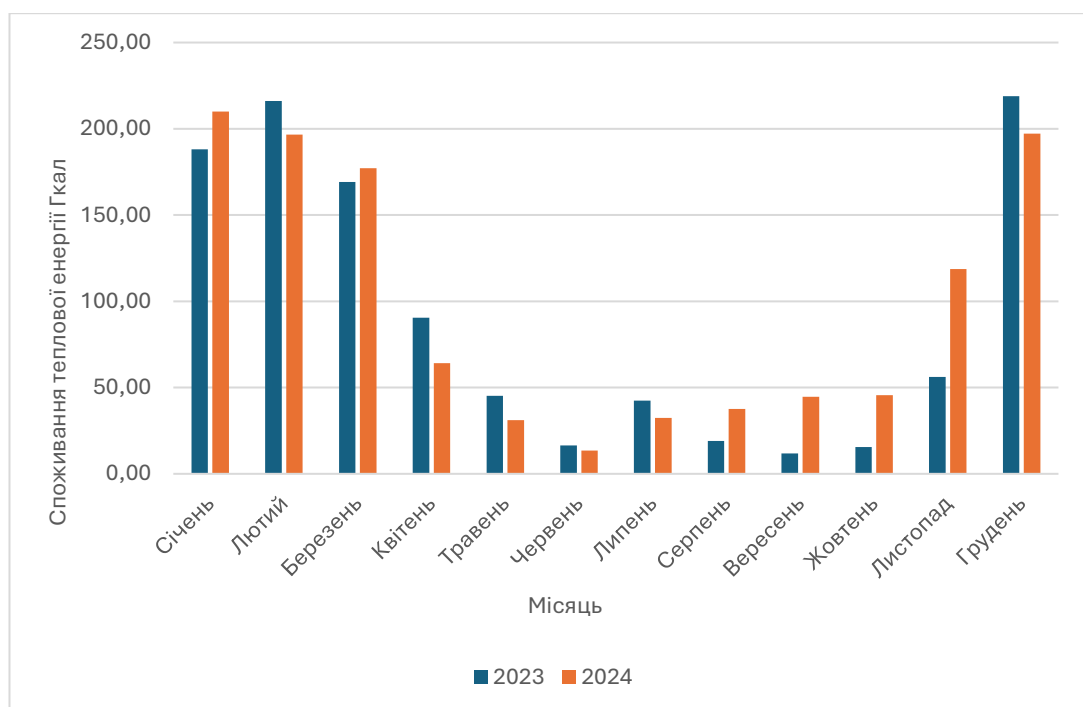


Рисунок 1.8 – Споживання теплової енергії Гкал за 2023 – 2024 рр.

Аналізуючи, вище наведений рисунок 1.7, можна зробити висновок, що споживання електричної енергії в 2024 році зменшилось порівняно з 2023

роком. Проаналізувавши рисунок 1.8, можна побачити, що у 2024 році споживання теплової енергії більше ніж в 2023 році.

1.4 Існуючі тарифи на енергоносії

Динаміка зміни тарифу на електричну енергію за 2023 та 2024 роки, наведена в таблиці 1.4 [4].

Таблиця 1.4 – Зміна вартості на електричну енергію за 2023 та 2024 роки.

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
2023	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	2,28	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
2024	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32

Згідно з рішенням Верховної Ради тариф на теплову енергію для населення протягом дії військового стану та 6 місяців після нього по його закінченню, не змінюється та становить 1654,4 грн за Гкал. [4]

1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності

Згідно з наявною документацією, модернізація віконних блоків розпочалася у 2019 році – дерев'яні конструкції замінювалися на металопластикові. Станом на сьогодні повністю оновлено приблизно 2/3 вікон, решта залишилася без змін через нестачу фінансування. Також було зроблено капітальний ремонт ІТП.

Висновки по розділу 1

В ході реалізації першого розділу дипломної роботи було виконано всебічне вивчення поточного стану будівлі гуртожитку як об'єкта, що аналізується з перспективи покращення енергетичної незалежності. Здійснено аналіз конструктивних параметрів споруди, встановлено особливості планування та організації простору, що впливають на енергетичні процеси. Огляд інженерних мереж та комунікацій виявив, що більшість систем застарілі, що веде до низького рівня енергоефективності об'єкта. Інформація про споживання енергоресурсів вказує на значне навантаження на централізовані джерела енергії та відсутність систем автономного або резервного енергопостачання. З'ясовані недоліки підтверджують необхідність впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема, гібридної дахової сонячної електростанції, з метою зменшення залежності будівлі від зовнішніх постачальників енергії, збільшення її енергетичної автономності та забезпечення безперебійного функціонування в умовах нестабільного енергетичного середовища.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		22

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання об'єкту та її аналіз

Електропостачання гуртожитку відбувається централізовано, від міської електромережі – Київської ТЕЦ–5. Подача електроенергії до споруди реалізується від окремої трансформаторної підстанції, що розміщена поблизу гуртожитку, яка зображена на рисунку 2.1. Трансформаторна підстанція функціонує з використанням двох силових трансформаторів, що експлуатуються у взаємному резервувальному режимі. Така організація електропостачання передбачає автоматичне переключення навантаження на другий трансформатор у випадку аварійного відключення або несправності одного з них. Завдяки цьому досягається підвищена надійність системи електроживлення та забезпечується безперервне постачання електроенергії споживачам навіть за умов відмови окремих елементів обладнання. Такий підхід є особливо важливим для об'єктів соціальної інфраструктури, де стабільність електропостачання має критичне значення для нормального функціонування будівлі.

Живлення здійснюється двома кабельними лініями низької напруги, типу ААБ 3×70 та ААБ 1×25, від відповідних секцій ТП. Обидва кабелі живлення, прокладені під землею від трансформаторної станції до ГРЩ, з'єднуються з ввідними вимикачами. У випадку аварійної ситуації або несправності на одному з кабелів живлення, система автоматично перемикається на резервний кабель, забезпечуючи безперервне електропостачання для критичного обладнання, наприклад, ліфтів.

					ОН-11.21.013		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криштопайтис			АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	Лист	Листів
Перев.		Чернявський А.В.				23	
Реценз.		Торопов А. В.				НН ІЕЕ	
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.		Бориченко О.В.					



Рисунок 2.1 – Трансформаторна підстанція, розташована за адресою
вул. Ковальський провулок, 22А

Схема головного розподільчого щита (далі – ГРЩ), представлено на рисунку 2.2. Як видно з рисунку, перший ввід живить ліфти через незалежний лічильник, другий ввід забезпечує електроенергією освітлення та інші електричні прилади будівлі через інший лічильник. Це дає змогу вести окремий облік споживання електроенергії ліфтами та рештою об'єктів будівлі.

Система електропостачання, організована на базі даної трансформаторної підстанції, забезпечує надійне та стабільне постачання електричної енергії до всіх основних споживачів гуртожитку, включаючи освітлення, роботу побутового обладнання в житлових кімнатах та на кухнях, а також функціонування адміністративних і технічних приміщень. Крім того, така система дозволяє підтримувати безперебійну роботу життєво важливих інженерних мереж, створює комфортні та безпечні умови проживання мешканців і є основою для ефективного функціонування всіх внутрішніх систем будівлі.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		24

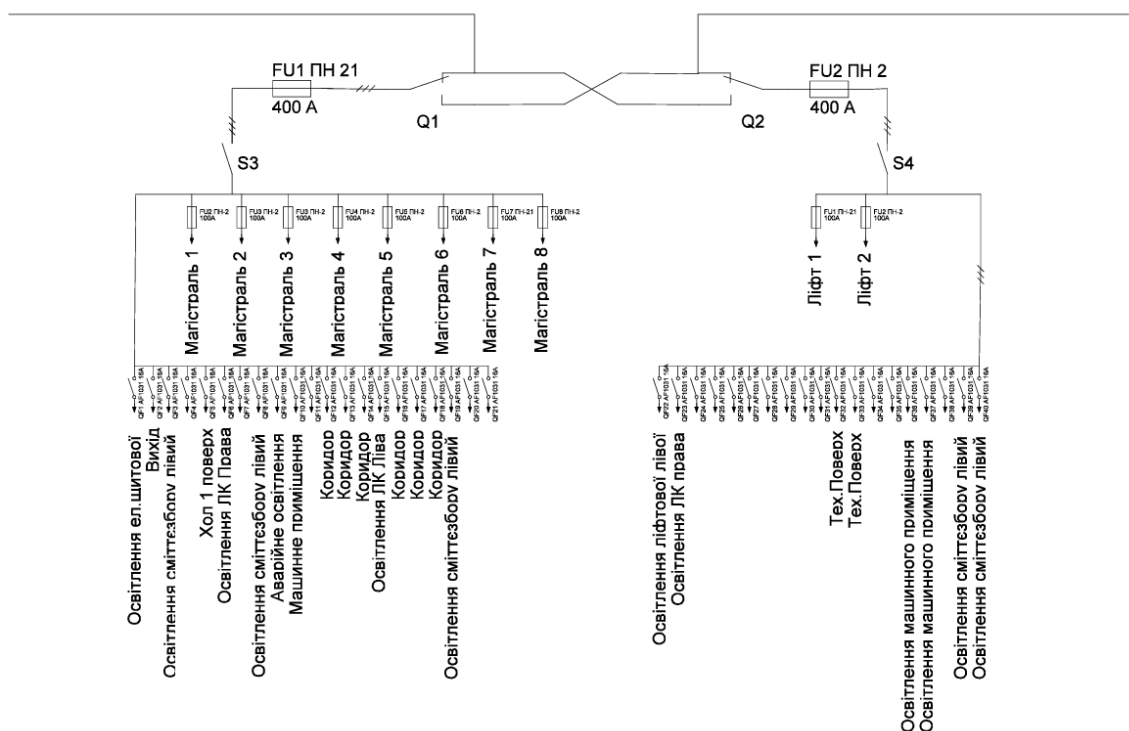


Рисунок 2.2 – Схема електрична однолінійна ГРЩ гуртожитку №21
НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського

2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії

Так як гуртожиток є будівлею житлового типу, потужне обладнання відсутнє та складається загалом з побутових споживачів, перелічених в таблиці 2.1. Єдиним потужним обладнанням яке є – ліфтові установи, але через обмеження потужності, визване пошкодженням енергоструктури внаслідок обстрілів, а також малої к-сті проживаючих в гуртожитку, ліфтові установки неактивні.

Таблиця 2.1 – Загальна встановлена потужність електрообладнання

№ п/п	Назва споживача	P_n , кВт	N, од	K_v
1	Плита електрична	8,5	200	0,4
2	Пральна машина	0,5	200	0,4

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Назва споживача	P_n , кВт	N, од	K_B
3	Мікрохвильова піч	0,7	100	0,5
4	Холодильник побутовий	0,15	200	0,8
5	Пилосос	1,5	50	0,8
6	Фен	1,7	70	0,2
7	Чайник	2	150	0,4
Σ			970	
1	Комп'ютери	0,15	200	0,6
2	Принтери	0,4	100	0,6
Σ			300	
Всього:			1270	

2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі

Повірочний розрахунок навантажень будівлі представлено в таблиці 2.2.

Обчислимо електричне навантаження будівлі. Розрахунки продемонстровано на прикладі електричних плит.

Визначення сумарної номінальної потужності обладнання за формулою

$$P_{n,\Sigma} = P_n n \quad (2.1)$$

де P_n – номінальна потужність обладнання, кВт;

n – кількість споживачів.

$$P_{n,\Sigma} = 200 \cdot 8,5 = 1700 \text{ кВт.}$$

Визначення $\text{tg}\varphi$ для групи електроприймачів (ЕП) за формулою

$$\text{tg}\varphi = \text{tg}(\arccos(\cos\varphi)) \quad (2.2)$$

$$\text{tg}\varphi = \text{tg}(\arccos(0,7)) = 1,02$$

Визначення проміжної активної потужності за формулою

$$P_{\Pi} = P_{n,\Sigma} k_B \quad (2.3)$$

де $P_{n,\Sigma}$ – сумарна потужність обладнання;

k_B – коефіцієнт використання.

$$P_{\Pi} = 1700 \cdot 0,4 = 680 \text{ кВт.}$$

Визначення проміжної реактивної потужності групи ЕП за формулою

$$Q_{\Pi} = P_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

де P_{Π} – проміжна активна потужність;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивного навантаження.

$$Q_{\Pi} = 680 \cdot 1,02 = 693,6 \text{ квар.}$$

Аналогічні розрахунки здійснюємо для інших ЕП.

Таблиця 2.2 – Розрахункові значення навантаження ЕП

№ п/п	Назва споживача	P_n , кВт	N, од	K_B	$P_{n\Sigma}$, кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_{Π} , кВт	Q_{Π} , квар
1	Плита електрична	8,5	200	0,4	1700	0,7	1,02	680	693,74
2	Пральна машина	1,5	200	0,4	300	0,6	1,33	120	160,00
3	Мікрохвильова піч	0,7	100	0,5	70	0,8	0,75	35	26,25
4	Холодильник побутовий	0,15	200	0,8	30	0,75	0,88	24	21,17
5	Пилосос	1,5	50	0,8	75	0,75	0,88	60	52,92
6	Фен	1,7	70	0,2	119	0,6	1,33	23,8	31,73
7	Чайник	2	150	0,4	300	0,7	1,02	120	122,42
Σ			970		2594			1062,8	1108,23
1	Комп'ютери	0,15	200	0,6	30	0,85	0,62	18	11,16
2	Принтери	0,4	100	0,6	40	0,85	0,62	24	14,87
Σ			300		70			42	26,03
Всього:			1270		2664			1104,8	1134,26

Визначення сумарної кількості ЕП будівлі за формулою

$$N = \sum_{i=1}^n n \quad (2.5)$$

$$N = 1270 \text{ шт.}$$

Сумарна номінальна активна потужність ЕП за формулою

$$P_{\Sigma 1} = \sum P_{H.\Sigma} \quad (2.6)$$

$$P_{\Sigma} = 2664 \text{ кВт}$$

Визначення K_B за формулою

$$K_{B \text{ сп1}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Pi}}{P_{\Sigma 1}} \quad (2.7)$$

$$K_B = \frac{1104,8}{2664} = 0,42$$

Визначення ефективної кількості ЕП

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{8,5}{0,15} = 56 > 3$$

Тоді $n_e = n_{pe}$, заокругленого в меншу сторону, відповідно

$$n_{\Sigma} = 626 > 10$$

Отже розрахунок проводимо за формулою

$$n_{pe} = \frac{2 \sum P_{H.\Sigma}}{P_{\max}} \quad (2.8)$$

$$n_{pe} = \frac{2 \cdot 2664}{8,5} = 626,82 \text{ од.}$$

Маємо $n_e = 626$.

За n_e та K_B обираємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p з довідкових таблиць: $K_p = 1$ (Додаток А)

Обчислення активного та реактивного розрахункового навантаження за формулами

$$P_p = P_{\Pi \text{ сп1}} K_p \quad (2.9)$$

$$Q_p = 1,1 Q_{\Pi \text{ сп1}} \quad (2.10)$$

$$P_p = 1104,8 \cdot 1 = 1104,8 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1134,26 = 1247,68 \text{ квар.}$$

					ОН-11.21.013	Арк.
						28
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення розрахункової потужності за формулою

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.11)$$

$$S_p = \sqrt{1104,8^2 + 1247,68^2} = 1666,52 \text{ кВА}$$

2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного освітлення

Розрахуємо навантаження в щиті освітлення за формулою

$$P_{\text{ЩО}} = k_{\text{в}} P_{\text{осв}} \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{ЩО}} = \operatorname{tg} \varphi P_{\text{ЩО}} \quad (2.13)$$

де $P_{\text{осв}}$ – сумарна потужність освітлювальних приладів.

Приймаємо : $k_{\text{в}}=1$, $\cos \varphi=0,8$.

