

**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 енергоефективності та надійності системи
енергозабезпечення будівлі лікарні застосуванням когенераційної установки**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ОН-11

Рябчун Анастасія Олександрівна _____

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

(назва розділу)

д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль

(назва розділу)

пров. інженер Прокопенко І.Д.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

Студентка Рябчун А. О. _____

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
Рябчун Анастасії Олександрівні

1. Тема проєкту «Підвищення енергоефективності та надійності системи енергозабезпечення будівлі лікарні застосуванням когенераційної установки», 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 “16” червня 2025 р.

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

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

1. Загальний опис об'єкту;
2. Аналіз ефективності використання електричної енергії на об'єкті;
3. Визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та заходів з її підвищення;
4. Рекомендації для розвитку енергоменеджменту;
5. Оцінка можливостей застосування вторинних та відновлювальних джерел енергії на об'єкті;
6. Охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

6. Консультанти розділів проєкту

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом Рябчун Анастасії Олександрівни

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Загальний опис об'єкту	22.05.-24.05.25	
2	Розрахунок електричної частини	24.05.-27.05.25	
3	Розрахунок теплової частини	28.05.-30.05.25	
4	Рекомендації для розвитку енергоменедменту	31.05.-02.06.25	
5	Оцінка можливостей застосування вторинних та відновлювальних джерел енергії на об'єкті	03.06.-05.06.25	
6	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	09.06.-11.06.25	
7	Підготовка графічного матеріалу	11.06.-13.06.25	
8	Захист дисертації	24.06.25	

Студентка

А. О. Рябчун

Керівник проєкту

А. В. Чернявський

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту складається з 6 розділів, загальний обсяг становить 91 сторінку основного тексту. У роботі представлено 22 ілюстрації, 20 таблиць та 33 бібліографічних найменування згідно з переліком посилань.

Метою дослідження є аналіз рівня енергоефективності КНП «Дитяча клінічна лікарня Святої Зінаїди» в місті Суми та розроблення технічно й економічно доцільних заходів для його підвищення. Для досягнення цієї мети було проведено енергетичний аудит будівлі, оцінено її теплові та електричні навантаження, а також запропоновано комплекс рішень з енергоефективності.

Серед основних завдань проєкту: розрахунок енергетичних потреб об'єкта, вибір оптимального типу когенераційної установки, розробка енергоефективних заходів для систем освітлення, гарячого водопостачання та теплозабезпечення, а також оцінка їхньої економічної доцільності. Робота включає порівняльний аналіз до і після впровадження запропонованих рішень, а також техніко-економічне обґрунтування їх ефективності.

Ключові слова: енергетичний аудит, енергоефективність, теплоспоживання, електроспоживання, когенерація, економія, потужність, окупність.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory note to the bachelor's thesis consists of 6 sections and contains 91 pages of main text. The work includes 22 illustrations, 20 tables, and 33 bibliographic references listed in the reference section.

The aim of the study is to analyze the level of energy efficiency at the Municipal Non-Profit Enterprise "Children's Clinical Hospital of Saint Zinaida" in the city of Sumy and to develop technically and economically feasible measures for its improvement. To achieve this goal, an energy audit of the building was conducted, its thermal and electrical loads were assessed, and a comprehensive set of energy efficiency measures was proposed.

The main objectives of the project include calculating the energy demands of the facility, selecting the optimal type of cogeneration unit, developing energy-saving measures for lighting, hot water supply, and heat supply systems, and evaluating their economic feasibility. The work includes a comparative analysis before and after the implementation of the proposed solutions, as well as a techno-economic justification of their effectiveness.

Keywords: energy audit, energy efficiency, heat consumption, electricity consumption, cogeneration, savings, capacity, payback.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ

Скорочення

ДВ – двері;
ЕМ – енергетичний менеджмент;
Зх. – захід;
і.п. – індукційна плита;
ОК – огорожувальні конструкції;
Пд. – південь;
Пн. – північ;
СК – світлопрозорі конструкції;
Сх. – схід;
ТП – трансформаторна підстанція;
ЩО – щит освітлення;
LED – світлодіодні лампи.

Умовні позначки

$t_{\text{вн}}$ – внутрішня температура;
 δ – товщина;
 $t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення;
 λ – коефіцієнт теплопровідності;
 R – опір теплопередачі;
 K – коефіцієнт теплопередачі;
 F, S – площа.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ.....	10
1.1 Короткий опис об'єкту	10
1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі	12
1.3 Аналіз динаміки енергоспоживання за останні три роки.....	15
1.4 Розрахунок базового споживання енергоресурсів.....	17
1.5 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР	20
1.6 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкта у сфері енергоефективності	21
Висновки по розділу 1	22
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	23
2.1 Схема електропостачання об'єкту та її аналіз.....	23
2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії.....	24
2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі	25
2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного освітлення.....	28
2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту в аналітичній формі	31
2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об'єкті.....	35
2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії.....	36
Висновки до розділу 2	43
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....	43
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності будівель та сучасного стану справ в сфері ЖКГ	43
3.2 Визначення теплового навантаження будівлі	45
3.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов	52

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій.....	54
3.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії.....	60
Висновки до розділу 3	64
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	66
4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту на подібних об'єктах в Україні, в тому числі нормативно-правові вимоги.....	66
4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів	67
4.3 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів	67
Висновки по розділу 4	68
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ.....	69
5.1 Комплексний аналіз потенціалу використання вторинних і відновлюваних джерел енергії в умовах медичного закладу	69
5.2 Критерії вибору когенераційних установок для лікарень	71
Енергетичні потреби закладу	71
5.3 Аналіз типів когенераційних установок і обґрунтування вибору	73
5.4 Обґрунтування вибору параметрів когенераційної установки	75
5.5 Вибір конкретної когенераційної установки та фінансова оцінка реалізації проєкту	76
Висновки по розділу 5	78
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	78
6.1 Загальна характеристика об'єкта	79
6.2 Визначення обсягів і послідовності робіт	80
6.3 Визначення показників умов праці	81
6.4 Оцінювання ризиків на робочому місці.....	82
6.5 Вибір технічних, організаційних, ЗІЗ засобів безпеки.....	84
6.6 Вибір системи захисту від пожеж і вибухів на енергетичного об'єкту	85
6.7 Розрахунок базового ризику	86
Висновки по розділу 6	86
ВИСНОВКИ	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	89

ВСТУП

Енергетичний аудит — це комплексне обстеження об'єктів з метою аналізу їх поточного енергоспоживання, виявлення резервів енергозбереження та розробки практичних рекомендацій для підвищення енергоефективності. Проведення енергоаудиту дає змогу оптимізувати використання паливно-енергетичних ресурсів, знизити витрати на енергоносії, а також впровадити на об'єкті елементи системи енергетичного менеджменту.

Енергоаудит є важливим інструментом не лише для промислових підприємств, а й для закладів соціальної інфраструктури, зокрема медичних установ, де стабільне енергозабезпечення є критично важливим для підтримки життєво важливих процесів. Завдяки енергоаудиту можна комплексно оцінити ефективність споживання електроенергії та тепла, визначити технічний стан інженерних систем, а також розробити заходи для підвищення енергоефективності.

Метою енергетичного аудиту є пошук конкретних технічних, організаційних та економічних рішень, що дозволяють зменшити енергетичні витрати об'єкта. У ході аудиту визначається потенціал енергозбереження, складаються карти енергоспоживання, а також виконується економічна оцінка доцільності впровадження енергозберігаючих заходів.

Об'єктом дослідження у цьому дипломному проєкті є Дитяча клінічна лікарня св. Зінаїди, розташована в місті Суми. Це багатoproфільний медичний заклад, який надає стаціонарну та амбулаторну допомогу дітям, а також є об'єктом критичної інфраструктури. З огляду на рік будівництва (1984 рік) та морально застарілі системи енергозабезпечення, проблема неефективного використання енергоресурсів у лікарні стоїть особливо гостро. Незважаючи на часткові модернізаційні заходи, комплексного енергоаудиту на об'єкті досі не проводилось, що обумовлює актуальність проведення даного дослідження.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Короткий опис об'єкту

Об'єктом енергетичного аудиту є Дитяча клінічна лікарня святої Зінаїди, розташована за адресою: вул. Троїцька, 28, м. Суми. За адміністративною належністю — це медичний заклад, що виконує функції надання амбулаторної та стаціонарної медичної допомоги дітям. Лікарня є об'єктом критичної інфраструктури, що зумовлює підвищені вимоги до безперебійного енергозабезпечення та енергоефективності. Вигляд лікарні зверху та її зовнішні стіни зображено на рис. 1.1 та рис. 1.2 відповідно.

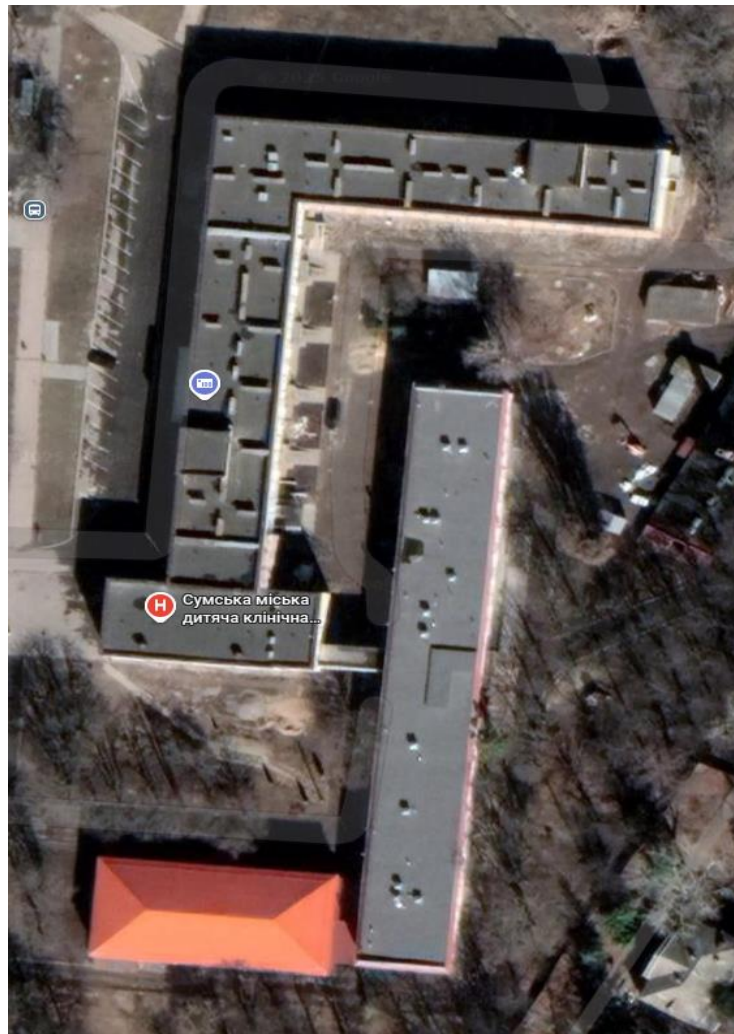


Рисунок 1.1 – Дитяча клінічна лікарня св. Зінаїди (вигляд з супутнику)

					ДП 1122.00.016				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальний опис об'єкту	Лім.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Рябчун А.В.							
Перевір.		Чернявський А.В.					10	66	
Реценз.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП			
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.							
Затверд.									