Потужність системи освітлення становитиме

$$P_{\text{ЩО}} = 1 \cdot 56,67 = 56,78 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ЩО}} = 0,75 \cdot 56,78 = 42,59 \text{ квар}$$

Розрахункове навантаження становитиме

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(P_p + P_{\text{ЩО}})^2 + (Q_p + Q_{\text{ЩО}})^2} \quad (2.14)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(1078,8 + 56,78)^2 + (1067,21 + 42,59)^2} = 1587,83 \text{ кВА}$$

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

Споживання електричної енергії відповідної одиниці обладнання розраховується за формулою:

$$W_i = P_{\text{вст}i} \cdot n \cdot k_{\text{в}i} \cdot T_{\text{роб}i} \quad (2.15)$$

де $P_{\text{вст}i}$ – встановлена потужність одиниці відповідного обладнання, кВт,

					ОН-11.21.013	Арк.
						29
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

яка береться з паспортних даних обладнання;

n – кількість одиниць обладнання, шт;

k_{vi} – коефіцієнт використання встановленої потужності;

T_{robi} – тривалість роботи відповідного обладнання за рік.

Використовуючи цю ж формулу, розраховуємо споживання електричної енергії всіх інших електроспоживачів за рік.

Проаналізувавши дані по загальному споживанню електричної енергії, представимо розподіл споживання між різними видами електрообладнання в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок річного споживання електричної енергії

	Встановлен а потужність, кВт	Загальна потужність, кВт	Коефіцієнт використа ння	Триваліст ь роботи на добу, год в день	Річне споживан ня, кВт·год
Люмінесце нтні лампи	0,036	22,176	0,3	24	48565,44
Ноутбук	0,15	30	0,4	4–5	43800
Принтер	0,4	40	0,2	1	2920
Чайник	2	300	0,4	1	21900
Холодильн ик	0,15	30	0,25	24	65700
Пральна машина	1,5	300	0,2	2	21900
Фен	1,7	119	0,1	0,5	2171,75
Пилосос	1,5	75	0,2	0,5	2737,5
Плита	8,5	1700	0,2	2–3	248200
Ліфт	4	8	1	9–10	8760

Для наглядного прикладу використовуємо діаграму Санкея для зведення балансу спживання ЕЕ на ЕП, зображену на рисунку 2.3 [5].

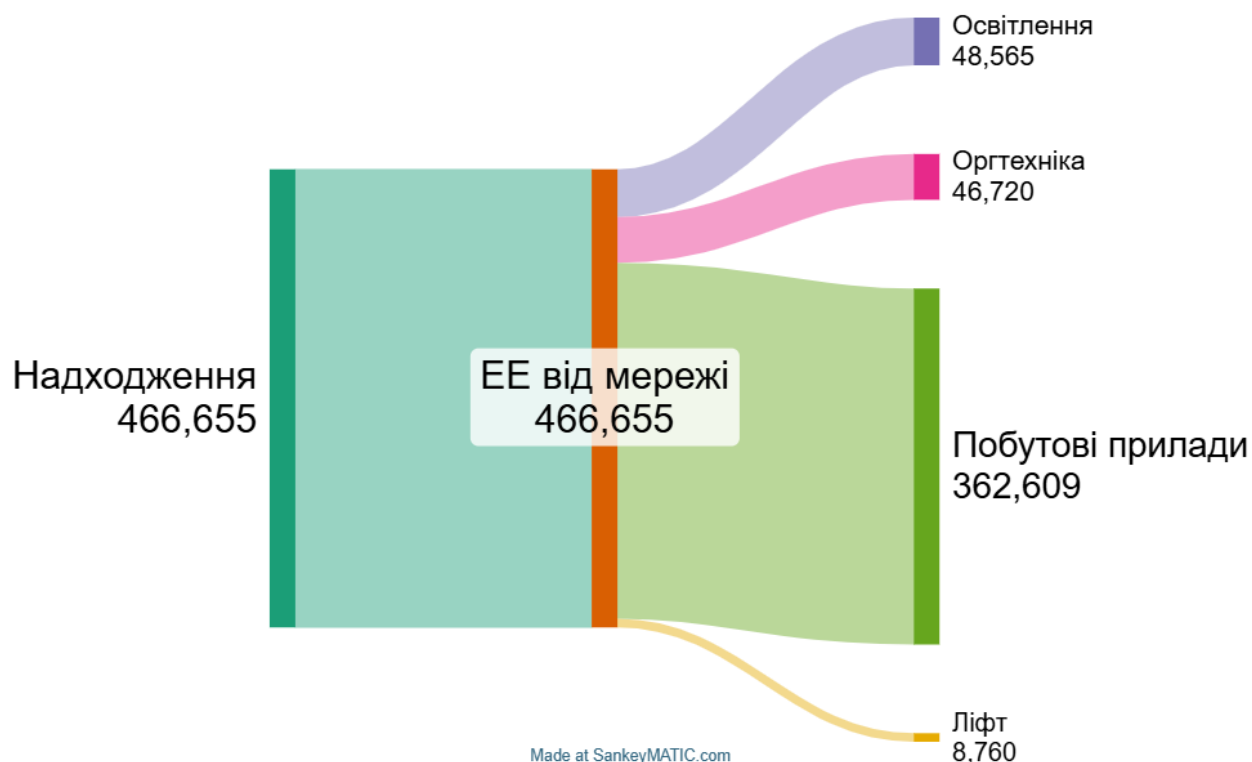


Рисунок 2.3 – Діаграма Санкея [5]

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

Під час проведення енергетичного аудиту об'єкту було виявлено лічильники на такі споживачі: перший – веде облік енергії на ліфтові установки, другий – на оргтехніку, побутові прилади та систему освітлення. Дані лічильники зображені на рисунку 2.4.



а) Лічильник на ліфтові
установки

б) Лічильник на всі інші ЕП

Рисунок 2.4 – Загальний вид лічильників

Як, видно, з рисунку, лічильник, що обліковує ЕЕ спожиту ліфтовою установкою – застарілий та не може точно прооводити облік спожитої електроенергії, тому рекомендовано його замінити.

2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії

Провівши аналіз наявного стану електричних мереж, було запропоновано наступні заходи з енергоефективності.

Захід №1 Заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні у місцях загального користування

В гуртожитку в МЗК встановлено 101 люмінесцентних ламп по 36 Вт кожна, що із врахуванням $K_{пра}=1,12$ в сумі дає споживання 4,1 кВт.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		32

Запропоновано замінити всі люмінесцентні лампи на світлодіодні по 18 Вт кожна, що в сумі даватиме споживання 1,82 кВт.

Розрахуємо ефективність даного заходу:

$$P_{\text{ек}} = P\Sigma_{\text{лм}} - P\Sigma_{\text{сд}} \quad (2.16)$$

де $P\Sigma_{\text{лм}}$ – сумарна потужність люмінесцентних ламп;

$P\Sigma_{\text{сд}}$ – сумарна потужність світлодіодних ламп.

$$P_{\text{ек}} = 4,1 - 1,82 = 2,28 \text{ кВт}$$

Розрахуємо економічну ефективність від впровадженого заходу:

$$E = P_{\text{ек}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t_{\text{д}} \cdot n_{\text{др}} \cdot T_{\text{ее}} \quad (2.17)$$

де $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання;

$t_{\text{д}}$ – годин в добі;

$n_{\text{др}}$ – днів у році;

$T_{\text{ее}}$ – тариф на електроенергію. [4]

$$E = 2,28 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 4,32 = 86\,282,5 \text{ грн/рік}$$

Для розрахунку інвестиційного фонду обираємо тип світлодіодних ламп типу ПВЗ 18W 60см 6000K IP65 [6] вартістю 189 грн за 1 шт, додаємо +10 грн до кожної лампи, бо враховуємо доставку магазину, отже вартість буде становити приблизно 200 грн. Також враховуємо вартість роботи на встановлення однієї лампи, так як роботи виконуватимуться силами Завгоспу, буде запропоновано надбавку в розмірі 200 грн за одиницю.

$$I = n \cdot (I_{\text{м}} + I_{\text{р}}) \quad (2.18)$$

де n – кількість світильників;

$I_{\text{м}}$ – вартість матеріалів;

$I_{\text{р}}$ – вартість робіт.

$$I = 101 \cdot (200 + 200) = 40\,400 \text{ грн}$$

Термін окупності розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{l}{E} \quad (2.19)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{40\,400}{68\,874,62} = 0,59 \text{ року}$$

Захід №2 Встановлення датчиків руху у МЗК

В місцях загального користування встановлено 101 світлодіодних ламп, враховуючи попередній захід. Пропонується встановлення датчиків руху, що може зменшити час використання ламп до однієї години в день.

Розрахуємо річну економію електричної енергії від встановлення датчиків руху за наступною формулою:

$$E = (n \cdot P_{1\text{сд}} \cdot (t_{\text{д}} - n_{\text{з}}) \cdot n_{\text{др}} + n_{\text{дт}} \cdot P_{\text{дт}}) \cdot T_{\text{еє}} \quad (2.20)$$

де $n_{\text{з}}$ – кількість годин роботи освітлення в МЗК після впровадження заходу;

$n_{\text{дт}}$ – кількість датчиків, планується до встановлення по 2 датчики на поверх;

$P_{\text{дт}}$ – споживана потужність одного датчика, приймаємо 0,02 кВт.

$$E = (101 \cdot 0,18 \cdot (24 - 1) \cdot 365 + 18 \cdot 0,02) \cdot 4,32 = 659\,324,71 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо інвестиції необхідні для впровадження заходу за формулою 2.18 [7], враховуючи вартість робіт, матеріалів та вартості доставки – 10 грн/од.:

$$I = 18 \cdot (370 + 200) = 10\,260 \text{ грн}$$

Термін окупності розраховуємо за формулою 2.19:

$$T_{\text{ок}} = \frac{10\,260}{659\,324,71} = 0,02 \text{ року}$$

Висновки по розділу 2

У другому розділі дипломного проекту здійснено аналіз системи електропостачання гуртожитку, встановлено основні споживачі електроенергії, виконано розрахунок навантажень та оцінено ефективність використання електроенергії на об'єкті.

					ОН-11.21.013	Арк.
						34
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш ощадливими споживачами електроенергії виступає оргтехніка, що вирізняється невисоким рівнем споживання електроенергії в порівнянні з іншими електричними приладами. Такий підхід може позитивно вплинути на зменшення витрат електрики та сприяти економії фінансових ресурсів для користувачів.

З іншого боку, великі побутові прилади, як—от холодильники, кухонні плити та ліфти, демонструють значне споживання електроенергії. Розуміння цього факту та перехід на більш енергоефективні моделі здатні сприяти зниженню загального споживання енергії в будинку.

У розділі також розроблено низку типових енергоефективних заходів, спрямованих на зниження електроспоживання найбільш енергоємними системами. Проведені розрахунки дозволили визначити очікуване щорічне зниження споживання енергії, фінансову економію та терміни окупності запропонованих заходів. Також рекомендовано заміну застарілих електролічильників для більш точного обліку споживання електричної енергії.

3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності будівель та сучасного стану справ в сфері ЖКГ

Енергоефективність будівель в Україні є об'єктом регулювання численних законодавчих і нормативно-технічних документів. Їхня основна мета – зменшити споживання енергії, збільшити рівень енергетичної безпеки, а також забезпечити сталий розвиток в управлінні житлово-комунальним господарством [1].

Основним законодавчим документом є Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [8]. Він закріплює необхідність забезпечення відповідності споруд мінімальним вимогам до енергоспоживання, враховуючи особливості будівлі, її призначення та технічний стан. Ключовим елементом закону є енергетична сертифікація, що надає об'єктивну інформацію про енергоефективність споруди, визначаючи її клас. Аудит проводять винятково сертифіковані експерти з енергоаудиту. Закон також визначає поетапне впровадження комплексу заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності, включаючи технічну модернізацію та заохочення інвестицій [8].

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель» [9] має визначальне значення для формування єдиних підходів до проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації будівель в Україні. Цей нормативно-правовий документ визначає основні характеристики, яким мають відповідати енергоефективні властивості огорожувальних конструкцій, інженерних систем і будинків

					ОН-11.21.013			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Криштопайтис			ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	Лит.	Лист	Листів
Перев.		Чернявський А.В.					36	
Реценз.		Торопов А. В.				НН ІЕЕ		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затверд.		Бориченко О.В.						

загалом. Відповідно до постанови, усі збудовані споруди, а також ті, що проходять термомодернізацію або капітальний ремонт, повинні відповідати визначеним технічним вимогам, розробленим з урахуванням економічної обґрунтованості та кліматичних умов. Вимоги поширюються як на кількісні показники питомого споживання первинної енергії, так і на якісні аспекти функціонування систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, освітлення та гарячого водопостачання. Такий підхід сприяє створенню комфортного мікроклімату в приміщеннях, зменшенню втрат енергії та скороченню експлуатаційних витрат протягом життєвого циклу будівлі [9].

Державні будівельні норми ДБН В.2.6–31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [10] визначають актуальні вимоги до проектування та оцінювання зовнішніх огорожувальних конструкцій та будинків у цілому, враховуючи їх енергетичні параметри. Цей нормативний акт є критично важливим для забезпечення відповідності новостворених та відновлених будівель вимогам теплового захисту та забезпечення комфортних умов у приміщеннях. Норми містять вимоги щодо розрахунку опору теплопередачі будівельних конструкцій з врахуванням кліматичних умов України, а також регламентують обов'язкове досягнення певного рівня енергоефективності при проектуванні житлових, громадських і виробничих об'єктів. Значна увага приділяється комплексному аналізу теплотехнічних характеристик будівлі, що охоплює властивості матеріалів огорожувальних елементів, а також теплові втрати через містки холоду, повітряну інфільтрацію, вікна та інженерні системи. Стандартизація цих параметрів спрямована на зменшення питомого споживання енергії та створення умов для здійснення термомодернізації [10]. До того ж, ДБН формує методичну базу для відповідності будівель законодавству в сфері енергоефективності та сприяє їх інтеграції до європейських стандартів [10].

					ОН-11.21.013	Арк.
						37
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій згідно з таблицею 3.1 для І–ї кліматичної зони до ДБН В.2.6–31:2021 [10].

Таблиця 3.1 – Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель R_{qmin} [10].

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , $m^2 \cdot K / Bt$, для І–ї температурної зони
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90
6	Зенітні ліхтарі	0,80
7	Зовнішні двері	0,70

Визначення теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій здійснюється у наступному порядку:

- 1) Опір теплопередачі існуючих дерев'яних вікон/балконних блоків.
- 2) Опір теплопередачі вікон/балконних блоків, що були замінені на металопластикові.
- 3) Опір теплопередачі стін (основний фасад та цегляна кладка), технічне перекриття та перекриття над неопалювальним підвалом визначаємо за формулою згідно з для термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^k \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}} \quad (3.1)$$

де h_{si} , h_{se} – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, [Вт/(м² · К)];

R_i – тепловий опір і-го шару конструкції, [(м² · К)/Вт];

δ_i – товщина і-го шару конструкції, [м], що задано для кожного типу огороження згідно з індивідуальним варіантом;

λ_i – теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, [Вт/(м·К)];

k – кількість шарів огорожувальної конструкції.

Результати розрахунків наведені в таблицях 3.2–3.4.