Рисунок 1.2 – Зовнішні стіни Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди (новий корпус)

Будівля була споруджена у 1984 р. і з огляду на те, що стандарти енергоефективності на той час були досить низькими, будівля споживає велику кількість теплової енергії. Будівля має три поверхи та характеризується масивною конструкцією. Загальна опалювальна площа будівлі складає 5 767 м², та враховуючи загальну кількість поверхів дає загальний опалювальний об'єм 18 455 м³. Подальша детальна інформація подається в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Загальна інформація про об'єкт [1]

Будівля	Дитяча клінічна лікарня св. Зінаїди		
Дата проведення аудиту	15.03.2025		
Рік будівництва	1984		
Тип будівлі	Масивна		
Кількість поверхів	3		
ЕЕ заходи (за останні 5 років)	Практично усі вікна та двері замінено на металопластикові		
Опалювальна площа, м ²	5 767	Опалювальний об'єм, м ³	18 455
К-сть відвідувань (фактична)	145	Опалювальний сезон	204 дні

1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі

Система опалення

Будівля отримує теплову енергію з системи централізованого теплопостачання від комунального підприємства ТОВ "Сумитеплоенерго".

Загальне розрахункове теплове навантаження Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди складає 729 кВт. Стан радіаторів та системи теплопостачання:

- Система однотрубна, із верхньою подачею,
- Труби опалення проходять по будівлі та більшість з них металеві,
- Труби, які проходять по неопалювальним приміщеннях та тепловому пункту, частково ізолювані.
- Протікання та пошкодження труб не виявлено,
- Більшість із встановлених радіаторів – чавунні, та не мають регулюючої апаратури,
- Радіатори без протікань і пошкоджень.

Характеристика теплового обладнання:

- Теплове обладнання в тепловому пункті застаріле,
- Регулюючі клапани в тепловому пункті відсутні,
- Пом'якшувач води відсутній в тепловому пункті,
- Автоматичне регулювання температурного режиму відсутнє.

Зведена інформація про опалювальну систему будівлі представлена в таблиці 1.2.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Інформація про стан системи опалення Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди (новий корпус)

Характеристики системи опалення			
Джерело енергії	Централізоване теплопостачання	Тип труб	Металеві
Теплонавантаження будівлі	729 кВт	Стан клапанів	Незадовільний
Тип системи опалення	однотрубна	Встановлено пом'якшення води	Ні
Автоматичне регулювання параметрів теплоносія	Ні	Встановлено розширювальний бак	Так
Труби		Радіатори	
Матеріал	Сталь	Тип	чавун
Ізоляція	Частково	Термостатичні клапани	Ні
Стан ізоляції	Незадовільний	Пошкодження	Ні
Пошкодження	Ні	Протікання	Ні
Протікання	Ні		

Система холодного та гарячого водопостачання

В Дитячій клінічній лікарні св. Зінаїди система холодного водопостачання оснащена вузлом обліку холодної води. В обстежуваній будівлі наявне централізоване гаряче водопостачання. ГВП відбувається від трубчастого теплообмінника розташованого у бойлерній, що знаходиться на території лікарні. Розбір холодної води для будівлі відбувається з вузла розташованого у техпідпіллі будівлі.

					ДП 1122.00.016	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Холодну воду до будівлі постачає КП «Міськводоканал» Сумської міської ради. Гаряча вода використовується для побутових потреб – в умивальниках для миття рук та душових біля палат стаціонарного відділення.

Труби системи холодного та гарячого водопостачання знаходяться у задовільному стані. Протікань та пошкоджень при проведенні енергоаудиту не виявлено. Також сантехнічне обладнання, крани знаходиться в незадовільному стані.

Система вентиляції

Система природньої витяжної вентиляції використовується в приміщеннях кабінетів, палат та санвузлах. Загальний стан є незадовільним, багато вентиляційних решіток потребують чистки. Повітрообмін для відповідних умов роботи персоналу забезпечується шляхом відкривання вікон, що призводить до значних тепловтрат у холодний період року. Система вентиляції в приміщеннях – природна. Механічна вентиляція в будівлі знаходиться у неробочому стані. Наявна система вентиляції потребує огляду спеціалістами та винесення заключення щодо її стану. Наявна місцева витяжна вентиляція у лабораторіях та рентген кабінетах.

Система освітлення

Система освітлення будівлі складається з люмінесцентних та енергозберігаючих LED освітлювальних приладів. Люмінесцентне освітлення складає 150 ламп загальною потужністю 2,7 кВт. Світлодіодне освітлення – 900 ламп загальною потужністю 16,2 кВт. Люмінесцентні лампи та світильники знаходяться у задовільному стані, але потребують заміни. Серед заходів з енергоефективної роботи системи освітлення буде запропоновано заміну існуючих люмінесцентних ламп. Такий захід не тільки знизить споживання електричної енергії, а також забезпечить покращення умов перебування пацієнтів та лікарів через відсутність миготіння пускорегулюючої апаратури люмінесцентного освітлення.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Аналіз динаміки енергоспоживання за останні три роки

В дитячій лікарні присутня залежна система підключення до централізованого теплопостачання, магістралі теплової мережі підключені через бойлерну до опалювальної системи будівлі без теплообмінника через елеваторний вузол змішування, для відокремлення первинного та вторинного контурів. Теплова енергія використовується для опалення приміщень та гарячого водопостачання. Тепловий лічильник встановлений в тепловому пункті, на тепловому вході до об'єкту. Воду до будівлі постачає «Міськводоканал» Сумської міської ради. Лікарня облаштована лічильником холодної води.

Електрична енергія використовується для живлення систем освітлення та обладнання лікувального комплексу.

Інформація щодо споживання енергетичних ресурсів, їх фактичні витрати та тарифи була отримана від керівництва лікарні та надана за останні три роки (2021-2023). Дані для дитячої лікарні були проаналізовані та підсумовані для кожного з джерел енергії. Зведена інформація про споживання теплової та електричної енергії представлена в таблиці та графіках нижче. Облік електроенергії відбувався за 3 роки, але, згідно інформації керівництва лікарні, у 2023 році вийшов з ладу окремий лічильник на новий корпус. Тому середнє споживання електроенергії приймалося за двома роками – 2021 та 2022. Оскільки зафіксована температура на об'єкті складає 20°C замість нормованих 21°C, споживання теплової енергії було нормалізовано для подальшого аналізу. Для нормалізації були використані погодні дані для м. Суми. Нормалізоване споживання енергії на щорічній основі представлено в таблиці 1.3.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Річне споживання теплової та електричної енергії [2]

Рік	Опалення приміщення	Приготування гарячої води,	Електроенергія	Загальне енергоспоживання
	, кВт·год	кВт·год	, кВт·год	, кВт·год
2021	915 497	101 889	124 707	1 142 093
2022	888 195	123 976	65 872	1 078 043
2023	854 823	95 618	95 290	1 045 731
Фактичне	886 171	107 161	95 290	1 088 622
Нормалізоване	980 034	107 161	95 290	1 182 485

Наведено графіки споживання енергоресурсів Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди за останні 3 роки (рис. 1.3 – 1.6). У графіках позначено синім кольором 2021 рік, зеленим – 2022р., червоним – 2023р.

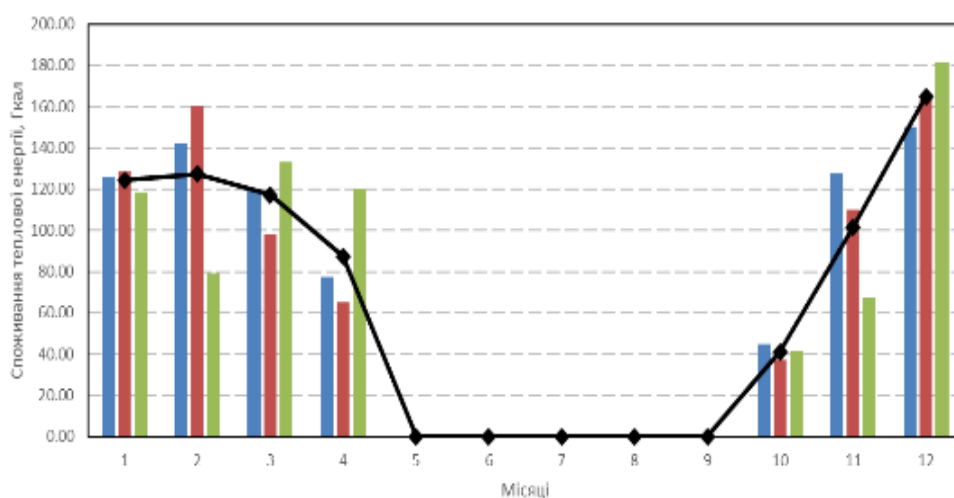


Рисунок 1.3 – Фактичне споживання теплової енергії (за 3 роки та середнє)

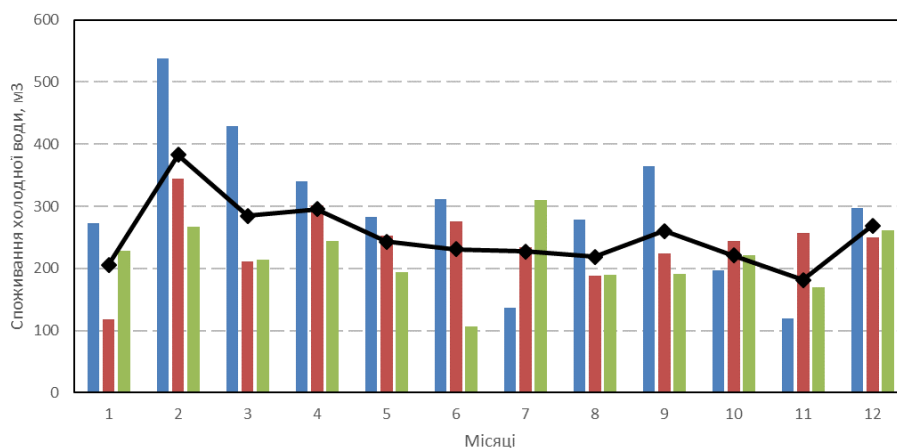


Рисунок 1.4 - Фактичне споживання холодної води (за 3 роки та середнє)