Таблиця 3.2 – Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (зовнішні стіни)

Назва шару конструкції	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Товщина шару, м
Плити керамічні для підлоги	2000	1,1	0,001

Продовження таблиці 3.2

Назва шару конструкції	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Товщина шару, м
Розчин цементно— піщаний	1800	0,93	0,03
Керамзитобетон на керамзитовому піску	1000	0,41	0,32
Розчин цементно— піщаний	1800	0,93	0,05
Опір теплопередачі – 1,026			

Таблиця 3.3 – Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій
(перекриття, що межує з технічним поверхом)

Назва шару конструкції	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Товщина шару, м
Розчин цементно— піщаний	1800	0,93	0,01
Залізобетон	2500	2,04	0,22
Гравій керамзитовий	300	0,13	0,1
Розчин цементно— піщаний	1800	0,93	0,05
Опір теплопередачі – 1,208			

Таблиця 3.4 – Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (перекриття над неопалювальним підвалом)

Назва шару конструкції	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Товщина шару, м
Плити керамічні для підлоги	2000	1,1	0,03
Розчин цементно–піщаний	1800	0,93	0,05
Гравій керамзитовий	400	0,14	0,1
Залізобетон	2500	2,04	0,22
Опір теплопередачі – 1,239			

Зведена таблиця по термічному опору зовнішніх огорожувальних конструкцій наведена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції (м ² ·К)/Вт	
	існуюче приведені значення	мінімальні вимоги
Зовнішні стіни	1,026	4
Технічний поверх	1,208	6
Технічне підпілля	1,239	5
Світлопрозорі конструкції	0,33	0,9
Зовнішні двері	0,34	0,7

4) Розрахунок тепловтрат проводимо за формулою:

$$Q_0 = \Sigma(K_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i) b_u (1 + \Sigma \beta) = \Sigma \left(\frac{1}{R_i} \cdot F_i \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \right) b_u (1 + \Sigma \beta) \quad (3.2)$$

де K_i – коефіцієнт теплопередачі, [Вт/(м²·К)], що розраховується за формулою:

$$K_i = \frac{1}{R_i} \quad (3.3)$$

R_i – опір теплопередачі i -ого огороження, [м²·К/Вт];

F_i – площа i -ої огорожувальної конструкції, [м²];

$t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, [°С], [11];

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, [°С], [12];

b_u – поправочний коефіцієнт урахування зменшення розрахункової різниці температур між кондиціонованим та некондиціонованим об'ємом/зоною; для усіх інших огорожень $b_u = 1$;

$\Sigma \beta$ – сумарні додаткові втрати теплоти в частках від основних тепловтрат, які враховуються для зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій будівлі (стіни, двері і вікна), орієнтовані на:

- північ, схід, північний–схід і північний–захід – $b_u = 0,1$;
- південний–схід і захід – $b_u = 0,05$;
- для усіх інших огорожень $b_u = 0$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Тепловтрати через зовнішні огородження

Огородження	Орієнтація	$R, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$F, \text{ м}^2$	$\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	b_u	$1+\Sigma\beta$	$Q_o, \text{ Вт}$
ЗС	Пн	1,026	329,02	42	1	1,1	14815,52
	Пд	1,026	329,02	42	1	1	13468,65
	З	1,026	1241,1	42	1	1,05	53345,53
	Сх	1,026	1457,3	42	1	1,1	65621,11
СК _{1(метал)}	Пн	0,4	20	42	1	1,05	2205,00
	Пд	0,4	20	42	1	1,1	2310,00
	З	0,4	540	42	1	1	56700,00
	Сх	0,4	424,6	42	1	1,05	46812,15
СК ₂	З	0,33	270,6	42	1	1	34440,00
	Сх	0,33	212,3	42	1	1,05	28371,00
Дв	З	0,34	52,5	42	1	1,05	6809,56
	Сх	0,34	10	42	1	1,1	1358,82
П		1,208	1156	42	0,6	1	24115,23
ТП		1,239	1156	42	0,9	1	35267,80
Разом							385640,37

3.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов

Витрати теплоти на потреби природньої інфільтрації для існуючих промислових будівель, що експлуатуються, визначаємо за формулою:

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

де $n_{\text{об}}$ – кратність повітрообміну у житлових приміщеннях, приймаємо 0,6 [12];

V – кондиціонований (опалювальний) об'єм приміщень будівлі, $[\text{м}^3]$, наведений в таблиці 1.1.

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot 0,6 \cdot 23315 \cdot (20 - (-22)) = 198\,000,31 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловитрати в гуртожитку розраховуємо за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_0 + Q_{\text{інф}} \quad (3.5)$$

$$Q_{\Sigma} = 385\,640,37 + 198\,000,31 = 583\,640,7 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{рік}}^{\text{існ}} = Q_{\Sigma} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} \quad (3.6)$$

де $t_{\text{с.о.}}$ – середня температура за опалювальний період;

n_0 – к–сть опалювальних днів в опалювальний період.

$$Q_{\text{рік}}^{\text{існ}} = 583640,7 \cdot \frac{(20-0,7)}{(20-(-22))} \cdot 170 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 940,88 \text{ Гкал/рік}$$

Перераховуємо річні витрати теплоти і порівнюємо з фактичним теплоспоживанням за попередні роки, допустиме відхилення становить 20%.

Розрахунки виконуємо за формулою 3.7:

$$\sigma = \frac{\frac{Q_{\text{рік}}^{2023} + Q_{\text{рік}}^{2024}}{2} - Q_{\text{рік}}^{\text{існ}}}{\left(\frac{Q_{\text{рік}}^{2023} + Q_{\text{рік}}^{2024}}{2}\right)} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

$$\sigma = \frac{\frac{1089,02 + 1169,02}{2} - 940,88}{\left(\frac{1089,02 + 1169,02}{2}\right)} \cdot 100\% = 17\%$$

Умови виконуються, що означає, що розрахунок виконано вірно.

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій

Поточно в будівлі вже функціонують деякі заходи для збереження теплової енергії, а саме:

- використання сучасних теплоізоляційних матеріалів для утеплення трубопроводів в ІТП;
- часткова заміна дерев'яних вікон та дверей на металопластикові.

У наступних підрозділах буде запропоновано додаткові заходи з енергозбереження.

					ОН-11.21.013	Арк.
						44
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

Утеплення стін

Опір теплопередачі зовнішніх стін можна покращити утепливши фасади мінеральною ватою на основі базальтового волокна, покривши її зверху цементно–керамзитовим розчином, рекомендована товщина мінвати 100 мм, цього буде достатньо, щоб отримати нормативний опір передачі [10].

Спочатку потрібно визначити, який тип огороження зовнішньої стіни має менший коефіцієнт теплопередачі R , $[m^2K/Вт]$. Зважаючи на це, потрібно обирати необхідну товщину шару ізоляційного матеріалу.

Знаходимо мінімально допустиме значення товщини ізоляції, $[м]$:

$$\delta_{iz} = \left[R_{q\ min} - \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_3} \right) \right] \cdot \lambda_{iz} \quad (3.8)$$

де δ_1 , λ_1 – відповідно товщина, $[м]$, та коефіцієнт теплопровідності, $[Вт/(м \cdot K)]$, внутрішньої штукатурки будівлі;

δ_2 , λ_2 – відповідно товщина, $[м]$, та коефіцієнт теплопровідності, $[Вт/(м \cdot K)]$, основного фасаду будівлі;

δ_{iz} , λ_{iz} – відповідно товщина, $[м]$, та коефіцієнт теплопровідності, $[Вт/(м \cdot K)]$, ізоляційного шару будівлі, який потрібно обрати самостійно, обґрунтовуючи свій вибір з економічної та технологічної точки зору;

δ_4 , λ_4 – відповідно товщина, $[м]$, та коефіцієнт теплопровідності, $[Вт/(м \cdot K)]$, зовнішньої штукатурки будівлі із складного розчину;

$R_{q\ min}$ – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для зовнішньої стіни відповідно до вимог, що зображено в таблиці 3.1, що обирається залежно від температурної зони розташування міста.

$$\begin{aligned} \delta_{iz} &= \left[4 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,001}{1,1} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,32}{0,41} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,047 \\ &= 0,139 \text{ м} \end{aligned}$$

Після підрахунку результат потрібно округлити до значень, що відповідають існуючим на ринку теплоізоляційних матеріалів – 150 мм.

1) Визначимо опір теплопередачі стіни після утеплення $[m^2 \cdot K/Вт]$ визначимо за формулою:

					ОН-11.21.013	Арк.
						45
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{ут}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3} \right) = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) + \frac{1}{\alpha_3} \right) \quad (3.9)$$

За формулою визначимо опір теплопередачі $[\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}]$ утепленого огороження для фасаду:

$$R_{\text{ут}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,001}{1,1} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,32}{0,41} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{0,15}{0,047} + \frac{1}{23} = 4,21 \text{ м}^2 \text{К}/\text{Вт}$$

Порівняльний аналіз опору теплопередачі стін після ізоляції з нормативним значенням:

$$R_{\text{ут}} \geq R_{\text{qmin}}$$

$$4,21 \geq 4$$

2) Зменшення теплових втрат через зовнішні стіни за рахунок утеплення, $[\text{Вт}]$:

– основного фасаду:

$$\Delta Q_{3\text{С}} = \Sigma \left(\left(\frac{1}{R_{3\text{С}}} - \frac{1}{R_{\text{ут.3С}}} \right) \cdot \Sigma (F_{3\text{С}} \cdot b_{\text{и}} (1 + \Sigma \beta)) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \right) \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{3\text{С}} &= \Sigma \left(\left(\frac{1}{1,026} - \frac{1}{4,21} \right) \cdot \Sigma (329,02 \cdot 1 \cdot 1,1 + 329,02 \cdot 1 \cdot 1 + \right. \\ &\quad \left. 1241,1 \cdot 1 \cdot 1,05 + 1457,3 \cdot 1 \cdot 1,1) \cdot (20 - (-22)) \right) = \\ &\quad 111364,98 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

3) Річна економія теплової енергії за рахунок утеплення зовнішніх стін будівлі, $[\text{Гкал}/\text{рік}]$:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.3С}} = Q_{3\text{С}1} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_0 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} \quad (3.11)$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.3С}} = 111364,98 \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 193,57 \text{ Гкал}$$

4) Річна економія грошових витрат, $[\text{грн}/\text{рік}]$:

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.3С}} \cdot T \quad (3.12)$$

де T – тариф на теплову енергію $[\text{грн}/\text{Гкал}]$ при централізованому тепlopостачанні. [4]

$$\Delta E_1 = 193,57 \cdot 1654,41 = 320244,14 \text{ грн.}$$

Також проводимо розрахунок за тарифом СЕМ КП, де $T=3752,99 \text{ грн}/\text{Гкал}$

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\Delta E_2 = 193,57 \cdot 3752,99 = 726466,27 \text{ грн.}$$

5) Простий термін окупності заходу з утеплення зовнішніх стін, [років]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I}{\Delta E} \quad (3.13)$$

$$I = n \cdot T_{\text{зах}} \quad (3.14)$$

де $T_{\text{зах}}$ складає 4000 грн/м² під ключ

$$I = 3356,44 \cdot 3800 = 12754472 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{12754472}{320244,14} = 40 \text{ років.}$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{12754472}{726466,27} = 17,56 \text{ років.}$$

Утеплення перекриття, що межує з техповерхом

На даний момент дах не має теплоізоляції. Пропонується утеплити його шаром ізолюючого матеріалу, що допоможе знизити теплопередачу. На теплоізоляцію треба покласти гідроізоляцію, щоб забезпечити захист від дощу, бо проникнення вологи всередину теплоізоляції може призвести до цвілі або грибка, і матеріал може втрати свої теплоізоляційних властивості [10].

Опір теплопередачі після утеплення горищного перекриття повинен перевищувати мінімальні вимоги:

$$R_{\text{ут.СП}} \geq R_{q\text{min}}$$

1) Знаходимо мінімально допустиме значення товщини ізоляції горищного перекриття, [м]:

$$\delta_{\text{із}} = [R_{q\text{min}} - R_{\Gamma}] \cdot \lambda_{\text{із}} \quad (3.14)$$

де R_{Γ} – опір теплопередачі існуючого горищного перекриття, [м²·К/Вт];

$\delta_{\text{із}}$, $\lambda_{\text{із}}$ – відповідно товщина, [м], та коефіцієнт теплопровідності, [Вт/(м·К)];

$\delta_{\text{пок}}$, $\lambda_{\text{пок}}$ – відповідно товщина, [м], та коефіцієнт теплопровідності, [Вт/(м·К)],

R_{qmin} – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для перекриття техповерху.

$$\delta_{i3} = [6 - 1,208] \cdot 0,047 = 0,225 \text{ м}$$

2) Опір теплопередачі перекриття, щл межує з техповерхом після утеплення [$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$]:

$$R_{\text{ут.Г}} = R_{\Gamma} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} \quad (3.15)$$

$$R_{\text{ут.Г}} = 1,208 + \frac{0,25}{0,047} = 6,53 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

3) Зменшення тепловтрат за рахунок утеплення перекриття, що межує з техповерхом [Вт]:

$$\Delta Q_{\Gamma} = \left(\frac{1}{R_{\Gamma}} - \frac{1}{R_{\text{ут.Г}}} \right) \cdot F_{\Gamma} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{п.о.}}) \cdot b_u \quad (3.16)$$

де F_{Γ} – площа горищного перекриття, [м^2].

$$\Delta Q_{\Gamma} = \left(\frac{1}{1,208} - \frac{1}{6,53} \right) \cdot 1156 \cdot (20 - (-22)) \cdot 1 = 32756,83 \text{ Вт.}$$

4) Річна економія теплової енергії за рахунок утеплення перекриття техповерху за формулою 3.11, [Гкал/рік]:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.Г}} = 32756,83 \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 56,93 \text{ Гкал}$$

5) Річна економія грошових витрат за формулою 3.12, [грн/рік]:

$$\Delta E_1 = 56,93 \cdot 1654,41 = 94185,56 \text{ грн.}$$

$$\Delta E_2 = 56,93 \cdot 3752,99 = 213657,72 \text{ грн.}$$

6) Простий термін окупності заходу з утеплення перекриття, що межує з техповерхом, розраховуємо за формулою 3.13, [років]:

де інвестиції складають 1600 грн/м^2

$$T_{\text{ок1}} = \frac{1156 \cdot 1600}{94185,56} = 19,65 \text{ років}$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{1156 \cdot 1600}{213657,72} = 8,66 \text{ років}$$

Заміна дерев'яних вікон на металопластикові

Для економії теплової енергії в установі, пропонується виконати заміну дерев'яних вікон на металопластикові вікна з більшим опором теплопередачі.

					ОН-11.21.013	Арк.
						48
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

1) Зменшення тепловтрат за рахунок заміни вікон, [Вт]:

$$\Delta Q_{CK2(\text{дерев})} = \left(\frac{1}{0,33} - \frac{1}{0,7} \right) \cdot (270,6 + 212,3) \cdot (20 - (-22)) \cdot 1 = 32486 \text{ Вт.}$$

2) Річна економія теплової енергії за рахунок заміни вікон, за формулою 3.11 [Гкал/рік]:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.Г}} = 32486 \frac{22 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 62,08 \text{ Гкал}$$

3) Річна економія грошових витрат, за формулою 3.12 [грн/рік]:

$$\Delta E_1 = 62,08 \cdot 1654,41 = 102705,77 \text{ грн.}$$

$$\Delta E_2 = 62,08 \cdot 3752,99 = 232985,62 \text{ грн.}$$

4) Простий термін окупності заходу, за формулою 3.13, [років]:
де інвестиції складає 5000 грн/м² під ключ [15];

$$T_{\text{ок1}} = \frac{180 \cdot 5000}{102705,77} = 8,76 \text{ років}$$

$$T_{\text{ок2}} = \frac{180 \cdot 5000}{232985,62} = 3,86 \text{ років}$$

Після проведення вищенаведених заходів, проведемо повторний розрахунок тепловитрат. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Тепловитрати після впровадження заходів з енергозбереження

Огородженн я	Орієнтаці я	$R,$ м ² ·К/В т	$F, \text{ м}^2$	$\Delta t,$ °C	b_u	$1+\Sigma\beta$	$Q_o, \text{ Вт}$
ЗС	Пн	4,21	329,02	42	1	1,1	3610,62
	Пд	4,21	329,02	42	1	1	3282,38
	З	4,21	1241,1	42	1	1,05	13000,60
	Сх	4,21	1457,3	42	1	1,1	15992,22

Продовження таблиці 3.4

Огородження	Орієнтація	$R, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$F, \text{ м}^2$	$\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	b_u	$1+\Sigma\beta$	$Q_o, \text{ Вт}$
СК _{1(метал)}	Пн	0,4	20	42	1	1,05	2205,00
	Пд	0,4	20	42	1	1,1	2310,00
	З	0,4	540	42	1	1	56700,00
	Сх	0,4	424,6	42	1	1,05	46812,15
СК ₂	З	0,7	270,6	42	1	1	16236,00
	Сх	0,7	212,3	42	1	1,05	13374,90
Дв	З	0,34	52,5	42	1	1,05	6809,56
	Сх	0,34	10	42	1	1,1	1358,82
П		1,208	1156	42	0,6	1	24115,23
ТП		6,53	1156	42	0,9	1	6691,70
Разом							212499,19

Аналізуючи дані з таблиці 3.4 видно, що сумарні тепловитрати через зовнішні огорожувальні конструкції зменшились на 173141,18 Вт, що становить 45% від тепловитрат до впровадження заходів.

3.5 Рекомендації для інженерних мереж

Рекомендація по балансуванню системи опалення

Критично важливим заходом є гідравлічне балансування системи опалення. Через нерівномірний розподіл теплоносія по стояках часто виникає ситуація, коли частина приміщень перегрівається, а інші недогріваються, що призводить до надмірного споживання енергії та зменшення теплового комфорту. Балансування виконується шляхом встановлення балансувальних клапанів на кожний стояк, здійснення гідравлічних розрахунків та налагодження системи. Враховуючи наявність чотирьох стояків у будівлі, вартість проведення повного комплексу робіт з балансування становить

орієнтовно 60–80 тис. грн, залежно від обраного типу арматури та складності монтажу. Реалізація цього заходу дає можливість збільшити ефективність роботи системи на 10 % та сприяє подальшому зниженню споживання теплової енергії [11].

Даний захід дає можливість зменшити річне теплове навантаження щонайменше на 94 Гкал, що сприятиме не тільки економії коштів на опалення, а й підвищенню енергонезалежності об'єкта, зменшенню викидів парникових газів та покращенню загальної енергетичної стабільності будівлі гуртожитку.

Термін окупності даної рекомендації розраховуємо за формулою 3.13, де інвестиції складає 20 000 грн на 1 стояк під ключ. Балансувальний клапан, що рекомендується до використання зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Балансувальний клапан MSV–BD 15 [16]

1) Річна економія грошових витрат, за формулою 3.12 [грн/рік]:

$$\Delta E_1 = 94,08 \cdot 1654,41 = 155646,89 \text{ грн.}$$

$$\Delta E_2 = 94,08 \cdot 3752,99 = 353081,29 \text{ грн.}$$

2) Простий термін окупності заходу, за формулою 3.13, [років]:

					ОН-11.21.013	Арк.
						51
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ок1}} = \frac{22 \cdot 20000}{155646,89} = 2,83 \text{ років}$$

$$T_{\text{ок2}} = \frac{22 \cdot 20000}{353081,29} = 1,25 \text{ років}$$

Висновки по розділу 3

В результаті проведеного розрахунку у третьому розділі, було з'ясовано невідповідність рівня енергоефективності будівлі сучасним нормам. Це пояснюється застарілістю огорожувальних конструкцій. Дослідження охоплювало вивчення нормативної бази, аналіз теплового навантаження об'єкта, а також зіставлення фактичного споживання тепла з розрахунковими показниками. Результати демонструють значний потенціал для мінімізації тепловтрат через зовнішні конструкції та шляхом модернізації внутрішніх систем споживання та регулювання енергії. Запропоновані заходи з енергоефективності дозволяють досягти відчутного зниження енергоспоживання, що підтверджено розрахунками економічної вигоди та терміну окупності. Енергоаудит підтвердив доцільність поетапної модернізації будівлі, орієнтованої на досягнення довгострокових результатів, зокрема зниження залежності від традиційних джерел енергії, стабілізації витрат на експлуатацію та підвищення комфортності проживання.

Отже, впровадження цих рішень є обґрунтованим з технічної та економічної точки зору кроком до підвищення енергетичної незалежності будівлі та покращення умов її функціонування.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		52

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту на подібних об'єктах в Україні, в тому числі нормативно–правові вимоги

Україна належить до енергодефіцитних країн, яка задовольняє свої паливно–енергетичні потреби за рахунок власних ресурсів менш ніж на 50% [1]. Енергоемність валового внутрішнього продукту в Україні нині більш ніж удвічі вища енергоемності такого продукту промислово розвинених країн і продовжує зростати. Тому стратегічною лінією державної політики розвитку економіки та соціальної сфери стає підвищення енергозбереження, що дає високу економічну ефективність. Ця політика реалізується шляхом розроблення нових енергозберігаючих, маловідходних та безвідходних технологій, ефективних систем та засобів контролю за енергоспоживанням та захисту довкілля від забруднення, організації інтегрованого енергетичного та економічного менеджменту [17].

На сьогоднішній день більшість гуртожитків в Україні мають невисокий клас енергоефективності через використання застарілих систем опалення, відсутність індивідуального обліку теплової енергії, низьку якість огорожувальних конструкцій та недосконалу вентиляцію. Водночас останні роки демонструють позитивну тенденцію – збільшується кількість реалізованих проєктів з модернізації електропостачання, термомодернізації та встановлення відновлюваних джерел енергії, зокрема дахових сонячних електростанцій.

Однією з найважливіших є Постанова Кабінету Міністрів України від 23

					ОН-11.21.013				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Криштопайтис			РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	Лит.	Лист	Листів	
Перев.		Чернявський А.В.					53		
Реценз.		Торопов А. В.				НН ІЕЕ			
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.							
Затверд.		Бориченко О.В.							

грудня 2021 року №1460 «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» [18], яка є однією з регулюючих державної політики у сфері ефективного використання енергоресурсів. У рамках цієї постанови передбачено поступовий, але обов'язковий перехід до впровадження системи енергетичного менеджменту згідно з принципами, викладеними у міжнародному стандарті ISO 50001:2020 [19]. Зокрема, передбачається призначення відповідальних осіб за енергоменеджмент, розробка планів для підвищення ефективності енергоспоживання, а також введення внутрішнього моніторингу та звітності. Це сприяє не тільки енергетичній, але й економічній оптимізації діяльності бюджетних установ, що особливо актуально в умовах високої ціни на енергоносії та необхідності забезпечення енергетичної незалежності об'єктів соціальної інфраструктури.

Таким чином, розвиток енергоменеджменту в секторі гуртожитків в Україні характеризується поступовим переходом до системного підходу з використанням нормативно-правових інструментів, енергоаудиту та цифрових засобів моніторингу, що формує умови для забезпечення енергетичної незалежності та економічної стабільності таких об'єктів [19].

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

Розвиток систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів у гуртожитку сімейного типу є важливою складовою політики енергозбереження, адже вони дозволяють забезпечити контроль за використанням енергетичних і комунальних ресурсів на рівні конкретних споживачів. З огляду на специфіку експлуатації таких будівель, де мешкають сім'ї або студенти-аспіранти з різними потребами і побутовими звичками, актуальним є впровадження сучасних технічних рішень, що передбачають автоматизований збір даних, їх обробку та подальший аналіз [18].

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		54

Застосування інтелектуальних систем моніторингу, таких як АСКОЕ (Автоматична система контролю і обліку електроенергії), дозволяє виявляти відхилення від нормативних показників і спрямовувати зусилля на оптимізацію режимів роботи інженерних систем, блок–схема зображена на рисунку 4.1. Головне призначення системи АСКОЕ полягає в точному вимірі кількості спожитої або переданої енергії і потужності, з врахуванням добових, зонних або інших тарифів, забезпеченні можливості зберігання цих вимірів, протягом місяця, року і доступу до цих даних для проведення розрахунків з постачальником і споживачем. Крім цього, важливою складовою АСКОЕ є можливість аналізу споживання (передачі) енергії і потужності. Регулярний аналіз режимів споживання за періоди часу дозволяє виявити прорахунки в організації постачання електроенергії [20].

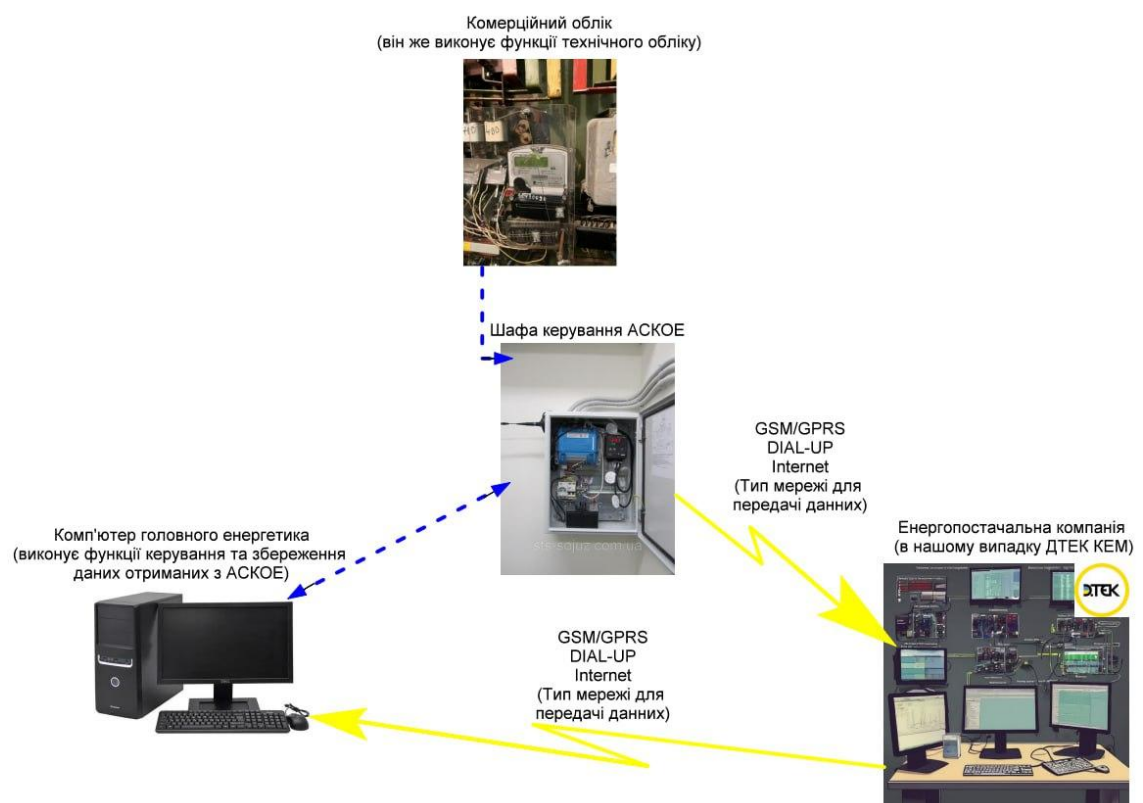


Рисунок 4.1 – Блок–схема системи моніторингу АСКОЕ

Ефективно налагоджена система спостереження відіграє критичне значення в процесі ухвалення управлінських рішень, спрямованих на

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		55

модернізацію обладнання, впровадження заходів з енергоефективності, а також оцінку результативності вже реалізованих змін. Відтак, запровадження передової системи обліку та моніторингу є ключовим фактором для досягнення реального енергозбереження, що, своєю чергою, гарантує стабільне функціонування гуртожитку як об'єкта, що має важливе соціальне значення.

4.3 Рекомендації щодо організаційно–управлінських заходів

Енергоменеджмент для будівлі – це спосіб керування споживанням енергетичних ресурсів та легкий шлях досягнення енергоефективності будівлі. Енергоменеджмент – це система керування та обліку, яка базується на здійсненні вимірювань та перевірок, які забезпечують функціонування систем теплопостачання таким чином, щоб споживалася лише необхідна кількість енергії, потрібна для підтримання комфортних умов проживання. В житловій будівлі запропоновано проводити регулярні аудити системи моніторингу споживання енергоресурсів, що дозволить оперативно виявити відхилення від нормативного споживання та впроваджувати ряд заходів для покращення системи споживання ПЕР [19].

Висновки по розділу 4

Аналіз стану системи енергетичного менеджменту гуртожитку сімейного типу у розділі 4 показав, що сучасні технологічні рішення, такі як системи комерційного обліку енергії (АСКОЕ) розширюють можливості для швидкого аналізу інформації, виявлення нераціональних витрат та розробки ефективних енергозберігаючих заходів. Розвиток енергетичного менеджменту вимагає не лише технічної модернізації, але й добре організованих управлінських процесів, заснованих на принципах системного

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		56

підходу, відповідальності та безперервного покращення. Запропоновані рекомендації орієнтовані на розробку ефективної енергетичної політики установи, яка забезпечить зниження витрат та сприятиме досягненню енергетичної незалежності.

					ОН-11.21.013	Арк.
						57
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

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

5.1 Програмне забезпечення

Проектування гібридної сонячної електростанції вимагає точних інженерних розрахунків, які враховують велику кількість параметрів: географічне розташування об'єкта, конфігурацію даху, погодні умови, профіль споживання електроенергії, особливості затінення, а також технічні характеристики обраного обладнання. Для забезпечення ефективного та обґрунтованого проєкту в межах практики було використано професійне програмне забезпечення PV SOL premium [21].

Ця програма дозволяє створювати тривимірну модель будівлі, точно задавати параметри даху, розміщувати сонячні панелі відповідно до просторових умов і враховувати сезонні зміни положення сонця. На основі географічних координат автоматично підтягуються кліматичні дані з багаторічних спостережень, що дозволяє моделювати щомісячну генерацію системи з високою точністю. Окремо враховуються втрати енергії, пов'язані з кутом нахилу панелей, запиленням, нагріванням, ефективністю інвертора, а також падінням напруги у кабельних лініях.

PV SOL дає змогу задавати конкретні технічні параметри обладнання: тип панелей, їхню кількість, спосіб підключення, модель інвертора, ємність і конфігурацію акумуляторів. Це дозволяє виявити, як система поводитиметься в різних режимах – наприклад, при пікових навантаженнях або у випадку зменшення сонячного випромінювання. У ході симуляцій програма формує докладні звіти, що включають дані про обсяг щомісячної генерації, рівень самоспоживання, відсоток надлишкової енергії, що може подаватися у

					ОН-11.21.013		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криштопайтис			ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТИ	Лист.	Лист
Перев.		Чернявський А.В.					58
Реценз.		Торопов А. В.				НН ІЕЕ	
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.		Бориченко О.В.					

мережу, та ступінь використання акумуляторів [21].

Програма також генерує графіки навантаження і роботи акумуляторів, дає змогу моделювати вплив тіней від сусідніх будівель або об'єктів на даху, що є особливо актуальним у міських умовах. Це забезпечує точне розуміння втрат генерації через часткове затінення та дає змогу оптимально розмістити модулі [21].

У результаті використання PV SOL було отримано розрахункові дані, які дали змогу оцінити загальну продуктивність системи, визначити її доцільну потужність, спрогнозувати термін окупності інвестицій та підібрати компоненти, що відповідають вимогам об'єкта. Таким чином, програмне забезпечення стало невід'ємним інструментом на всіх етапах проєктування сонячної електростанції – від початкової ідеї до фінального техніко–економічного обґрунтування.

5.2 Проектування гібридної СЕС

На рисунку 5.1 здійснили симуляцію сонячного випромінювання протягом року для даної локації.

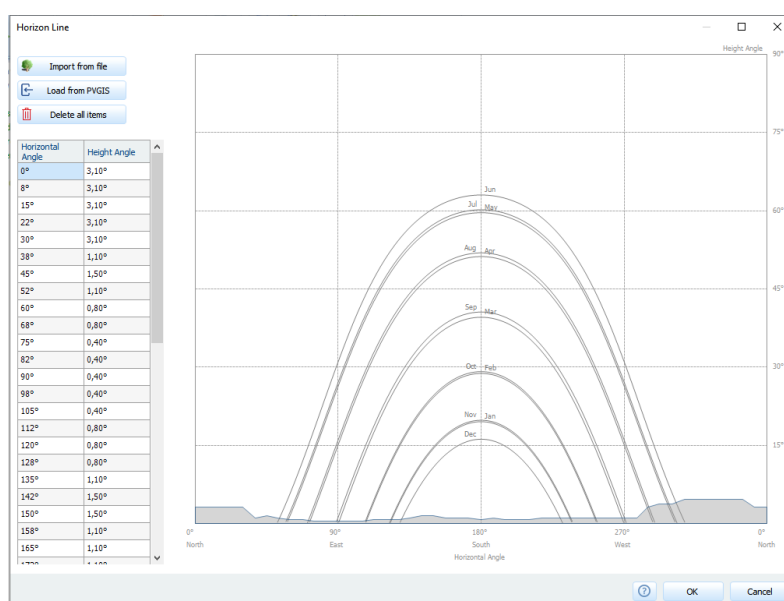


Рисунок 5.1 – Симуляція сонячного випромінювання відповідно горизонту

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		59

Відповідно до наявної будівлі обираємо висоту будинку, розміри стін та криші, позначаємо на карті дерева – рисунок 5.2.