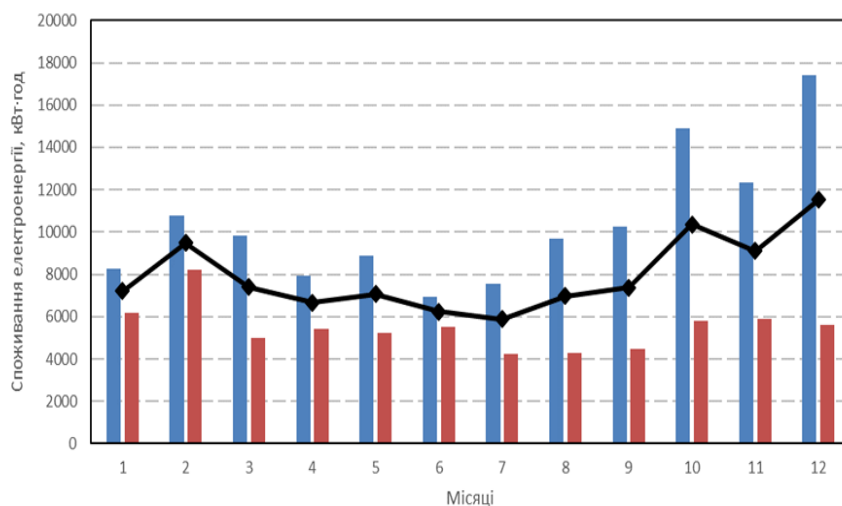


Рисунок 1.5 - Фактичне споживання електричної енергії (за 2 роки та середнє)

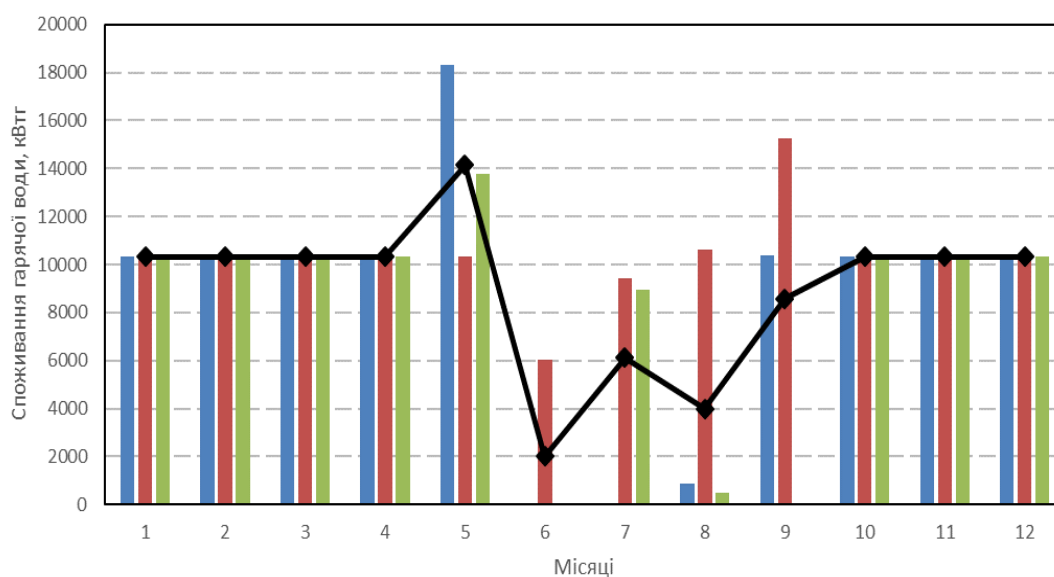


Рисунок 1.6 – Фактичне споживання гарячої води (за 3 роки та середнє)

1.4 Розрахунок базового споживання енергоресурсів

Розрахунок базового споживання енергоресурсів базується на розробці енергетичної моделі будівлі з урахуванням різноманітних фізичних характеристик досліджуваного об'єкту:

- Характеристики наступних огорожувальних конструкцій будівлі (коефіцієнт теплопровідності, площа, орієнтація по сторонах світу):

1. Зовнішні стіни;
2. Вікна та двері;
3. Дах та його перекриття;
4. Підлоги та перекриття над підвалом.

– Оцінені додаткові характеристики будівельних систем:

1. Система опалення;
2. Вентиляційна система;
3. Система освітлення.

На першому етапі розробляється енергетична модель будівлі відповідно до середньозваженого нормалізованого споживання. На наступному етапі, визначаючи базовий сценарій споживання теплової та електричної енергії, враховуються українські нормативи з точки зору стандартної температури приміщень та повітрообміну. Енергетична модель будівлі розроблена відповідно до стандарту EN ISO 13790, з метою проведення розрахунку теплового споживання будівлі. Розрахунок виконується в програмному комплексі ENSI EAB, що призначений для обчислення енергетичних показників будівель.

В нашому випадку виміряне споживання є нижчим, ніж споживання енергії при базовому сценарії. Причиною цього є:

- нижча внутрішня температура в приміщеннях, аніж цього вимагають нормативні документи;
- ручне керування системою опалення;
- обмежений обсяг коштів на опалення та електричну енергію.

У наведеній таблиці 1.4 показано основні відмінності між розрахунком базового та реального споживання.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Різниця в параметрах роботи інженерних мереж між базовою і реальною ситуацією

Параметри	Базове споживання	Реальне споживання
Внутрішня температура	21°C	20°C
Повітрообмін в приміщеннях	0,35 год ⁻¹	0,35 год ⁻¹
Температура скидання	21°C	19°C

Таблиця 1.5 показує різницю нормалізованого та базового споживання енергії.

Таблиця 1.5 – Порівняння нормалізованого та базового споживання енергії

Рік/тип	Опалення, кВт·год /рік	ГВП, кВт·год /рік	Електрична енергія, кВт·год /рік	Загальне енергоспожива ння, кВт·год /рік
Нормалі зоване	980 034	107 161	95 290	1 182 485
Базове	1 304 267	109 099	99 121	1 512 487

Таблиця 1.6 відображає загальну інформацію про обслуговування будівлі та обслуговуючий персонал.

Таблиця 1.6 – Інформація про технічне обслуговування та управління об'єктом

Умови використання		Технічне обслуговування		
Фактична температура в приміщенні	20 °C	Тип обслуговування	Реагуюче	
Температура в приміщенні відповідно до стандарту	21 °C	Інтервали технічного обслуговування		
Тривалість опалювального сезону		Загальна будівля	щорічно	
204 дні		Система опалення	раз в півроку	
		Інші системи	щоквартально	
Управління об'єктами				
Кількість персоналу	Ремонт / перевірка графіків	Контрольні списки для технічного обслуговування	Запис даних	Аналіз даних
3	Ні	Ні	Так	Ні

1.5 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Подальший аналіз кожного пакету можливий лише за умови прив'язки економії енергоресурсів до тарифів на енергоносії, щоб отримати загальну суму витрат на енергоносії, а також суму заощаджених коштів для кожного пакету. У наступному розділі представлені дані, що використовуються для розрахунку фінансових показників, які можуть служити для визначення економічно обґрунтованих проектів на основі вимог щодо відповідності проекту.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тарифи, що використовуються для обчислення економії коштів, відповідають тарифам, які були надані об'єктом в якості вихідної інформації.

Вихідні дані для розрахунків наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Тарифи на електричну та теплову енергію для Сумської області [3]

Тарифи	грн/одинаця
Електроенергія, кВт	4,32
Опалення, Гкал	3675,60
ГВП, Гкал	3100 – 3600
Холодне водопостачання, м ³	48
Водовідведення, м ³	48

1.6 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкта у сфері енергоефективності

За останні роки в Дитячій клінічній лікарні святої Зінаїди в місті Суми було зроблено чимало кроків для підвищення енергоефективності будівлі та створення комфортних умов для пацієнтів і персоналу.

Зокрема, одним із найбільш помітних заходів стало утеплення фасаду та даху лікарні. Це дозволило значно зменшити тепловтрати у зимовий період і покращити загальну енергоефективність об'єкта. Також було повністю замінено старі вікна і двері на сучасні металопластикові конструкції з високим рівнем теплоізоляції. Завдяки цьому вдається краще зберігати тепло в холодну пору року й уникати протягів, що позитивно впливає на мікроклімат у приміщеннях.

Модернізація системи опалення: замість застарілих елементів встановлено сучасні котли, а також автоматичні регулятори температури, що дозволяють ефективніше керувати витратами тепла в різних зонах лікарні.

					ДП 1122.00.016	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Щодо освітлення, то значну частину ламп було замінено на енергоощадні LED-світильники, які не лише споживають менше електроенергії, а й забезпечують якісніше світло без миготіння. Окремо варто згадати про впровадження системи енергомоніторингу, яка дозволяє в реальному часі контролювати споживання ресурсів і своєчасно реагувати на будь-які відхилення або перевитрати.

Видимим результатом стала економія на оплаті енергоносіїв і покращення умов перебування для пацієнтів і працівників.

Висновки по розділу 1

У результаті аналізу встановлено, що Дитяча клінічна лікарня святої Зінаїди є енергетично значущим об'єктом із великою опалювальною площею та високим рівнем енергоспоживання, особливо в зимовий період. Попри часткову модернізацію (заміна вікон, LED-освітлення), більшість інженерних систем перебуває в незадовільному стані, а високі тарифи створюють значне навантаження на бюджет закладу.

Аналіз споживання енергії свідчить про стабільно високий рівень потреб із сезонними коливаннями. Вже впроваджені заходи показують позитивні результати, що підтверджує доцільність подальших інвестицій в енергомодернізацію. Встановлення когенераційної установки дозволить покрити базове навантаження на опалення та електропостачання, знизити залежність від централізованих мереж, забезпечити стабільну роботу обладнання та скоротити витрати на енергоносії. В умовах зростання тарифів це є не лише економічно обґрунтованим, а й стратегічно необхідним кроком.

					ДП 1122.00.016	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання об'єкту та її аналіз

Постачання електроенергії до Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди, що розташована у місті Суми, здійснюється через кабельну лінію середньої напруги, яка підключена до міської трансформаторної підстанції. Лікарня підключена до системи централізованого енергопостачання міста Суми, з приєднанням до розподільчого щита через ввідний пристрій в енергощитовій.

Внутрішній розподіл електричної енергії виконується через мережу щитових груп, розташованих по кожному поверху, які забезпечують живлення освітлення, розеткових груп, медичного обладнання, вентиляційних систем, комп'ютерної техніки та іншої апаратури. Усі кабельні лінії прокладені відповідно до вимог безпеки в медичних закладах, з урахуванням зон підвищеної електробезпеки.

Для підвищення надійності та гарантування безперервної роботи критичного обладнання, у лікарні встановлений дизельний електрогенератор. Його запуск здійснюється автоматично у випадку зникнення напруги в основній мережі. Це дозволяє забезпечити безперервне живлення відділень інтенсивної терапії, операційних блоків, лабораторій та інших важливих приміщень у разі аварійних або планових відключень електроенергії.

На рисунку 2.1 зображено типову спрощену схему електропостачання медичного закладу.

					ДП 1122.00.016							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Рябчун А.О.			АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ			Лім.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Чернявський А.В.								23	66	
Реценз.												
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП				
Затверд.												

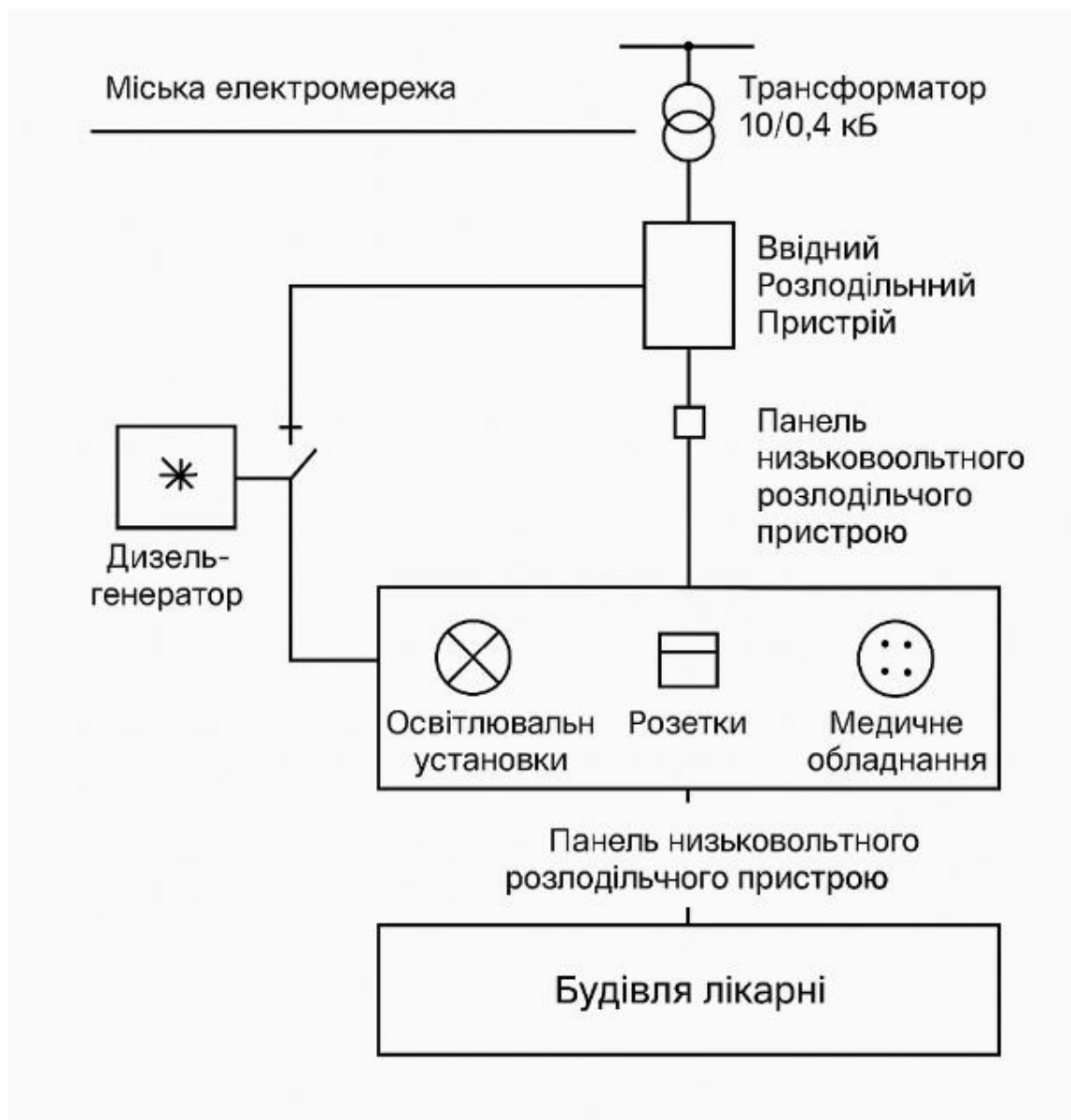


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання лікарні

2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії

Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії є важливими аспектами в контексті енергоефективності та сталого розвитку.

Розрахунок основних споживачів електричної енергії проведено за 2024 рік та на прикладі одного характерного місяця. Було виокремлено три основні категорії споживачів електричної енергії:

1. Силові обладнання: До цієї категорії належить електричне обладнання з високою споживчою потужністю, яке використовується в лікарні, зокрема стерилізаційна установка та кондиціонери. Такі пристрої споживають значну кількість електроенергії, особливо при інтенсивному навантаженні.

2. Система освітлення: В даній категорії знаходиться освітлювальне обладнання, зокрема люмінесцентні лампи та ДРЛ-400.

3. Інше обладнання: До цієї групи входять електричні пристрої, які регулярно використовуються у медичному закладі, зокрема принтери, комп'ютери, бойлери, холодильники, телевізори, серверне та медичне обладнання (наприклад, рентген-апарати). Це обладнання має різну потужність, однак загалом відіграє важливу роль у щоденному функціонуванні лікарні.

2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі

Для отримання детальних даних про навантаження будівлі за 2024 рік проведемо повірочний розрахунок [4].

Розрахуємо сумарну номінальну потужність за формулою:

$$P_{н,j} = p_{ні} n_i; \quad (2.1)$$

де $p_{ні}$ – номінальна потужність, кВт;

n_i – кількість однотипних споживачів, шт;

$$P_{н,j} = 516 \cdot 0,018 = 9,288 \text{ кВт.}$$

Визначимо коефіцієнт реактивного навантаження за формулою [4]:

$$tg \varphi_i = \sqrt{\frac{1}{k_B^2} - 1}; \quad (2.2)$$

де k_B – коефіцієнт використання встановленої потужності;

$$tg \varphi_i = \sqrt{\frac{1}{0,55^2} - 1} = 1,52.$$

Визначимо проміжну активну та реактивну потужність :

$$P_{п,j} = k_B P_{н,j}; \quad (2.3)$$

$$Q_{п,j} = P_{п,j} tg \varphi_i; \quad (2.4)$$

$$P_{п,j} = 0,55 \cdot 9,288 = 5,11 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\Pi,j} = 5,11 \cdot 1,52 = 7,76 \text{ квар.}$$

Розрахуємо сумарну проміжну потужність для системи освітлення:

$$P_{Co} = \sum_{j=1}^n P_{\Pi,j}; \quad (2.5)$$

$$Q_{Co} = \sum_{j=1}^n Q_{\Pi,j}; \quad (2.6)$$

$$P_{Co} = 5,11 + 1,44 = 6,55 \text{ кВт};$$

$$Q_{Co} = 7,76 + 4,58 = 12,34 \text{ квар.}$$

Проміжні результати розрахунків для решти електроприймачів наведені у таблиці 2.1.

Розрахуємо значення групового коефіцієнта використання [4]:

$$K_B = \frac{\sum_{j=1}^n P_{\Pi,j}}{\sum_{j=1}^n P_{н,j}}; \quad (2.7)$$

$$K_B = \frac{6,55}{14,088} = 0,465.$$

Розрахуємо ефективну кількість електроприймачів [4]:

- Якщо $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} \leq 3$, то вважають, що $n_e = n$;
- Якщо $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} > 3$ та $n_{p.e} \geq n$, то вважають, що $n_e = n$;
- Якщо $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} > 3$ та $n_{p.e} < n$, то вважають, що n_e приймають отримане значення

$n_{p.e}$ округлене до найменшого цілого;

Оскільки для системи освітлення відношення $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} = 22$, розрахуємо ефективну кількість [4]:

$$n_{p.e} = \frac{2 \sum P_{н\Sigma}}{p_{\max}}; \quad (2.8)$$

$$n_{p.e} = \frac{2 \cdot 14,088}{0,4} = 70,44 = 70;$$

Оскільки $n_{p.e} < n$, то округлимо значення $n_{p.e}$ до 70.

Знайдемо значення розрахункового коефіцієнта розрахункового навантаження згідно з [4]:

$$K_p = 1.$$

Розрахуємо розрахункову активну потужність:

$$P_p = K_p P_{Co}; \quad (2.9)$$

$$P_p = 1 \cdot 6,55 = 6,55 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо розрахункову реактивну потужність:

- При $n_e \leq 10$, $Q_p = 1,1 Q_{пр}$;

– При $n_e > 10$, $Q_p = Q_{пр}$;

$$Q_p = 12,34 \text{ квар.}$$

Розрахуємо повну потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.10)$$

$$S_p = \sqrt{6,55^2 + 12,34^2} = 13,97 \text{ кВА.}$$

Розрахуємо загальне навантаження відносно шин низької напруги ТП:

$$\Sigma P_{\Pi} = \Sigma P_{Co} + \Sigma P_{C.обл} + \Sigma P_{I.обл}; \quad (2.11)$$

$$\Sigma Q_{\Pi} = \Sigma Q_{Co} + \Sigma Q_{C.обл} + \Sigma Q_{I.обл}; \quad (2.12)$$

$$\Sigma P_{\Pi} = 6,5 + 6,7 + 32 = 45,2 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_{\Pi} = 12,34 + 27 + 45,1 = 84,44 \text{ квар};$$

$$P_{H.H} = 45,2 \cdot 1,03 = 46,56 \text{ кВт};$$

$$Q_{H.H} = 84,44;$$

$$S_{H.H} = \sqrt{46,56^2 + 84,44^2} = 96,43 \text{ кВА.}$$

Розрахуємо втрати в трансформаторі:

$$\Delta P_{тр} = 0,02 S_p; \quad (2.13)$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 S_p; \quad (2.14)$$

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot 96,43 = 1,93 \text{ кВт};$$

$$Q_{тр} = 0,1 \cdot 96,43 = 9,64 \text{ квар.}$$

Розрахуємо сумарне навантаження на високій напрузі ТП:

$$P_{BH} = P_{H.H} + \Delta P_{тр}; \quad (2.15)$$

$$Q_{BH} = Q_{H.H} + \Delta Q_{тр}; \quad (2.16)$$

$$P_{BH} = 46,56 + 1,93 = 48,49 \text{ кВт};$$

$$Q_{BH} = 84,44 + 9,64 = 94,08 \text{ квар};$$

$$S_{BH} = \sqrt{48,49^2 + 94,08^2} = 96,43 \text{ кВА.}$$

Розрахунок для інших груп електроспоживачів розраховується аналогічно, з використанням усіх вищезазначених випадків. Отримані дані наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Навантаження будівлі за 2024 рік