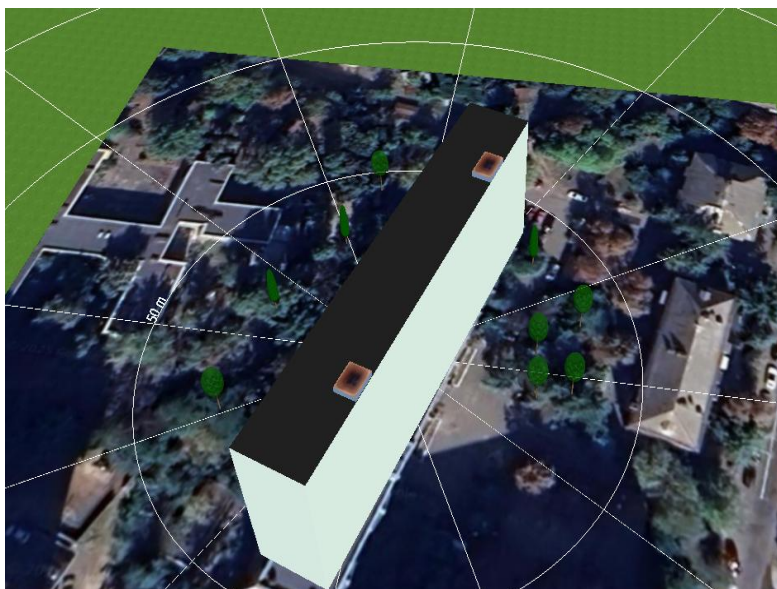


Рисунок 5.2 – Модулювання будинку та позначення дерев поруч з будинком

Наступним кроком моделюємо розміщення панелей на даху нашого об'єкту, зображено на рисунку 5.3.

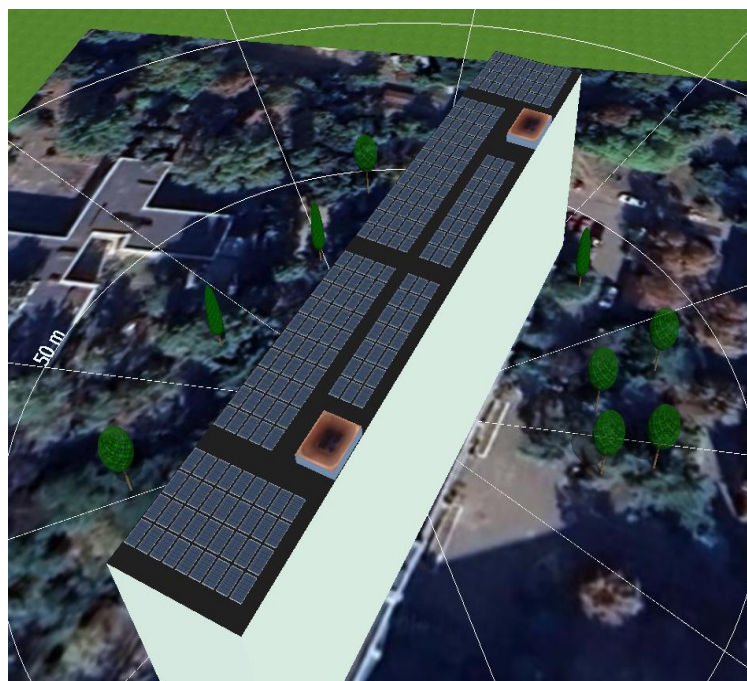


Рисунок 5.3 – Комп'ютерне моделювання розміщення панелей на даху будинку

Для вибору панелей необхідно провести аналіз наявних на ринку варіантів панелей [22]. Аналіз характеристик представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики сонячних панелей

Показники	Вид сонячних панелей		
	LR5–72 НТН 545 М [23]	JAM72S30 545W [24]	TSM–DE19 540W [25]
Виробник	Longi Solar	JA Solar	Trina Solar
Тип панелей	монокристалічна	монокристалічна	монокристалічна
ККД панелі, %	21,5	21,1	20,7
Номінальна потужність, Вт	545	545	540
Робоча напруга, В	41,65	41,80	31,2
Робочий струм, А	13,04	13,04	17,33
Температурний коефіцієнт потужності, %/°C	–0,35	–0,35	–0,34
Габарити (Д×Ш×Т), мм	2256x1133x35	2278x1134x30	2384×1096×35
Вага, кг	27,2	27,3	28,6
Гарантія, місяців	12	12	10

Аналізуючи технічні характеристики 3–х сонячних панелей, приймаємо рішення обрати панелі типу Longi Solar – LR5–72 НТН 545 М [23], адже вони мають низку переваг:

– найвищий коефіцієнт корисної дії: Longi Solar на тій самій площі генерує більше електроенергії, ніж його конкуренти. Для даху гуртожитку з обмеженим простором це є критично важливим – дає змогу найбільш ефективно використовувати наявний простір;

– найменша вага: це дозволяє зменшити навантаження на покрівельні структури, що є критично важливим при використанні даху гуртожитку;

– температурний коефіцієнт: цей показник подібний до показників інших компаній, але вказує на стабільну працездатність навіть за підвищених літніх температур.

Для оптимальної роботи станції, розміщуємо панелі, лише поза зоною затінення.

Основною технологічною ланкою виробництва електроенергії є фотогальванічні панелі, які перетворюють електромагнітну енергію сонячної радіації безпосередньо в електричний струм постійної напруги. Номінальний робочий температурний діапазон знаходиться в межах від -10°C до 70°C .

Відповідно до основних параметрів нижче наведені розрахунки напруги на вході в інвертор для фотогальванічних панелей.

– напруга холостого ходу панелі за умови досягнення крайніх меж температурного діапазону:

$$U_{\text{хх пан}} = U_{\text{хх}} + (1 + k \cdot \Delta t),$$

де $U_{\text{хх}}$ – напруга холостого ходу панелі за $t_{\text{пан}} = 25^{\circ}\text{C}$.

k – температурний коефіцієнт напруги холостого ходу ($k=0,0033\%/^{\circ}\text{C}$);

Δt – різниця температур між крайніми точками номінального діапазону та нормальними умовами ($\Delta t = t_{\text{ном}} - t_{\text{пан}}$).

$$U_{\text{хх пан}}(-10^{\circ}\text{C}) = 49,65 + (1 + (-0,0033 \cdot (-10 - 25))) = 50,77 \text{ В},$$

$$U_{\text{хх пан}}(70^{\circ}\text{C}) = 49,65 + (1 + (-0,0033 \cdot (70 - 25))) = 50,5 \text{ В}.$$

– напруга холостого ходу блоку:

$$U_{\text{хх блоку}}(-10^{\circ}\text{C}) = 50,77 \cdot 10 = 507,7 \text{ В},$$

$$U_{\text{хх пан}}(70^{\circ}\text{C}) = 50,5 \cdot 10 = 505 \text{ В}.$$

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		62

– струм блоку в режимі видачі максимальної потужності рівний струму однієї панелі – 13,04А;

Максимальні можливі струми за даної кількості приєднань складатимуть:

$$I_n = n \cdot I_{mn};$$

де n – кількість приєднань;

$$I_{13} = 13 \cdot 13,04 = 169,5 \text{ A};$$

$$I_9 = 9 \cdot 13,04 = 117,36 \text{ A}$$

– струм на вході в інвертори:

$$I_{inv} = f \cdot I_{пан},$$

де f – кількість блоків, які приєднано до даного інвертора;

$I_{пан}$ – струм найменш потужної панелі, що входить у блоки даного інвертора.

$$I_{inv} = 227 \cdot 13,04 = 2960 \text{ A},$$

Загальна потужність 227 панелей складає 122,58 кВт. Обираємо інвертор з ТОП-наявних на ринку варіантів, які наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики інверторів

Показники	Вид інверторів		
	SUN-50K- SG01HP3-EU- BM4 [26]	SUN2000- 50KTL-M3 [27]	SG50CX [28]
Виробник	Deye	Huawei	SunPower
Тип інвертора	гібридний	мережевий	мережевий
ККД, %	97,6	98,7	98,4
Номінальна потужність, Вт	50000	50000	50000
Максимальна потужність, Вт	65000	50000	55000

Продовження таблиці 5.2

Показники	Вид інверторів		
	SUN–50K– SG01HP3–EU– BM4 [26]	SUN2000– 50KTL–M3 [27]	SG50CX [28]
Кількість MPPT	4/2	4/2	5
Діапазон вхідної напруги, В	150–850	200–1000	200–1100
Габарити (Д×Ш×Т), мм	527×894×294	1075x555x300	782x645x310
Вага, кг	80	49	62
Гарантія, місяців	60	60	60

Так як, ми проектуємо гібридну СЕС, то обираємо інвертор типу Deye SUN–50K–SG01HP3–EU–BM4 [26].

Розраховуємо кількість батарейних блоків, які необхідно встановити для забезпечення безперервної роботи 3–х фазної енергоустановки потужністю 30 кВт протягом 4 год. Розрахунок стрінгів зображено на рисунку 5.4.

Батарейний блок було обрано зважаючи на основні показники робочих струмів та напруги. Також важливим аспектом при виборі батареї було можливість одночасної зарядки та розрядки без зношення батареї.

Дано:

Батарейний блок – LiFePO₄ 51,2В 100А·год 5,12кВт·год.

Для розрахунків приймемо залишкову ємність на рівні 20%.

Потужність підведеної мережі 50 кВт.

Коефіцієнт використання ємності АКБ: $k=0,8$.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		64

Automatic Configuration

☒ Standard Inverter-Selection for automatic configuration: Suitable: 1 / Selection: 1
☐ SolarEdge *

 Suggest Configuration  Select Configuration

CHECK	VALUES	POWER
✓	CONFIGURATION: Building 01-Roof Area East	
✓	INVERTER 1: ☐ Polystring Configuration ☒ 1 x Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-... ☐ Power Optimizer Type of Operation: MPP 1, MPP 2, MPP 3, MPP 4	61,56 kWp
✓	MPP 1: 2 Strings x 15 Modules in series	
✓	MPP 2: 2 Strings x 14 Modules in series	
✓	MPP 3: 2 Strings x 14 Modules in series	
✓	MPP 4: 2 Strings x 14 Modules in series	
✓	INVERTER 2: ☐ Polystring Configuration ☒ 1 x Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-... ☐ Power Optimizer Type of Operation: MPP 1, MPP 2, MPP 3, MPP 4	61,02 kWp
✓	MPP 1: 2 Strings x 15 Modules in series	
✓	MPP 2: 2 Strings x 14 Modules in series	
✓	MPP 3: 2 Strings x 14 Modules in series	
✓	MPP 4: 3 Strings x 9 Modules in series	

Рисунок 5.4 – Стрінги сонячних панелей

Використовуючи наступну формулу для розрахунку знайдемо загальну ємність батарей $Q_{\text{заг}}$:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{t \cdot P_{\text{нав}}}{V \cdot k} = \frac{4 \cdot 30000}{51,2 \cdot 0,8} = 2929,7 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Необхідна кількість батарейних блоків

$$N = \frac{Q_{\text{заг}}}{Q_{16}} = \frac{2929,7}{100} = 29,29 = 30 \text{ шт.}$$

Оскільки сумарна потужність при роботі інвертора може бути більша за номінальну потужність мережі, можливі перевантаження, які призведуть до аварійних відключень.

Розраховуємо резервну потужність, яку можна використати для заряджання АКБ.

$$P_{\text{рез}} = P_{\text{мер}} - P_{\text{нав}} = 50 - 30 = 20 \text{ кВт.}$$

Отже, для зарядки акумуляторної батареї можна використати 2 кВт, розраховуємо значення струму заряджання при заданій потужності.

$$I_{\text{зардоп}} = P_{\text{рез}} / U_{\text{номбат}} = 20000/2/409,6=24,4\text{А.}$$

де 2 – кількість інверторів,

409,6 – напруга збірки акумуляторів.

Розраховуємо час заряджання при обмеженні струму заряджання до 24,4 А.

$$t'_{\text{зар}} = Q_{\text{заг}} / I_{\text{зар}} = 2929,7 / 24,4 = 120 \text{ год.}$$

При достатній сонячній генерації сонячні панелі будуть заряджати акумулятори. Максимальний струм заряду одного акумулятора може становити 100 А. Згідно паспортних даних інвертора максимальний струм заряду може становити 190 А.

$$t'_{\text{зар}} = Q_{\text{заг}} / I_{\text{зар}} = 2929,7 / 200 = 14,6 \text{ год.}$$

5.3 Вибір перерізу кабелів постійного струму

Виконати вибір перерізів кабелів постійного та змінного струмів, комутаційного та захисного обладнання для схеми ФЕС, що наведено в додатку «Вибір основного обладнання» додаткових матеріалах. Параметри кабеля вибираємо з технічних даних (додаються). Розрахунок проводимо для довжини кабеля 50 м.

$$I_b = 1,25 \cdot 13,92 = 17,04 \text{ А.}$$

Дані умови задовольняє кабель 1х 4 мм². Номінальний струм кабелю становить 50 А.

З урахуванням понижуючих коефіцієнтів (0,58 – температурний, 0,9 – на спосіб прокладання) струм становить 26,1 А, що більше струму стрінга.

Втрати напруги в кабельних лініях для кабелю 1х 4 мм².

Розрахунок виконано за температури 90°С та умов максимальної генерації ФЕМ – напруги та струму точки максимальної потужності – 41,65 В та 13,04 А відповідно. Один стрінг містить 7 послідовно з'єднаних ФЕМ, а інший 8, відповідно для визначення напруги збірки необхідно напругу ФЕМ

					ОН-11.21.013	Арк.
						66
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

помножити на 7, а пізніше виконати розрахунок для 8 модулів.

DC VOLTAGE DROP and ENERGY LOSSES CALCULATOR

DC POWER

DC Voltage (U):
637 V

DC Current (Ib):
13.04 A

DC POWER (P) :
8306 W

calculate

DC Voltage Drop

wire material :
Copper

Wire size (mm2) :
4

Temperature of the cable :
100 °C

Simple length (one run) :
50 m

DC voltage drop :
7.32 V

DC voltage drop (%):
1.15

calculate

DC Energy losses

DC Energy losses :
95.39 W

DC Energy losses (%):
1.15 %

calculate

Рисунок 5.5 – Результати розрахунку втрат напруги в кабельних лініях постійного струму для підключення 8 панелей ФЕМ

DC VOLTAGE DROP and ENERGY LOSSES CALCULATOR

DC POWER

DC Voltage (U):
441 V

DC Current (Ib):
13.04 A

DC POWER (P) :
5751 W

calculate

DC Voltage Drop

wire material :
Copper

Wire size (mm2) :
4

Temperature of the cable :
100 °C

Simple length (one run) :
50 m

DC voltage drop :
7.32 V

DC voltage drop (%):
1.66

calculate

DC Energy losses

DC Energy losses :
95.39 W

DC Energy losses (%):
1.66 %

calculate

Рисунок 5.6 – Результати розрахунку втрат напруги в кабельних лініях постійного струму для підключення 227 панелей ФЕМ

Втрати напруги становлять 0,43–0,49 %, що істотно нижче рекомендованого рівня втрат.

5.4 Вибір кабелів живлення змінного струму

Визначимо переріз кабелю від розподільчого щита до інвертора та від інвертора до силового щита. Максимальний струм інвертора складає 75 А. З урахуванням перспектив обираємо кабель ВВГ 4х16 з номінальним робочим струмом 100 А. Загальна довжина кабелю складе 20 м.

5.5 Вибір автоматичного вимикача QF1

Максимальний струм інвертора становить 75 А. Дозволена потужність споживання складає 50 кВт. Ввідний автомат встановлений номіналом 75 А. Для забезпечення селективності спрацювання захистів, встановлюємо автомат номіналом 100 А. Особливості пов'язані з налаштуванням заряду та розряду акумуляторів можна регулювати в налаштуваннях інвертора.