Найменування ЕП	n , од	P_{ni}	$P_{n\Sigma}$	P_{max} / P_{min}	k_b K_b	$tg\varphi$	P_n , кВт	Q_n , квар	$np.e$	ne	Kp	Pp , кВт	Qp , квар	Sp , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Внутрішнє освітлення (ЛБ)	516	0,018	9,29		0,95	1,52	5,11	7,76						
Вуличне освітлення (ДРЛ 400)	12	0,4	4,8		0,85	3,18	1,44	4,58						
Система освітлення	528		14,1	22	0,465		6,5	12,34	70,44	70	1,0	6,55	12,34	13,97
Кондиціонери	10	12	120		0,24	4,04	2,9	11,65						
Стерилізаційна установка	1	15,8	15,8		0,24	4,04	3,8	15,34						
Силове обладнання	11		135,8	1,3	0,24		6,7	27,0	3,52	2	3,46	23,09	29,69	37,61
Принтери	12	1,2	14,4		0,75	0,88	4,5	3,97						
Комп'ютери	14	0,40	5,6		0,6	1,33	4,3	5,76						
Медичне обладнання (рентген)	18	5,00	90		0,8	0,75	0,3	0,22						
Бойлери	6	1,40	8,4		0,25	3,87	1,1	4,07						
Сервери/ІТ-інфраструктура	12	3,00	36		0,7	1,02	16,8	17,14						
Телевізор	3	0,06	0,18		0,6	1,33	0,1	0,14						
Холодильники медичні	6	2,00	12		0,15	6,59	0,6	3,95						
Інше обладнання	74		170,78	0,01	0,564		32,0	45,1	57	74	1,0	32,0	45,15	55,33
Шини НН ТП	604		99	878	0,458		45,2	84,4	12,48	12	1,03	46,56	84,44	96,43
Втрати в ТП												1,93	9,64	
ТП 10 кВ												48,49	94,08	96,43

2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного освітлення

Перевірку внутрішнього освітлення виконаємо для типового приміщення лікарні, використовуючи точковий метод. Схему розміщення світильників над робочою зоною буде наведено на рисунку 2.2.

В приміщенні встановленні люмінесцентні лампи з характеристиками:

- Потужність 18 Вт;
- Світловий потік 1200 лм;
- Термін служби 10000 год.

Мінімальний рівень освітлення $E_{min} = 300$ Лк [7].

Визначимо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$h = H - h_p - h_c; \quad (2.17)$$

де H – висота приміщення, 2,9 м;

h_p – висота робочої поверхні, 0,8 м;

h_c – відстань від світильника до стелі, 0,1 м.

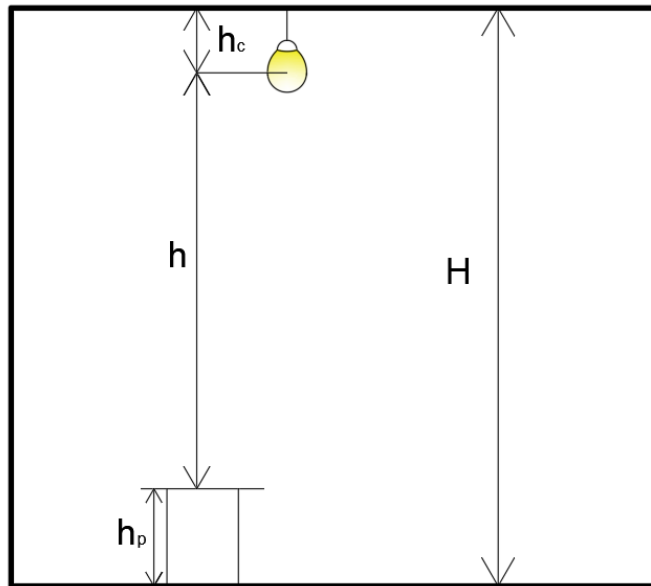


Рисунок 2.2 – Схема розміщення світильників над робочою поверхнею
Розрахуємо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$h = 2,9 - 0,8 - 0,1 = 2 \text{ м.}$$

Схема розміщення світильників та габаритні розміри палати наведені на рисунку 2.3.

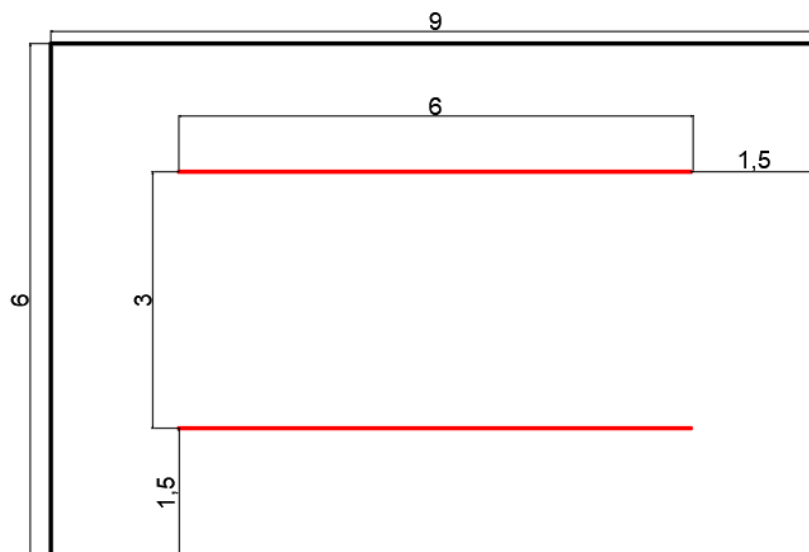


Рисунок 2.3 – Схема розміщення світильників в приміщенні
Визначимо питомий світловий потік, лм/м:

$$F^{\wedge} = \frac{1000 E_{min} K_3 h}{\mu \sum_{i=1}^n \varepsilon_i}; \quad (2.18)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, приймається рівним 1,1...1,5;

ε – відносна освітленість;

μ – коефіцієнт додаткової освітленості, приймається рівним 1,1...1,2;

Попередньо розрахуємо значення відносних розмірів:

$$L_1 = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

$$L_2 = \frac{6 - 1,5}{2} = 2,25,$$

$$L_3 = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

$$L_4 = \frac{6 - 1,5}{2} = 2,25,$$

$$p_1 = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

$$p_2 = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

$$p_3 = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

$$p_4 = \frac{1,5}{2} = 0,75;$$

Отримані значення відобразимо на рисунку 2.4.

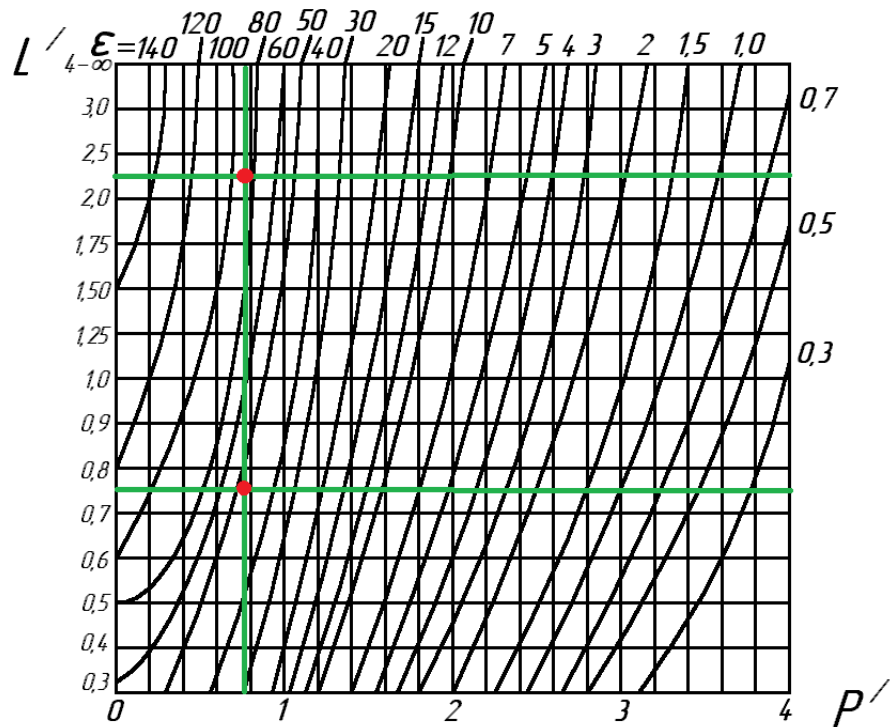


Рисунок 2.4 – Крива відносних ізолюкс

Отримавши з рисунку значення ε для чотирьох значень: $\varepsilon_1 = 50$, $\varepsilon_2 = 90$, $\varepsilon_3 = 50$, $\varepsilon_4 = 90$.

За формулою визначимо питомий світловий потік:

$$F_v = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,2 \cdot 2}{1,1 \cdot (50 + 90 + 50 + 90)} = 2337,66 \text{ лм.}$$

Підрахуємо необхідний світловий потік у лініях світильників за формулою, лм:

$$\Phi = F \cdot L; \quad (2.19)$$

де L — довжина лінії світильників, м.

$$\Phi = 2337,66 \cdot 6 = 14025,96 \text{ лм.}$$

В одній світовій лінії встановлено 6 світильників, у кожному з яких по 2 лампи, отже необхідний світловий потік від однієї лампи повинен становити:

$$\Phi = \frac{14025,96}{6 \cdot 2} = 1168,83 \text{ лм.}$$

Світловий потік однієї лампи повинен знаходитися в діапазоні від 0,9 до 1,2 від нормативного значення, отже маємо:

$$1052 < 1200 < 1402,6.$$

Необхідні умови виконуються, отже встановлені світильники повністю відповідають вимогам щодо освітленості приміщення.

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

Після розрахунку навантажень будівлі в підрозділі 2.3, виконаємо розрахунок споживання електричної енергії за типовий місяць — вересень 2024 року. Отримані результати зведено у таблиці 2.2 та таблиці 2.3 відповідно.

Споживання електричної енергії відповідної одиниці обладнання розраховується за формулою [6]:

$$W_i = P_{\text{вст}} n k_{\text{в}} T_{\text{роб}}, \quad (2.20)$$

де: $P_{\text{вст}}$ — встановлена потужність одиниці відповідного обладнання, кВт;

n — кількість одиниць обладнання, шт;

$T_{\text{роб}}$ — тривалість роботи відповідного обладнання за місяць.

Таблиця 2.2 – Розрахункове значення витрат електроенергії за вересень 2024 р.

№	Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість, шт	Загальна встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Середня потужність, кВт	Тривалість роботи за місяць, год	Загальне споживання, кВт·год
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Система освітлення								
1	Внутрішнє освітлення (ЛБ)	0,018	516	9,29	0,95	5,11	180	915,51
2	Вуличне освітлення (ДРЛ 400)	0,4	12	4,8	0,85	1,44	140	201,6
Разом								1121,11
Силове обладнання								
3	Кондиціонери	12	10	120	0,24	2,88	70	201,6
4	Стерилізаційна установка	15,8	1	15,8	0,24	3,79	70	265,44
Разом								467,04
Інше обладнання								
5	Принтери	1,2	12	14,4	0,75	4,5	15	67,5
6	Комп'ютери	0,4	14	5,6	0,6	4,32	80	345,6
7	Медичне обладнання (рентген)	5	18	90	0,8	0,29	80	23,04
8	Бойлери	1,4	6	8,4	0,25	1,05	720	756
9	Сервери/ІТ-інфраструктура	3	12	36	0,7	16,8	8	134,4
10	Телевізор	0,06	3	0,18	0,6	0,11	75	8,1
11	Холодильники медичні	2	6	12	0,4	4,32	30	129,6
Разом								1836,24
Загальне споживання								3424,39

Таблиця 2.3 – Розрахункове значення витрат електроенергії за 2024 р.

№	Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість, шт	Загальна встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Середня потужність, кВт	Тривалість роботи за рік, год	Загальне споживання, кВтгод
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Система освітлення								
1	Внутрішнє освітлення (ЛБ)	0,018	516	9,29	0,95	5,11	2100	10727,6
2	Вуличне освітлення (ДРЛ 400)	0,4	12	4,8	0,85	1,44	2400	3456
Разом								14183,6
Силове обладнання								
3	Кондиціонери	12	10	120	0,24	2,88	1080	3110,4
4	Стерилізаційна установка	15,8	1	15,8	0,24	3,79	1080	4095,36
Разом								7205,76
Інше обладнання								
5	Принтери	1,2	12	14,4	0,75	4,5	160	720
6	Комп'ютери	0,4	14	5,6	0,6	4,32	1200	5184
7	Медичне обладнання (рентген)	5	18	90	0,8	0,29	1200	345,6
8	Бойлери	1,4	6	8,4	0,25	1,05	6552	6879,6
9	Сервери/ІТ-інфраструктура	3	12	36	0,7	16,8	180	3024
10	Телевізор	0,06	3	0,18	0,6	0,11	920	99,36
11	Холодильники медичні	2	6	12	0,4	4,32	840	3628,8
Разом								23812,56
Загальне споживання								45201,92

На рисунку 2.5 наведено діаграму Санкея за вересень 2024 року, яка відображає внески різних енергетичних компонентів у загальне споживання енергії в цей період.

Аналогічно, рисунок 2.6 ілюструє діаграму Санкея за весь 2024 рік, де показано відносні частки енергоспоживання різними системами будівлі. Такий підхід дозволяє візуально оцінити, які категорії обладнання є найбільш енерговитратними.

З аналізу діаграм видно, що провідну частку в загальному споживанні енергії займає інше обладнання — близько 55%.

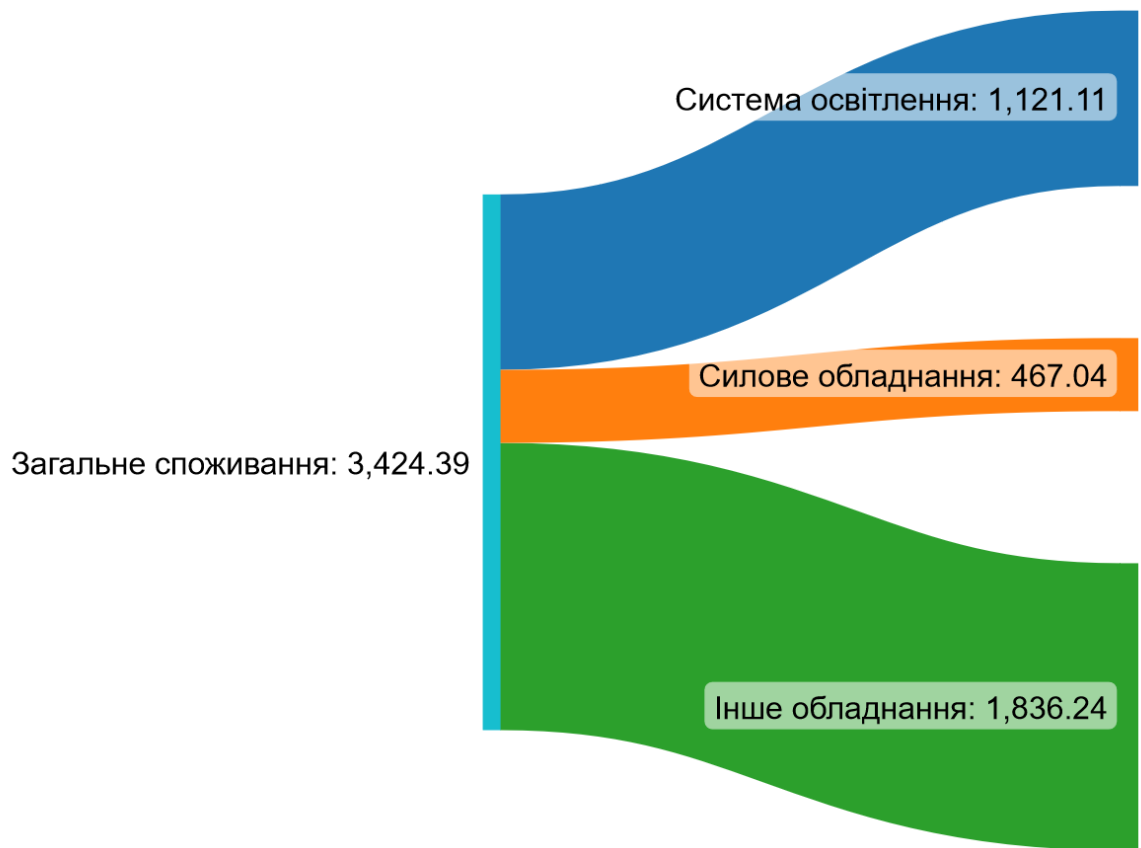


Рисунок 2.5 – Діаграма Санкея електричного балансу за вересень 2024 року

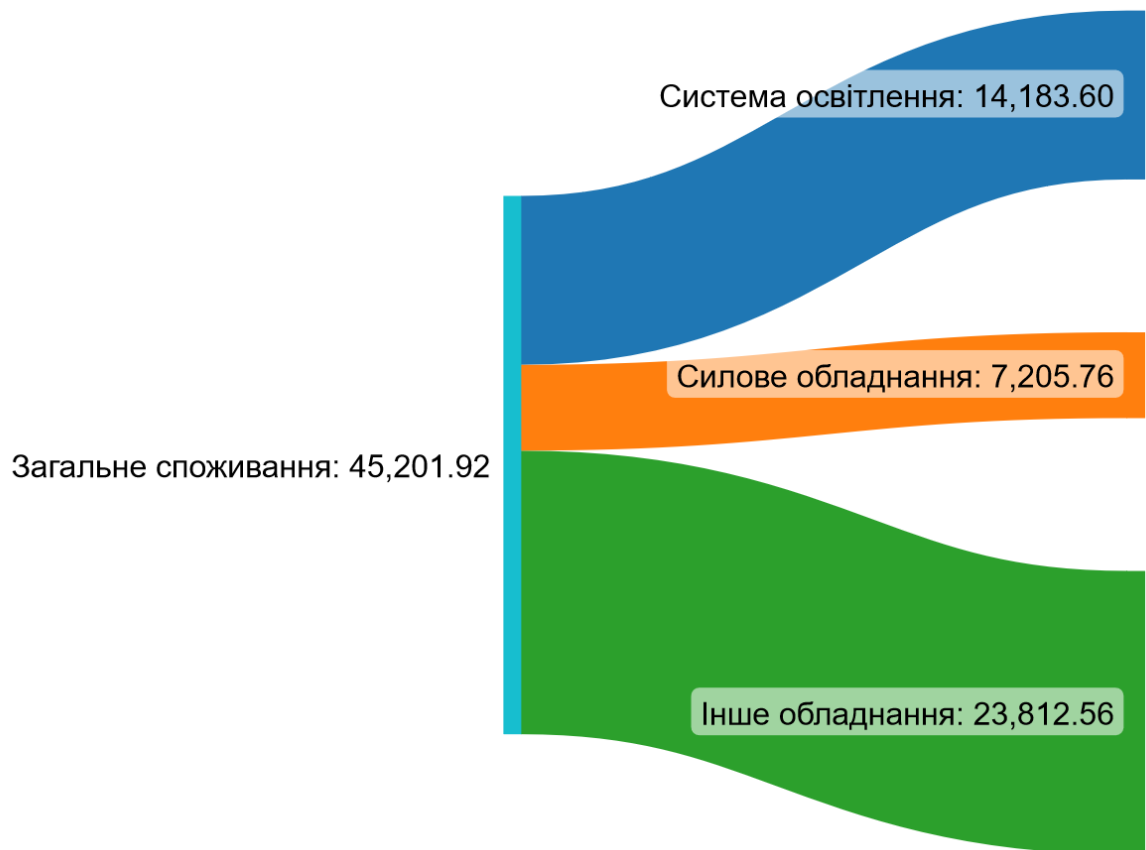


Рисунок 2.6 – Діаграма Санкея електричного балансу за 2024 рік

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

Система внутрішнього електропостачання розподіляє електроенергію, що надходить від трансформаторної підстанції, по всій будівлі лікарні. Щитова кімната, в якій розташовано електричний ввід у будівлю, знаходиться в підвальному приміщенні. Це обладнання перебуває на балансі медичного закладу. Розподільні щитки, через які електроенергія подається до окремих споживачів, розміщені на кожному поверсі лікарні.

Облік електричної енергії здійснюється за допомогою лічильника «NIK 2303», схему підключення якого зображено на рисунку 2.7. Лічильник встановлено у 2022 році після планової перевірки, на межі експлуатаційної відповідальності між лікарнею та електропередавальною організацією.

Параметри лічильника [10]:

- Вимірює активну і реактивну енергію в прямому і зворотному напрямку;
- Частота - 50 Гц;
- Номінальна сила струму - 5 А;
- Максимальна сила струму - 80 А;
- Міжповірочний інтервал - 10 років;
- Клас точності для вимірювання активної енергії 1,0;
- Клас точності для вимірювання реактивної енергії 2,0.

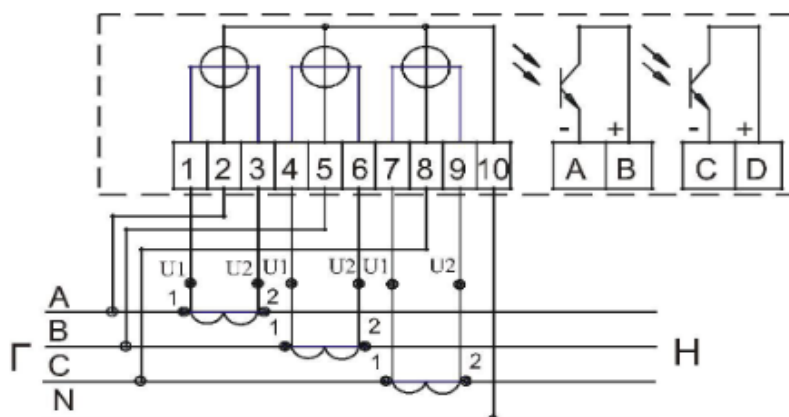


Рисунок 2.7 – Схема підключення лічильника «NIK 2303»

Переваги існуючої системи обліку та моніторингу включають:

1. Точність вимірювання: Лічильник електроенергії забезпечує достовірні дані щодо обсягу споживання електроенергії в лікарні.