5.6 Вибір обмежувачів перенапруг

В розподільному щиті у випадку відсутності обмежувача перенапруг та довжини кабельної лінії від інвертора до розподільного щита 20 м або більше, необхідно встановити додатковий обмежувач перенапруг. За допомогою конфігуратора обираємо обмежувачі перенапруг [29].

					ОН-11.21.013	Арк.
						68
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

Конфігуратор обмежувачів перенапруги

Оберіть країну Україна

Будь-ласка, оберіть необхідні параметри

Будівля має зовнішній блискавкозахист?	Так
Наявність поряд високої металевої конструкції (ЛЕП) ?	Так
Рівень блискавкозахисту (спрощено) (EN 62305-1) ?	100 кА

Головний (ввідний) розподільний щит

Система заземлення	TNC
Кількість фаз	3
Наявність сигнального контакту	Hi
ОПН без струмів витоку	Hi

Розподільний щит

Довжина електричної лінії до розпод. щита більше 10 м?	Так
Система заземлення	TNS
Кількість фаз	3
Наявність сигнального контакту	Hi

Головний (ввідний) розподільний щит

(Ви можете обрати один з цих ОПН)

Артикул	Найменування
002440665	ETITEC ML T123 300/12,5 3+0
002442905	ETITEC V T12 280/12,5 3+0

Розподільний щит

(Ви можете обрати один з цих ОПН)

Артикул	Найменування
002440395	ETITEC C T2 275/20 4+0
002442943	ETITEC V T2 255/20 4+0
002442956	ETITEC V T2 255/20 4+0

Обмежувач перенапруги

ETITEC C T2 275/20 3+0

002440399



Особливості

Артикул:	002440399	Додати до порівняння	Додати до обраного
Назва:	ETITEC C T2 275/20 3+0		
Категорія:	Обмежувач перенапруги		
Напруга довготривалої роботи Uc (AC):	275		
Тип:	T2		
In (8/20), (kA):	20		
Максимальний струм розряду Imax (8/20) kA:	40		
Рівень захисту по напрузі Ur (kV):	1,5		
Струм витоку:	TAK		
Технологія:	MOV		
Сигнальний контакт RC:	Hi		
Тип мережі:	TN-C		
Кількість полюсів:	3		
Глибина корпусу (mm):	66		
Призначення:	SPD		
Група каталогу:	ETITEC C		

Рисунок 5.7 – Параметри обмежувача перенапруг.

5.7 Вибір запобіжників

Номінальний струм запобіжника має бути трохи більшим, ніж максимальний струм, який генерує панель чи масив, щоб уникнути постійного спрацьовування. Розрахунок струму запобіжника виконується так:

$$I_{\text{запобіжника}} = I_{\text{макс. панелі}} \cdot 1.25$$

Максимальний струм панелі складає 13,04 А, то номінальний струм запобіжника буде:

$$13,04 \text{ А} \cdot 1.25 = 16,3 \text{ А}.$$

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		69

Обираємо 4 запобіжники СН 10х38 gPV 16А 1000V (30kА) [30], зображених на рисунку 5.8



Головна > Компоненти для захисту сонячних електростанцій GREEN PROTECT > Компоненти для захисту с
Запобіжник СН 10х38 gPV 16А 1000V (30kА)

Запобіжник СН 10х38 gPV 16А 1000V (30kА)

[В наявності](#) [Написати відгук](#)

126 грн

 Увійти для відображення накопичувальної знижки

Купити

Опис [Новий відгук або коментар](#) [Поширити у соцмережах](#)

Запобіжник СН 10х38 gPV 16А 1000V (30kА)

Рисунок 5.8 – Параметри запобіжників

5.8 Визначення падіння напруги під час протікання змінного струму

Падіння напруги в кабельній лінії 0,4 кВ розрахуємо за допомогою онлайн калькулятора [31], результати розрахунків пердставлені на рисунку 5.9

Расчёт потерь напряжения в кабеле	
Длина линии (м) / Материал кабеля:	20 Медь
Сечение кабеля (мм²):	16,0 мм²
Мощность нагрузки (Вт) или ток (А):	50000 82.573
Напряжение сети (В):	380 ☒ Мощность ☐ 1 фаза
Коэффициент мощности (cosφ):	0.92 ☐ Ток ☒ 3 фазы
Температура кабеля (°C):	35.00
Потери напряжения (В / %)	3.10249 0.816445
Сопротивление провода (ом):	0.0228803
Реактивная мощность (ВАр):	21299.9
Напряжение на нагрузке (В):	376.898

Рисунок 5.9 – Падіння напруги в кабелі [31]

Згідно проведеного аналізу падіння напруги на кабельних лініях 0,4 кВ є нижчим ніж рекомендоване.

Схема підключення СЕС

На рисунку 5.10 представлено схему підключення гібридної СЕС до ГРЩ будівлі.

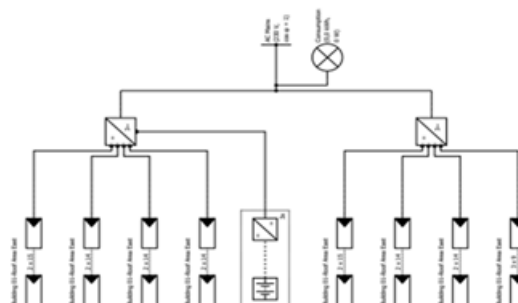


Рисунок 5.10 – Схема підключення СЕС

5.9 Аналіз затінення

Проводимо аналіз затінення сонячних панелей в програмному забезпеченні.

На рисунку 5.11 представлено розподіл коефіцієнту затемнення на кожній панелі, чим коефіцієнт нижче тим затемнення вище, як видно з малюнку біля ліфтових шахт, а також в нижній частині – затемнення вище, так як вона розташована ближче до сусідніх будинків.

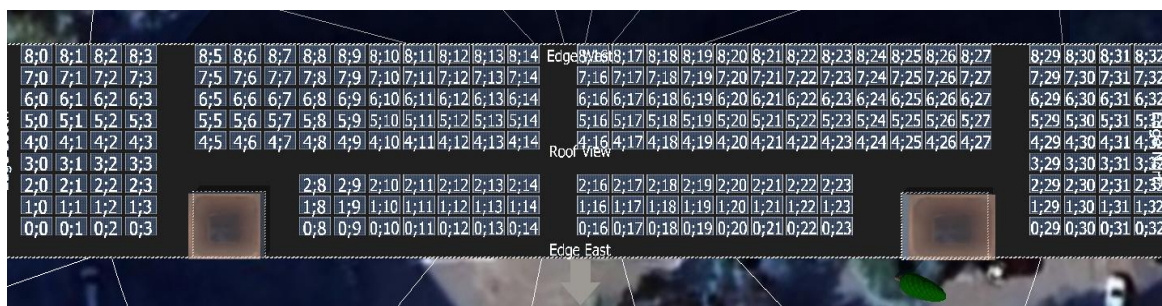


Рисунок 5.11 – Аналіз затінення ФЕМ

5.10 Задання параметрів акумуляторів для спроектованої системи

Вибір батарей зумовлений необхідністю безперебійної роботи СЕС, а також можливістю автономно жити критичні споживачі будівлі протягом 5 годин, процес підбору акумуляторних батарей, виконаний за допомогою програмного забезпечення PV SOL [21] представлено на рисунку 5.12.

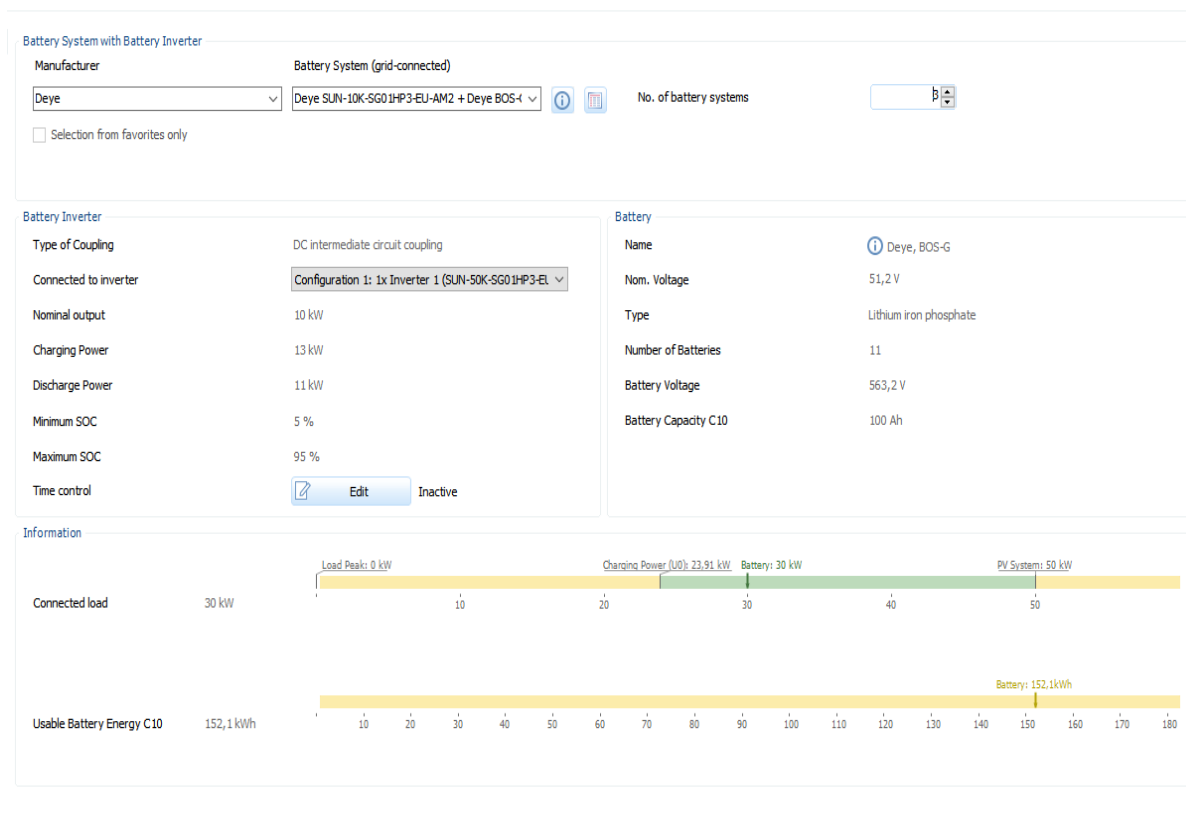


Рисунок 5.12 – Підключення акумуляторів до системи

Аналізуючи рисунок 5.12 , на рисунку 5.13 представлено як буде виглядати збірка акумуляторних батарей [32]

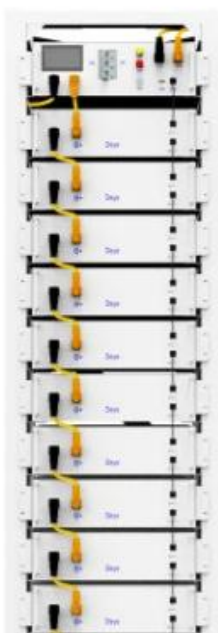


Рисунок 5.13 – Збірка АКБ

5.11 Електроспоживання будівлі

Відповідно до графіків споживання побудовано графік споживання електроенергії за рік, представлений на рисунку 5.14.

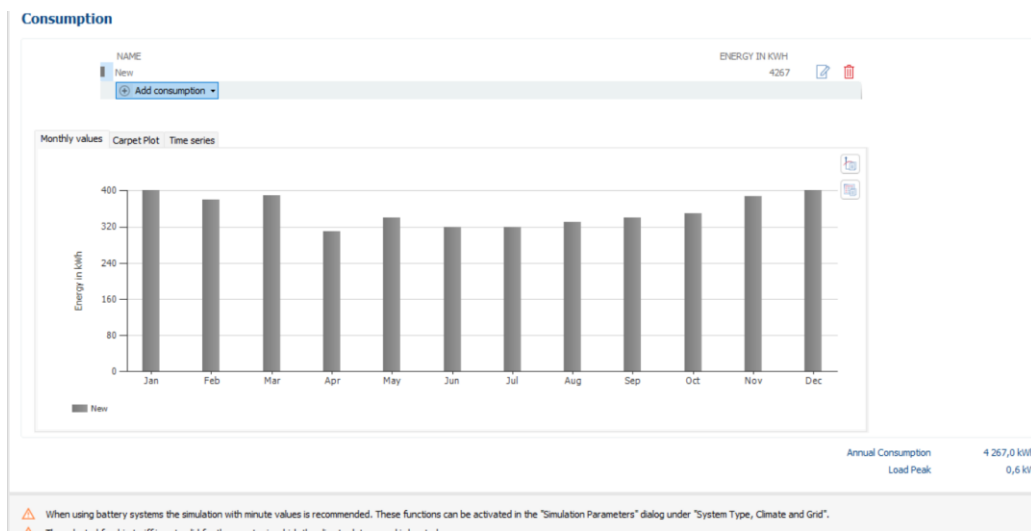


Рисунок 5.14 – Графік споживання електроенергії

5.12 Симуляція отриманої системи

Симуляція роботи системи СЕС являє собою аналіз споживання електроенергії від СЕС/Мережі/АКБ , потужність яка буде витрачатись на заряд АКБ та при розряді, результати симуляції представлені на рисунку 5.14.



Рисунок 5.15 – Результати симуляції даних проекту

Визначення витрат на реалізацію проекту

На основі вище підбраного обладнання на матеріалів було створено комерційну пропозицію виходячи з ринкових цін на матеріали та роботу, специфікація представлена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Специфікація

№	Товари (роботи, послуги)	Од.	Кіл-сть	Ціна, грн. без	Сума, грн. без
				ПДВ	ПДВ
1	Сонячні панелі Longi Solar – LR5-72 HTH 545 M	шт.	227	4200	953400

Продовження таблиці 5.3

№	Товари (роботи, послуги)	Од.	Кіл-сть	Ціна, грн. без	Сума, грн. без
				ПДВ	ПДВ
2	Гібридний інвертор Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-BM4	шт.	2	234000	468000
3	Комплект Deye BOS-GM5.1 61.44 kW 614.4V 100Ah LiFePO4 + BMS HVB750V RACK	шт.	4	35000	140000
4	Алюмінієвий блок 250 мм для безпрофільної системи H=80 мм	комплект	3	620000	1860000
5	ЩС Інв.	комплект	1	15000	15000
6	ЩС ФЕМ	комплект	1	25000	25000
7	Кабель сонячний КВЕ DB+ 4mm2 червоний/чорний	м	900	55	49500
8	Кабель ВВГнгд 4х16 мм2	м	20	345	6900
9	Кабель ПВ3 6 мм	м	20	50	1000
10	Гофра 40 мм ²	м	2160	20	43200
11	Кріплення	комплект	19	22000	418000
12	Вартість робіт	%	15,00%		597000
			Всього:		4577000
			ПДВ:		915400
			Разом з ПДВ:		5492400

5.13 Економічна оцінка проекту

Капітальні витрати проекту: 5492400 грн

Щорічна можлива економія: 1185507,9 грн.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		76

Інфляція на сьогодні становить 15% [4]

Часовий горизонт проекту обираємо: 10 років

Розрахуємо економічну оцінку проекту, представлену в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічна оцінка проекту

Час життя проекту, роки	Капітальні витрати, тис. грн.	Щорічні експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	Щорічна економія (вигоди від впровадження)	Грошовий потік (CF), тис. грн	Кумулятивний грошовий потік, тис.	Ki, i = 15%	Дисконт. грошовий потік, тис. грн	Дисконт. Кумулят. грошовий потік, тис. грн	Ki, i = 40%	Дисконт. грошовий потік, тис. грн
0	5492,4	0	0	-5492,4	-5492,4	1,00	-5492,40	-5492,40	1,00	-5492,40
1		0	1185,508	1185,508	-4306,892	0,87	1030,88	-4461,52	0,71	846,79
2		0	1185,508	1185,508	-3121,384	0,76	896,41	-3565,11	0,51	604,85
3		0	1185,508	1185,508	-1935,876	0,66	779,49	-2785,62	0,36	432,04
4		0	1185,508	1185,508	-750,368	0,57	677,82	-2107,80	0,26	308,60
5		0	1185,508	1185,508	435,14	0,50	589,41	-1518,39	0,19	220,43
6		0	1185,508	1185,508	1620,648	0,43	512,53	-1005,87	0,13	157,45
7		0	1185,508	1185,508	2806,156	0,38	445,68	-560,19	0,09	112,46
8		0	1185,508	1185,508	3991,664	0,33	387,54	-172,64	0,07	80,33
9		0	1185,508	1185,508	5177,172	0,28	337,00	164,35	0,05	57,38
10		0	1185,508	1185,508	6362,68	0,25	293,04	457,39	0,03	40,98
							457,39			-2631,09