2. Виявлення неправомірного споживання: Система обліку дозволяє виявляти можливі випадки несанкціонованого використання електроенергії, що сприяє ефективному управлінню ресурсами.

Недоліки існуючої системи:

1. Недостатній рівень автоматизації процесів збору та обробки даних ускладнює оперативний моніторинг споживання.
2. Система обліку не забезпечує деталізації споживання за окремими групами обладнання, що обмежує глибину аналізу.

Обмеження:

1. Поточна система може не підтримувати інтеграцію з сучасними цифровими платформами управління енергією.
2. Відсутність засобів аналітики та формування звітів ускладнює ухвалення обґрунтованих рішень щодо оптимізації споживання енергії.

Отже, існуюча система обліку електроенергії в лікарні забезпечує базовий рівень контролю, але потребує модернізації для досягнення вищої ефективності.

2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії

Проаналізувавши дані щодо споживання електроенергії, було виявлено певні недоліки в роботі систем внутрішнього та зовнішнього освітлення лікарні. Для покращення енергоефективності доцільно впровадити такі заходи:

1. Модернізація системи внутрішнього освітлення;
2. Встановлення датчиків присутності в приміщеннях з періодичним перебуванням персоналу;
3. Оновлення та оптимізація вуличного освітлення;
4. Раціональне регулювання роботи бойлерних установок у нічний час.

Захід з енергозбереження №1 – Модернізація внутрішнього освітлення

Запропонований енергоефективний захід передбачає заміну 516 застарілих люмінесцентних ламп на сучасні LED-лампи зі світловим потоком 1200 лм. Така

модернізація дозволить значно зменшити споживання електроенергії та підвищити ефективність системи освітлення в лікарні.

Розрахуємо річне споживання електричної енергії внутрішнім освітленням:

$$W_{\text{в.о}} = P k_{\text{в}} n T; \quad (2.21)$$

де P – потужність лампи, кВт;

n – загальна кількість світильників;

T – Загальна кількість годин роботи на рік за нормальних умов, прийнято на рівні 2100.

$$W_{\text{в.о.}}^{\text{Люм}} = 0,018 \cdot 0,95 \cdot 516 \cdot 2100 = 10731 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Для заміни старих люмінесцентних ламп було обрано світлодіодні лампи OSRAM LED SubstiTUBE з характеристиками [12] :

- Потужність 11,6 Вт;
- Світловий потік 1200 лм;
- Тип цоколя G13;
- Термін служби 50000 год;
- Вартість 170 грн.

Розрахуємо річне споживання після заміни ламп:

$$W_{\text{в.о.}}^{\text{LED}} = 0,0116 \cdot 0,95 \cdot 516 \cdot 2100 = 6930 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Знайдемо отриману економію за виразом:

$$\Delta W = W_{\text{в.о.}}^{\text{Люм}} - W_{\text{в.о.}}^{\text{LED}}; \quad (2.22)$$

$$\Delta W = 10731 - 6930 = 3801 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу:

$$E = \Delta W T; \quad (2.23)$$

де T – тариф на електроенергію;

$$E = 3801 \cdot 4,38 = 16648 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Витрати на монтаж складають 26000 грн. Тобто сумарні витрати становитимуть 113720 грн.

Простий термін окупності:

$$T = \frac{113720}{16648} = 6,8 \text{ років.}$$

Заміна застарілих люмінісцентних ламп на LED-технології є доцільним енергоефективним заходом, що сприяє зменшенню споживання електроенергії та витрат на її оплату. Розрахований термін окупності — 6,8 року — є обґрунтованим, що підтверджує економічну ефективність та інвестиційну доцільність впровадження такого рішення.

Захід з енергозбереження №2 – Встановлення датчиків присутності

Оскільки система освітлення становить значну частину електроспоживання будівлі — від 25% до 50% залежно від сезону, доцільним рішенням для його скорочення є впровадження автоматизації через встановлення датчиків руху. Це дозволить зменшити необґрунтоване освітлення на сходових клітинах у разі відсутності людей. Для ефективної роботи системи рекомендовано встановити 14 датчиків Pyronix COLT QPI (по 7 на кожен сходовий проліт), які керуватимуть роботою 48 освітлювальних приладів. Схема розміщення датчиків представлена на рисунку 2.8 [13].

- Область виявлення 15 м;
- Оптимальна висота установки 1,8-2,6 м;
- Потужність датчика 1 Вт;
- Вартість 350 грн.

Розрахуємо річне споживання електричної енергії датчиками руху:

$$W = PnT_{\text{роб.}}; \quad (2.24)$$

де P — потужність датчика, кВт;

n — кількість датчиків, шт;

$T_{\text{роб.}}$ — кількість годин роботи датчика за рік.

Знайдемо час роботи датчика за рік. Час роботи датчика задамо з 18:00 до 6:00.

$$T_{\text{роб.}} = tn; \quad (2.25)$$

де t — кількість годин роботи датчика на добу;

n — кількість днів.

$$T_{\text{роб.}} = 12 \cdot 365 = 4380 \text{ год;}$$

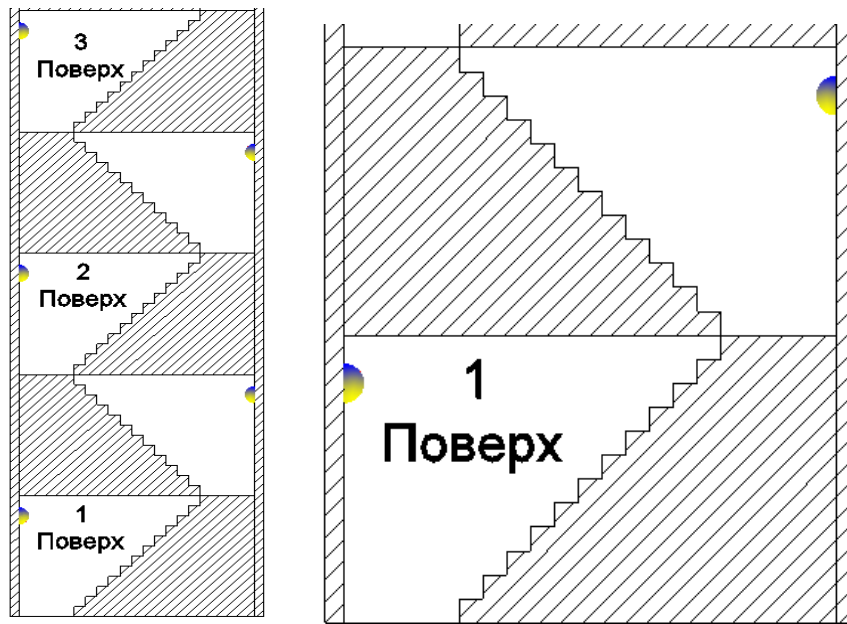


Рисунок 2.8 – Схема розташування датчиків на сходах

Річне споживання датчиками руху:

$$W_{\text{датч.}} = 0,001 \cdot 14 \cdot 4380 = 61,32 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Час роботи освітлення:

$$T_{\text{осв.}} = Nty; \quad (2.26)$$

де N – кількість людей в період з 18:00 до 6:00;

t – час роботи освітлення від датчиків, хвилин;

$$T_{\text{осв.}} = 20 \cdot 1 \cdot 365 = 7300 \text{ хв} = 122 \text{ год};$$

Розрахуємо споживання електричної енергії LED лампами:

$$W_{\text{осв.}} = 0,0116 \cdot 48 \cdot 122 = 68 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Річне споживання електричної енергії лампами та датчиками руху:

$$W_{\text{заг.}} = W_{\text{осв.}} + W_{\text{датч.}}; \quad (2.27)$$

$$W_{\text{заг.}} = 68 + 61,32 = 129,32 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Річне споживання електричної енергії LED ламп без встановлених датчиків руху:

$$W_{\text{осв.}} = 0,0116 \cdot 48 \cdot 0,95 \cdot 4380 = 1341,32 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Знайдемо економію електричної енергії від встановлення датчиків:

$$\Delta W = 1341,32 - 129,32 = 1212 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу:

$$E = 1212 \cdot 4,38 = 5308 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Витрати на монтаж усієї системи складає 10000 грн. Тобто сумарні витрати будуть становити 14900 грн.

Простий термін окупності:

$$T = \frac{14900}{5308} = 2,8 \text{ років.}$$

Встановлення датчиків руху на сходах є ефективним заходом з енергоефективності, який продемонстрував позитивні результати. Згідно з розрахунками, термін окупності становить лише 2,8 роки, що підтверджує доцільність впровадження. Цей захід сприятиме економії електроенергії, а також підвищить комфорт і безпеку пересування для працівників та відвідувачів медичного закладу.

Захід з енергозбереження №3 – Модернізація вуличного освітлення

Для підвищення енергоефективності будівлі та зменшення споживання електроенергії запропоновано замінити 12 зовнішніх ламп типу ДРЛ-400 на сучасні світлодіодні (LED) лампи. Таке рішення дозволить суттєво зменшити витрати на електроенергію завдяки меншому енергоспоживанню LED ламп при збереженні необхідного рівня освітлення, а також забезпечить довготривалу та надійну експлуатацію освітлення.

Розрахуємо річне споживання електричної енергії зовнішнім освітленням:

$$W_{3.0} = P k_{\text{в}} n T; \quad (2.28)$$

де T – Загальна кількість годин роботи на рік за нормальних умов, прийнято на рівні 2400.

$$W_{3.0}^{\text{ДРЛ}} = 0,4 \cdot 0,85 \cdot 12 \cdot 2400 = 3456 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Для заміни старих ДРЛ-400 було обрано світлодіодні лампи Eurolamp LED з характеристиками [14]:

- Потужність 100 Вт;
- Світловий потік 9600 лм;
- Тип цоколя E40;
- Термін служби 35000 год;
- Вартість 2000 грн.

Розрахуємо річне споживання після заміни світильників:

$$W_{3.0.}^{LED} = 0,1 \cdot 0,85 \cdot 12 \cdot 2400 = 864 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Знайдемо отриману економію за виразом:

$$\Delta W = W_{3.0.}^{ДРЛ} - W_{3.0.}^{LED}; \quad (2.29)$$

$$\Delta W = 3456 - 864 = 2592 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу:

$$E = 2592 \cdot 4,38 = 11353 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Витрати на монтаж складатимуть 4800 грн. Тобто сумарні витрати будуть становити 28800 грн.