Використовуючи формули 5.1–5.2 розрахуємо рентабельність проекту, представлену в таблиці 5.3.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1 + \alpha^t)} - I_0 \quad (5.1)$$

де CF_t – річні грошові надходження у t -му році протягом T років;

I_0 – стартові інвестиції;

α – ставка дисконтування.

$$IRR = \alpha_1 + \frac{NPV_{\alpha_1}}{NPV_{\alpha_1} - NPV_{\alpha_2}} \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (5.2)$$

де α_1 – значення ставки дисконтування, при якій

$$f(\alpha_1) < 0 \text{ або } f(\alpha_1) > 0$$

α_2 – значення ставки дисконтування, при якій

$$f(\alpha_2) > 0 \text{ або } f(\alpha_1) < 0$$

Таблиця 5.5 – Розрахунок IRR

I1	15	%
NPV1	457,39	тис.грн
I2	40	%
NPV2	-2631,09	тис.грн
IRR	18,70	%

Таблиця 5.6 – Простий і динамічний терміни окупності

SPP	11,60	11 років і 7 місяців
DPP	9,15	9 років і 1 місяць

Висновок до розділу 5

Внаслідок проведеного моделювання, спрямованого на впровадження гібридної сонячної електростанції на даху гуртожитку з використанням програмного забезпечення PV SOL, було підтверджено технічну обґрунтованість запропонованого рішення. В рамках дослідження було визначено найкращі параметри обладнання, включаючи тип фотомодулів, інвертора та системи накопичення енергії, що сприяють ефективній взаємодії між виробництвом та споживанням електроенергії. Розроблена специфікація проекту з вказаним приблизним обсягом інвестицій стала основою для подальшого аналізу економічної ефективності. Обчислення основних фінансових показників продемонструвало інвестиційну привабливість встановлення гібридної СЕС, спрямовану на підвищення енергетичної незалежності будівлі. Показники чистої приведеної вартості, внутрішньої норми рентабельності, терміну окупності та дисконтованого періоду окупності підтвердили здатність системи не тільки знижувати залежність від зовнішніх джерел енергії, а й забезпечувати економічну вигоду проекту протягом запланованого періоду функціонування. Отже, здійснене моделювання дозволило всебічно оцінити техніко-економічні аспекти реалізації гібридної СЕС та підкреслити її ефективність в контексті сталого розвитку об'єкта.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		78

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІБРИДНОЇ ДАХОВОЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ

6.1 Технічна характеристика обладнання

Гібридна сонячна електростанція на даху гуртожитку, має на меті забезпечення об'єкта частковою енергетичною автономією, використовуючи відновлювані джерела для виробництва електроенергії. Фундамент технічного рішення – це високопродуктивне фотогальванічне устаткування, що включає передові кремнієві модулі, інверторно–акумуляторну систему, а також засоби управління, спостереження, електробезпеки та блискавкозахисту. Дані по обраному обладнанню представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічна характеристика обладнання

Тип обладнання	Назва обладнання
Сонячні панелі	Longi Solar – LR5–72 HTH 545 M
Інвертор	Deye SUN–50K–SG01HP3–EU–BM4
Батарейний блок	LiFePO4 51,2В
Система моніторингу	Wi-Fi / Ethernet

6.2 Перелік робіт та виконавці

Встановлення та введення в експлуатацію гібридної сонячної електростанції на даху потребує злагодженої послідовності дій, що враховує складність проектного рішення, технічні особливості обладнання, вимоги безпеки та відповідні стандарти. Основний перелік робіт передбачає

					ОН-11.21.013		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криштопайтис			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІБРИДНОЇ ДАХОВОЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ	Лист.	Лист
Перев.		Чернявський А.В.					79
Реценз.		Торопов А. В.				НН ІЕЕ	
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.					
Затверд.		Бориченко О.В.					

механічне кріплення фотомодулів, монтаж перетворювального обладнання, проведення електромонтажних операцій, а також підключення компонентів контролю, захисту та заземлення.

На першому етапі реалізації проєкту здійснюється закріплення сонячних модулів на поверхні даху. Це завдання виконується монтажною бригадою, що складається з трьох спеціалістів, які пройшли необхідну підготовку для роботи на висоті та використовують відповідні засоби індивідуального захисту [33]. Їхня робота спрямована на фіксацію алюмінієвих конструкцій, точне позиціонування модулів з урахуванням інсоляційних параметрів, а також на забезпечення механічної стійкості конструкцій до вітрових та снігових навантажень.

Після завершення цього етапу до роботи приєднується кваліфікований електромонтер, обов'язком якого є монтаж інвертора. Цей процес охоплює закріплення пристрою в технічному приміщенні або на стіні, організацію підвідних комунікацій та первинне підключення інтерфейсів. Зважаючи на наявність у інверторі високовольтних ланцюгів, особлива увага приділяється дотриманню вимог електробезпеки та забезпеченню надійного електричного контакту [34].

Підключення акумуляторної батареї до системи виконується електротехніком, що має досвід роботи з літій–залізо–фосфатними накопичувачами енергії. Його робота передбачає забезпечення коректного з'єднання між модульних ланцюгів, дотримання рекомендованих параметрів струму та напруги, а також проведення випробувань на працездатність системи накопичення енергії [34].

Прокладання кабельних трас, які з'єднують сонячні модулі, інвертор, акумулятор та розподільчі щити, виконує електромонтажна група. При цьому враховуються як силові, так і сигнальні з'єднання, забезпечується відповідне маркування проводів, екранування ліній передачі даних та дотримання радіусу вигину кабелів відповідно до технічних вимог виробника.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		80

Наступним кроком є налаштування системи автоматизованого керування, що виконується інженером з автоматизації. Він налаштовує параметри роботи інвертора, встановлює режим заряджання та розряджання акумуляторів, інтегрує систему моніторингу з мережею передачі даних та перевіряє обмін інформацією між компонентами. Це гарантує стабільну та адаптивну роботу СЕС з урахуванням змінних умов споживання енергії та погодних умов.

Перевірку стану заземлювального контуру та відповідності нормативним вимогам виконує фахівець з електробезпеки, проводячи вимірювання опору розтікання та оформлюючи необхідну документацію. Від якості виконання цього етапу залежить рівень захисту персоналу та обладнання у випадку аварійної ситуації або впливу блискавки [33].

Встановлення елементів активної системи блискавкозахисту виконує спеціалізована організація, що має ліцензію та відповідні дозволи на проведення таких робіт. Монтаж блискавкоприймача, струмопровідних елементів та з'єднання з контуром заземлення здійснюється у суворій відповідності до стандартів захисту від блискавки першої категорії [33].

Злагоджена співпраця всіх учасників процесу не лише забезпечує коректне та безпечне встановлення системи, але й гарантує її тривалу, надійну та ефективну роботу в умовах змінних навантажень та впливу зовнішніх факторів.

6.3 Характеристика умов праці

Встановлення та подальше обслуговування гібридної дахової сонячної електростанції супроводжується підвищеним рівнем небезпеки. Зокрема, монтаж сонячних панелей відбувається на даху дев'ятиповерхового гуртожитку, висота якого досягає приблизно 27–30 метрів. Згідно з наказом Мінсоцполітики № 62 від 27.01.2014 [34], що зобов'язує використовувати страхувальні системи, забезпечити спеціальне навчання персоналу та реалізувати організаційні заходи для уникнення падіння з висоти.

					ОН-11.21.013	Арк.
						81
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

Умови праці включають як зовнішні роботи (монтаж сонячних модулів, заземлення, блискавкозахист), так і внутрішні (підключення інвертора, акумуляторного блоку, налаштування системи керування). Зовнішні роботи здійснюються в температурному режимі від -10 до $+35$ °C, що відповідає умовам помірного клімату. Вплив метеорологічних факторів (вітер, опади, ожеледиця) потребує дотримання вимог безпеки, регламентованих [35].

Освітлення робочих зон є комбінованим: в денний час – природне, у вечірній і нічний час – штучне, відповідно до вимог [36], яке встановлює рівні освітленості для електромонтажних робіт не менше 300 лк.

Роботи виконуються з електроустаткуванням з напругою до 1000 В постійного струму та 400 В змінного струму. Це вимагає суворого дотримання вимог [37], особливо щодо допуску до робіт лише осіб з відповідною групою з електробезпеки, використання діелектричних засобів захисту, а також організаційних заходів з відключення електроживлення обладнання під час технічного обслуговування.

Загалом, умови праці при монтажі та експлуатації дахової СЕС вимагають неухильного виконання законодавчих вимог щодо охорони праці, електробезпеки та організації робіт на висоті, задля мінімізації виробничих ризиків та забезпечення безпечного функціонування системи.

6.4 Визначення шкідливих чинників

При встановленні гібридної СЕС на даху гуртожитку можна виділити такі шкідливі чинники:

- робота на висоті: персонал буде перебувати на висоті 9–ти поверхової будівлі, така діяльність супроводжується падінням з висоти, порушення рівноваги та ураження внаслідок зовнішніх факторів, зокрема сильного вітру чи падіння уламків під час збиття цілей військового характеру;

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		82

– вплив електричного струму: обладнання, що встановлюється в системі, працює при значних значеннях напруги – до 1000 В постійного струму (від фотоелектричних модулів) та 400 В змінного струму (мережевий вихід інвертора), тому існує реальна загроза ураження струмом при порушенні ізоляції, неналежному підключенні або аварійній ситуації.

– фізичне навантаження: навантаження. пов'язане з транспортуванням та встановленням фотомодулів, інвертора та акумуляторів, також має враховуватись у процесі планування робіт. Переміщення елементів великої маси, особливо в умовах нестабільної опори або при похилому даху, може призводити до травм опорно-рухового апарату, падінь, а також сприяти загальному перевантаженню працівників.

6.5 Вибір відповідних заходів і засобів з обмеження шкідливих чинників та електробезпеки

З метою гарантування безпеки праці під час монтажу, експлуатації та сервісного обслуговування гібридної дахової сонячної електростанції (СЕС), змонтованої на даху гуртожитку, потрібно забезпечити сукупність організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних практик. Ці практики спрямовані на мінімізацію негативного впливу ідентифікованих шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Першочергова увага приділяється електробезпеці, що є критичним аспектом при роботі з високовольтним устаткуванням [34].

Передусім, для зменшення ризику ураження електричним струмом, передбачається застосування захисного заземлення для всього обладнання, що працює під напругою. Відповідно до вимог [38, 39], в конструкції СЕС реалізується система повторного заземлення з опором не вище 4 Ом, що забезпечує ефективне відведення струму короткого замикання чи перенапруги.

Щоб уникнути ураження електричним струмом, запроваджено комплекс заходів для обмеження доступу до потенційно небезпечних частин системи. Всі силові шафи та розподільчі пристрої маркуються попереджувальними написами, блокуючими замками та захисними екранами. Роботи з підключення або діагностики високовольтних ланцюгів дозволяється виконувати тільки із застосуванням діелектричних інструментів і засобів індивідуального захисту: рукавиць, калош, діелектричних килимків та інших засобів [39].

Для зниження ризиків, пов'язаних з роботою на висоті понад 25 метрів, працівники забезпечуються страхувальними системами з амортизаторами падіння. Платформи доступу до обладнання на даху обладнуються огорожами та точками кріплення для страхувального спорядження. Роботи на висоті дозволяються тільки після проведення інструктажів, навчання та медичного огляду.

Задля захисту від впливу ультрафіолетового випромінювання та інтенсивного сонячного світла, рекомендовано використовувати спецодяг з довгими рукавами, головні убори з козирками, а також захисні окуляри з УФ-фільтрами. Під час технічного обслуговування сонячних панелей у денний час передбачено їх часткове затемнення або відключення інвертора, щоб уникнути утворення електричного струму.

Враховуючи потенційну можливість коротких замикань в системі, передбачено використання автоматичних вимикачів з характеристиками, що відповідають параметрам електричного навантаження [38]. Усі кабельні траси прокладаються в негорючих пластикових або металевих лотках, а для акумуляторних блоків впроваджено систему аварійного відключення.

Необхідною умовою безпеки є організація інструктажів та навчання персоналу, залученого до експлуатації та обслуговування СЕС. Згідно з [40], первинні, повторні та позапланові інструктажі мають проводитися регулярно з фіксацією в спеціальних журналах.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		84

6.6 Розрахунок блискавкозахисту

Для гарантування безпеки будівлі гуртожитку та устаткування гібридної сонячної електростанції, яке розміщене на даху, від прямих ударів блискавки, пропонується встановити активну систему блискавкозахисту [41].

Активний блискавкоприймач або ESE (Early Streamer Emission) блискавкоприймач – це пристрій, що під час грози випускає заряджені частинки (зустрічний стример) на перехоплення блискавці. Тобто висота блискавкоприймача стрімко «зростає» на величину підйому зустрічного стримеру, а радіус захисту блискавкоприймача, відповідно, суттєво «збільшується» [41].

Пропонується застосувати активну систему блискавкозахисту з блискавкоприймачем моделі М-04 на металевій щоглі висотою 2,5 м над рівнем покрівлі (Додаток Б), що відповідає вимогам та побудований на основі принципу збільшеного часу випередження.

$$R = \sqrt{2h \cdot \Delta S + (\Delta S)^2} \quad (6.1)$$

де h – висота встановлення блискавкоприймача над захищуваною поверхнею,

ΔS – додатковий радіус, зумовлений випередженням ініціації розряду, виходячи з технічної документації аналогічних приймачів, значення додаткового радіуса дії (ΔS) для блискавкоприймача типу М-04 становить орієнтовно 50 м.

$$R = \sqrt{2 \cdot 2,5 \cdot 50 + 50^2} = 52,44 \text{ м}$$

Таким чином, встановлена система блискавкозахисту забезпечує ефективну зону покриття радіусом понад 50 метрів, що є достатнім для захисту всієї площі покрівлі гуртожитку та розташованого на ній обладнання сонячної електростанції. Провідник виконано із мідного дроту з поперечним перерізом не менше 50 мм², що відповідає нормативам ПУЕ та вимогам до

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		85

системи блискавкозахисту I категорії. Контур заземлення виконано замкнутого типу з використанням вертикальних електродів довжиною 3 м у кількості 4 шт., що забезпечує питомий опір заземлення не більше 4 Ом.

6.7 Вибір заходів з пожежотушіння

Протипожежні заходи під час експлуатації гібридної дахової сонячної електростанції мають ґрунтуватися на всебічному вивченні потенційних загроз загоряння та специфіки використаних матеріалів і обладнання. Незважаючи на те, що переважна частина компонентів сонячної електростанції, таких як фотомодулі та металеві конструкції, виготовлені з негорючих або важкогорючих матеріалів, це не звільняє від потреби виконання протипожежних правил. Особливої уваги вимагають технічні приміщення, де розміщуються інвертори та акумуляторні блоки, оскільки саме в цих зонах існує ймовірність перегріву або короткого замикання, що може стати причиною загоряння.

Відповідно до вимог [42], в таких приміщеннях мають бути розміщені ефективні засоби пожежогасіння, що здатні швидко зупинити пожежу на початковому етапі. Перевагу віддають порошковим вогнегасникам типу ВП–5 [43], що мають універсальну дію на різні класи пожеж та здатні оперативно зупинити процес горіння електрообладнання. Розташування двох таких вогнегасників в кожному технічному приміщенні забезпечує достатній обсяг пожежогасного засобу та дає змогу ефективно та безпечно ліквідувати загоряння.

До того ж, ключовим елементом системи пожежної безпеки є протипожежний щит, розташований поблизу входу до щитової, який містить необхідне обладнання та інструменти для гасіння пожежі, а також інструкції для персоналу з дій у надзвичайних ситуаціях. Додатково, монтаж датчиків диму та температури в приміщенні з інвертором дає можливість постійно

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		86

відслідковувати стан навколишнього середовища та своєчасно виявляти ознаки пожежі або перегріву, що значно покращує безпеку експлуатації.

Важливою складовою протипожежної системи є також система оповіщення, що своєчасно інформує персонал про виникнення загрози, а також чітко розроблений план евакуації з урахуванням специфіки розміщення сонячної електростанції, що гарантує безпечний та організований вихід людей з будівлі у випадку пожежі. Сукупність всіх цих заходів формує надійну систему протипожежного захисту, яка відповідає актуальним нормам безпеки і дозволяє істотно зменшити ризики виникнення та поширення пожежі в процесі експлуатації гібридної дахової сонячної електростанції. Відтак, пожежна безпека є невід’ємним компонентом експлуатації системи, і суворе дотримання запропонованих заходів є гарантією безперебійної роботи обладнання та безпеки персоналу [43].

Висновки до розділу 6

Внаслідок всебічного аналізу та проектування гібридної дахової сонячної електростанції з метою збільшення енергетичної незалежності гуртожитку, були визначені ключові технічні параметри обладнання, що гарантують результативну та стабільну роботу системи. Враховуючи особливості монтажних і експлуатаційних умов, можливо організувати безпечний та якісний процес впровадження СЕС, беручи до уваги температурні, висотні та електробезпекові аспекти.

Виявлення шкідливих і небезпечних факторів, зокрема, праця на висоті, вплив електричного струму різного типу, електромагнітне випромінювання, а також фізичні навантаження під час монтажу, послужило основою для розробки ефективних заходів щодо їх обмеження. Запропоновані засоби індивідуального захисту та організаційні заходи допомагають мінімізувати ризики та забезпечити безпечні умови праці для персоналу.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		87

Окрему увагу було приділено питанню блискавкозахисту, де використання активного блискавковідводу гарантує надійний захист обладнання та будівлі від ураження блискавкою, що критично важливо для довгострокової експлуатації системи в непростих кліматичних умовах.

Також детально опрацьовано заходи пожежної безпеки, що передбачають використання відповідних засобів пожежогасіння, систем моніторингу та оповіщення, а також чітко розроблені плани евакуації.

Застосування цих заходів забезпечує оперативне реагування на потенційні пожежні ситуації та зводить до мінімуму ризики як для обладнання, так і для життя та здоров'я людей.

Таким чином, комплексний підхід до технічного оснащення, організації робіт, аналізу ризиків та реалізації систем безпеки дозволяє забезпечити ефективну та безпечну експлуатацію гібридної дахової сонячної електростанції. Це сприяє не тільки підвищенню енергетичної незалежності гуртожитку, але й створенню безпечних та комфортних умов для його мешканців та обслуговуючого персоналу.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		88

ВИСНОВОК

Під час роботи над дипломним проєктом було проведено комплексне дослідження для оцінки можливості збільшення енергетичної незалежності гуртожитку. Проаналізовано енергоспоживання, виявлено проблемні місця та запропоновано використання відновлюваних джерел енергії. У вступній частині обґрунтовано актуальність теми, окреслено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Загальний огляд будівлі дав змогу скласти загальне розуміння її конструкції та особливостей енерговикористання.

На етапі дослідження ефективності споживання електроенергії було виявлено значний потенціал для економії, зокрема завдяки автоматизації освітлення за допомогою датчиків руху та переходу на енергоощадні лампи [44]. Це дозволило зменшити надмірне споживання електроенергії без погіршення умов експлуатації. Подальший аналіз стосувався теплотехнічних характеристик зовнішніх конструкцій, що виявив значні тепловтрати через недостатній термічний опір [45]. На основі проведених розрахунків було обґрунтовано низку заходів щодо покращення енергоефективності огорожувальних елементів будівлі.

Особлива увага була приділена розробці системи енергоменеджменту, що є основою для стабільного контролю та оптимізації енергоспоживання в довгостроковій перспективі. Розділ, присвячений оцінці можливості впровадження відновлюваних джерел енергії, зосереджено на моделюванні гібридної дахової сонячної електростанції з використанням програмного забезпечення PV SOL [21]. Результати моделювання підтвердили технічну реалістичність та економічну вигідність впровадження системи, яка дозволить зменшити залежність будівлі від централізованого електропостачання та значно скоротити витрати на електроенергію. Розраховані показники ефективності, такі як чиста приведена вартість, внутрішня норма прибутковості та терміни окупності, свідчать про привабливість інвестицій запропонованого рішення.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		89

Окремим аспектом дослідження стали питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації гібридної СЕС [19, 35], що забезпечило відповідність запропонованих технічних рішень вимогам безпеки.

Отже, результати роботи показують, що впровадження комплексу енергоефективних рішень у поєднанні з використанням відновлюваних джерел енергії не тільки збільшує енергетичну автономність будівлі, але й сприяє досягненню економічної та екологічної ефективності функціонування об'єкта в умовах сучасних викликів енергозабезпечення.

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		90

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серп. 2017 р. № 605–р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення: 02.06.2025).
2. Плюси та мінуси сонячних електростанцій / Своя енергія. URL: <https://svoya-energy.com.ua/plyusy-ta-minusy-sonyachnyh-elektrostantsij/> (дата звернення: 02.06.2025).
3. Чому сонячна енергія — це тренд майбутнього в Україні / СВІТАКБ. URL: <https://svitakb.ua/ua/blog-ua/chomu-sonjachna-energija-ce-trend-majbutnogo-v-ukrajini> (дата звернення: 04.06.2025).
4. Тарифи на електроенергію в Україні / Мінфін. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/> (дата звернення: 07.06.2025).
5. SankeyMATIC : онлайн-генератор діаграм Санкея. URL: <https://sankeymatic.com/> (дата звернення: 07.06.2025).
6. Лінійний світильник герметичний / PRO-LED. URL: <https://pro-led.com.ua/ua/p1304753969-linejnyj-svetilnik-germetichnyj.html> (дата звернення: 07.06.2025).
7. Датчик руху та освітлення VIDEX VL-SPW02W / VIDEX. URL: <https://videx.ua/products/datchik-dvizheniya-i-osvescheniya-videx-vl-spw02w-220v-1200w-50shtyasch-infrakrasnyj> (дата звернення: 07.06.2025).
8. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118–VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 07.06.2025).

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		91

9. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель : постанова Кабінету Міністрів України від 27.10.2020 № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/260-2020-п> (дата звернення: 08.06.2025).
- 10.ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ : Мінрегіон України, 2021. – 124 с.
- 11.ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – [Чинний від 2011-01-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 61 с.
- 12.ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція і кондиціонування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 148 с.
- 13.Облицювання фасадів сайдингом: розцінки / Robotniki.ua. URL: <https://www.rabotniki.ua/uk/price/oblitsovka-fasada-ili-steny-saydingom> (дата звернення: 08.06.2025).
- 14.Високотемпературна плита ROCKWOOL FIREROCK / Епіцентр. URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/vysokotemperaturnaya-plita-rockwool-firerock.html> (дата звернення: 08.06.2025).
- 15.Вікна під ключ [Електронний ресурс] // LuxOkna : сайт. – Режим доступу: https://lux-okna.com/blog/cho_takoe_okna_pod_klyuch (дата звернення: 08.06.2025).
- 16.Балансувальні клапани / Evolux.pro. URL: <https://evolux.pro/ua/balansirovochnye-klapany/331/> (дата звернення: 08.06.2025).
- 17.Енергоменеджмент / Держпродспоживслужба. URL: <https://dpss.gov.ua/diyalnist/enerhomenedzhment> (дата звернення: 08.06.2025).
- 18.Про впровадження систем енергетичного менеджменту : постанова Кабінету Міністрів України від 23.12.2021 № 1460. URL:

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		92

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-п#Text> (дата звернення: 08.06.2025).

- 19.ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги з настановами щодо застосування. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf (дата звернення: 08.06.2025).
- 20.УкрЕнергоЕкспорт. URL: <https://www.ukrenergoeexport.com/uk/node/71> (дата звернення: 09.06.2025).
- 21.PV*SOL premium – Програмне забезпечення для моделювання сонячних електростанцій / Valentin Software. URL: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> (дата звернення: 05.05.2025).
- 22.Сонячні панелі Jinko / SHSLTSCO. URL: <https://www.shsltsco.com/Jinko-Brand> (дата звернення: 05.05.2025).
- 23.LONGi Solar – 545 Вт. URL: https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/longi_solar-545 (дата звернення: 05.05.2025).
- 24.JA Solar JAM 72S30 545 MR. URL: https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/ja_solar_jam_72s30_545_mr (дата звернення: 05.05.2025).
- 25.Trina Solar 540W. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/trina-540w> (дата звернення: 05.05.2025).
- 26.Інвертор SUN-50K-SG01HP3-EU-BM4. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/sun-50k-sg01hp3-eu-bm4> (дата звернення: 05.05.2025).
- 27.Інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/sun-2000-50ktl-m3> (дата звернення: 05.05.2025).

					ОН-11.21.013	Арк.
						93
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

- 28.Інвертор Sungrow SG50CX. URL: https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/sungrow_sg50cx (дата звернення: 05.05.2025).
- 29.ЕТИ Україна. URL: <https://www.eti.ua/> (дата звернення: 05.05.2025).
- 30.Запобіжник СН 10х38 gPV 16А 1000V / ЕТІОПТ. URL: <https://eti-opt.com.ua/zapobizhnyk-ch-10x38-gpv-16a-1000v-30ka/> (дата звернення: 05.05.2025).
- 31.Калькулятор втрат напруги / Energoprom. URL: <https://energoprom.net.ua/ru/calc-cabel/calc-poteri/> (дата звернення: 05.05.2025).
- 32.Акумуляторна система Deye BOS-G6-61 / Insol Energy. URL: <https://insolenergy.com.ua/ru/tovary/akkymylyatoru/akkymylyatoru-lifepo4/sistema-hraneniya-energii-deye-bos-g6-61-44-kw-614-4v-100ah-lifepo4-bms-hvb750v-rack> (дата звернення: 05.05.2025).
- 33.Природні елементи систем блискавкозахисту / FS-LPS. URL: https://fs-lps.com/prirodni_elementy_lps/ (дата звернення: 05.05.2025).
- 34.Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text> (дата звернення: 05.05.2025).
- 35.ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074220455066862610 (дата звернення: 05.05.2025).
- 36.ДСТУ EN 12464-2:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 2. Робочі місця на відкритому повітрі. URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU5/dstu_EN_12464-2-2016.PDF (дата звернення: 05.05.2025).

					ОН-11.21.013	Арк.
						94
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

- 37.Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL:
<https://antifire.ua/dbn/10.pdf> (дата звернення: 05.05.2025).
- 38.НПАОП 40.1–1.32–01. Правила будови електроустановок.
Електрообладнання спеціальних установок. URL:
[https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1–1.32–01](https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1-1.32-01) (дата звернення:
05.05.2025).
- 39.ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом. URL:
[https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_61140–
2019_zakhist_vid_urazhennya_elektrichnim_strumo.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_61140-2019_zakhist_vid_urazhennya_elektrichnim_strumo.pdf) (дата звернення:
05.05.2025).
- 40.Про затвердження Типового положення про порядок проведення
навчання і перевірки знань з питань охорони праці : наказ
Мінсоцполітики України від 26.01.2005 № 15. URL:
[https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231–05#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text) (дата звернення:
05.05.2025).
- 41.Активний блискавкоприймач — що це таке / RAIDEN. URL:
[https://raidен.com.ua/blog/sho-take-aktivnij-bliskavkozahist-abo-chomu–
ne-potribno-vestis-na-kolorovi-prospekti](https://raidен.com.ua/blog/sho-take-aktivnij-bliskavkozahist-abo-chomu-ne-potribno-vestis-na-kolorovi-prospekti) (дата звернення: 05.05.2025).
- 42.ДБН В.1.1–7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні
вимоги. URL: [https://e–
construction.gov.ua/laws_detail/3080743763845318619](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3080743763845318619) (дата звернення:
05.05.2025).
- 43.Вогнегасник порошковий ВП–5 / Пожежна безпека України. URL:
[https://euroservis.com.ua/ua/ognetushitel-poroshkovyjj-op-5-vp-5–
000000317.html](https://euroservis.com.ua/ua/ognetushitel-poroshkovyjj-op-5-vp-5-000000317.html) (дата звернення: 05.05.2025).
- 44.Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря
Сікорського ; уклад. М.М. Шовкалюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського,

					ОН-11.21.013	Арк.
						95
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

2023. – 81 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53129>
(дата звернення: 05.05.2025).

45. Підготовка бакалаврських кваліфікаційних робіт. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Д.Г. Дерев'янка, О.В. Бориченко, М.М. Шовкалюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52305> (дата звернення: 05.05.2025).

					ОН-11.21.013	Арк.
						96
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження K_b для живлячих мереж
і розподільних шинопроводів напругою до 1 кВ

n_e	Коефіцієнт використання K_b							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
2	8	5,3	4	2,66	2	1,6	1,33	1,14
3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14
4	3,42	2,47	2	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08
5	2,84	2,1	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01
7	2,5	1,86	1,54	1,25	1,12	1,1	1,04	1
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1
9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1	1
11	2,1	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1	1
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1	1
13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1	1
14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1	1
15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1	1	1
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1	1	1	1
17	1,81	1,4	1,2	1	1	1	1	1
18	1,78	1,38	1,19	1	1	1	1	1
19	1,75	1,36	1,17	1	1	1	1	1
20	1,72	1,34	1,16	1	1	1	1	1
21	1,7	1,33	1,15	1	1	1	1	1
22	1,66	1,31	1,13	1	1	1	1	1
23	1,65	1,29	1,12	1	1	1	1	1
24	1,62	1,28	1,11	1	1	1	1	1
25	1,6	1,27	1,1	1	1	1	1	1
30	1,51	1,21	1,05	1	1	1	1	1
35	1,44	1,16	1	1	1	1	1	1
40	1,4	1,13	1	1	1	1	1	1
45	1,35	1,1	1	1	1	1	1	1
50	1,3	1,07	1	1	1	1	1	1
60	1,25	1,03	1	1	1	1	1	1
70	1,2	1	1	1	1	1	1	1
80	1,16	1	1	1	1	1	1	1
90	1,13	1	1	1	1	1	1	1
100	1,1	1	1	1	1	1	1	1

Примітка. При $K_b = 0,8$ незалежно від n_e коефіцієнт розрахункового навантаження $K_p = 1$.

ДОДАТОК Б

Характеристика блискавкоприймача

М-04/15..40 Блискавкоприймач з бетонною основою 1,5 - 4 м

Фото та схема



Опис

- Призначений для захисту від ударів блискавки елементів даху або обладнання чи конструкцій, які розміщені на дахах будівель (вентилятори, вентканали, сонячні колектори і т.д.).
- Встановлюється на бетонну основу та не потребує додаткових натяжних елементів.
- Витримує максимальне вітрове навантаження 0,55 кПА (I, II, III та IV вітрова зона) згідно ДБН В. 1.2-2:2006.
- Відповідає вимогам ДСТУ EN 62305-3:2012 та IEC 50164 щодо блискавкоприймачів.

Комплектація та матеріали блискавкоприймача:

- **AL** шпиль Ø16 мм довжиною h1 – 1 шт;
- **AL** шпиль Ø16 мм довжиною h2 – 1 шт;
- **ST** злучник шпиль з дротом Ø8..10 мм **C-042** – 1 шт;
- бетонна основа блискавкоприймача 30 кг – 1 шт;
- бетонна основа 16 кг (для Н: 3,5-4 м) – 1 шт

Для протидії вітровому навантаженню, блискавкоприймачі висотою 3,5 та 4 м постачаються з 2-ма бетонними основами, які встановлюються одна на одну

					ОН-11.21.013	Арк.
Зн.		№ докум.	Підпис	Дата		98