Простий термін окупності:

$$T = \frac{28800}{11353} = 2,5 \text{ років.}$$

Заміна застарілих ламп ДРЛ-400 на світлодіодні лампи Eurolamp LED 100 Вт є ефективним енергоощадним заходом із терміном окупності лише 2,5 роки. Такий результат демонструє суттєву економічну доцільність оновлення освітлення: LED-лампи споживають менше електроенергії, мають довший термін служби, знижують витрати на обслуговування й забезпечують якісне, комфортне освітлення навколишнього середовища.

Захід з енергозбереження №4 – Регулювання роботи електричних бойлерів у нічний час

На всіх трьох поверхах лікарні встановлено по два бойлери об'ємом 80 літрів, які забезпечують споживання гарячої води. Вони працюють цілодобово впродовж усього опалювального періоду (з 1 вересня по 31 травня), що призводить до надлишкового споживання електроенергії. З метою оптимізації енергоспоживання рекомендується впровадити добовий таймер E.NEXT e.control.t14, який автоматично відключатиме живлення бойлерів у нічний період з 20:00 до 6:00, коли використання води мінімальне. Загальний вигляд таймера наведено на рисунку 2.9 [15].



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд таймера E.NEXT e.control.t14

Розрахуємо річну економію електричної енергії:

$$W_{\text{реле}} = PT; \quad (2.30)$$

де P – середня потужність бойлерів, згідно таблиці 2.1, кВт;

T – сумарна кількість годин відключення в рік, прийнято на рівні 2730.

$$W_{\text{бойл.}} = 1,05 \cdot 2730 = 2866,5 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу:

$$E = 2866,5 \cdot 4,38 = 12555 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Вартість одного таймера складає 550 грн, витрати на монтаж відсутні. Тобто сумарні витрати будуть становити 1650 грн [15].

Простий термін окупності:

$$T = \frac{1650}{12555} = 2 \text{ місяці}.$$

Встановлення таймерів для відключення бойлерів у нічний час виявилось надзвичайно ефективним заходом з енергозбереження. За результатами розрахунків, термін окупності становить лише 2 місяці, що підтверджує повну доцільність впровадження цього рішення. Економія електроенергії склала 2866,5 кВт·год на рік, що у грошовому еквіваленті становить близько 12 555 грн на рік. Такий захід дозволяє значно знизити витрати на експлуатацію бойлерів у нічний час, покращити економічні показники лікарні та зробити внесок у раціональне використання енергоресурсів.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було досліджено та проаналізовано:

1. Проведено повірочний розрахунок електричних навантажень будівлі та обчислено витрати на споживання електричної енергії за 2021 рік і типовий місяць вересень. Це надало підґрунтя для подальшого аналізу та визначення заходів з підвищення енергоефективності.
2. Оцінено стан системи освітлення в лікарні, що дозволило виявити недоліки та потенціал для зниження енергоспоживання.
3. Описано існуючу систему моніторингу та обліку електроенергії, виявлено її обмеження та недоліки.
4. Розроблено й обґрунтовано чотири енергоефективні заходи, що включають: модернізацію внутрішнього освітлення, встановлення датчиків присутності, модернізацію зовнішнього освітлення та регулювання роботи бойлерів у нічний час за допомогою таймерів.

У результаті аналізу енергоспоживання лікарні встановлено, що реалізація запропонованих заходів дозволяє досягти економії електроенергії у розмірі 10471,5 кВт·год на рік. Це сприятиме як економії витрат на електроенергію, так і підвищенню енергоефективності будівлі загалом.

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

У цьому розділі буде розглянуто нормативні документи, що регламентують енергоефективність будівель в Україні. Основним із них є чинний державний стандарт, який встановлює вимоги до енергетичних характеристик будівель [16].

Після аналізу нормативної бази та сучасного стану житлово-комунального господарства будуть сформовані рекомендації щодо підвищення енергоефективності будівель і раціонального використання енергоресурсів у цій сфері.

Таблиця 3.1 – Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції згідно з [16]

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Основною метою енергозберігаючих проєктів є зменшення споживання енергоресурсів і підвищення ефективності їх використання. Це є актуальним завданням, адже енергоспоживання суттєво впливає як на довкілля, так і на фінансові витрати користувачів.

Впровадження заходів з енергозбереження дає змогу не лише знизити витрати на енергоносії, а й забезпечити належні умови комфорту в приміщеннях. Такого результату досягають завдяки утепленню будівель, використанню енергоефективного обладнання, модернізації систем опалення та вентиляції, а також впорядкуванню споживання електроенергії і води. Усе це сприяє підвищенню енергоефективності будівлі та покращенню якості перебування в ній.

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення температури й відносної вологості внутрішнього повітря приміщень згідно з [16]

Призначення будівлі	Розрахункові значення показників внутрішнього повітря	
	Температури θ_{int} , °С	відносної вологості φ_{int} , %
Житлові та готелі	20	55

Заклади дошкільної освіти та охорони здоров'я	22	50
Спортивні заклади	18	50
Інші громадські заклади	20	50

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

На цьому етапі проекту зосередимо увагу на розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Це дозволить оцінити рівень теплозахисту будівлі та виявити слабкі місця в існуючій теплоізоляції.

Розрахунок виконуватиметься згідно з чинними нормативами з урахуванням теплофізичних характеристик матеріалів. Це дасть змогу об'єктивно оцінити енергоефективність конструкцій та обґрунтувати необхідність їх модернізації для покращення теплозахисту та забезпечення комфортних умов у приміщеннях.

Зовнішні стіни лікарні

Опір теплопередачі стіни розраховується за формулою:

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

де h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні зовнішніх стін, дорівнює 8,7 Вт/(м²·К);

h_{se} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні зовнішніх стін, дорівнює 23 Вт/(м²·К);

R_i – термічний опір шарів конструкції, який розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\delta_{\text{цегла}}}{\lambda_{\text{цегла}}} + \frac{\delta_{\text{штук.}}}{\lambda_{\text{штук.}}} + \frac{1}{h_{se}}; \quad (3.2)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності цегляної кладки та штукатурки відповідно, Вт/(м²·К);

δ – товщина шару цегляної кладки та штукатурки відповідно, м;

Таким чином, термічний опір зовнішньої стіни складає:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,83 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції $R_{q \min} = 4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$

Так як $R_{\Sigma} < R_{q \min}$, то теплозахисні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій перебувають на недостатньому рівні, що потребує впровадження енергоефективних заходів для підвищення їх опору теплопередачі в умовах експлуатації медичного закладу.

Коефіцієнт теплопередачі стіни знаходимо за формулою:

$$k_{\text{стіни}} = \frac{1}{R_{\Sigma}}; \quad (3.3)$$

У нашому випадку, коефіцієнт теплопередачі буде складати:

$$k_{\text{стіни}} = \frac{1}{0,83} = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Вікна

На рисунку 3.1 наведено загальний вигляд вікон лікарні.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд вікон

Опір теплопередачі металопластикових вікон $R_{\text{вікон}} = 0,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі металопластикових вікон

$$R_{q \min} = 0,9 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Як бачимо, теплозахисні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій перебувають у незадовільному стані, що обумовлює необхідність впровадження енергоефективних заходів для підвищення їх опору теплопередачі в умовах експлуатації лікарні.

Коефіцієнт теплопередачі металопластикових вікон з подвійним склінням:

$$k_{\text{мп.вікна}} = \frac{1}{0,6} = 1,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Суміщене перекриття

На рисунку 3.2 наведено вигляд суміщеного перекриття лікарні.



Рисунок 3.2 – Вигляд суміщеного перекриття

Опір теплопередачі перекриття розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\delta_{\text{плита}}}{\lambda_{\text{плита}}} + \frac{\delta_{\text{руб.}}}{\lambda_{\text{руб.}}} + \frac{\delta_{\text{азб.}}}{\lambda_{\text{азб.}}} + \frac{1}{h_{se}}; \quad (3.4)$$

де h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні суміщеного перекриття, дорівнює $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

h_{se} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні суміщеного перекриття, дорівнює $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

λ – коефіцієнт теплопровідності залізобетонної плити, рубероїду та

азбестоцементних листів відповідно, Вт/(м²·К);

δ – товщина шару залізобетонної плити, рубероїду та азбестоцементних листів відповідно, м;

Опір теплопередачі суміщеного перекриття складає:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,32}{2,04} + \frac{0,035}{0,17} + \frac{0,008}{0,41} + \frac{1}{6} = 0,67 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі суміщеного перекриття

$$R_{q \min} = 6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Так як $R_{\Sigma} < R_{q \min}$, то теплозахисні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій перебувають на недостатньому рівні, що потребує впровадження енергоефективних заходів для підвищення їх опору теплопередачі в умовах експлуатації медичного закладу.

Коефіцієнт теплопередачі перекриття:

$$k_{\text{сум.пер.}} = \frac{1}{0,67} = 1,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Двері

Опір теплопередачі дверей розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\delta_{\text{мп.д.}}}{\lambda_{\text{мп.д.}}} + \frac{1}{h_{se}}; \quad (3.5)$$

де h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні дверей, дорівнює 8,7 Вт/(м²·К);

h_{se} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні дверей, дорівнює 23 Вт/(м²·К);

λ – коефіцієнт теплопровідності дверей, Вт/(м²·К);

δ – товщина дверей, м;

Опір теплопередачі металопластикових дверей складає:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8} + \frac{0,082}{1,4} + \frac{1}{23} = 0,23 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі дверей

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

Так як $R_{\Sigma} < R_{q \min}$, то теплозахисні властивості дверей у незадовільному стані.

Коефіцієнт теплопередачі металопластикових дверей:

$$k_{\text{мп.двері}} = \frac{1}{0,23} = 4,35 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Перекриття над неопалюваним підвалом

На рисунку 3.4 наведено загальний вигляд підвального приміщення лікарні.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд підвалу лікарні

Опір теплопередачі перекриття підвалу розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{\delta_{\text{плита}}}{\lambda_{\text{плита}}} + \frac{\delta_{\text{стяж.}}}{\lambda_{\text{стяж.}}} + \frac{\delta_{\text{пар.}}}{\lambda_{\text{пар.}}} + \frac{1}{h_{se}}; \quad (3.6)$$

де h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні перекриття над неопалювальним підвалом, дорівнює $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

h_{se} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні перекриття над неопалювальним підвалом, дорівнює $12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

λ – коефіцієнт теплопровідності залізобетонної плити, стяжки та паркету відповідно, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

δ – товщина шару залізобетонної плити, стяжки та паркету відповідно, м;

Опір теплопередачі складає:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,32}{2,04} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{12} = 0,43 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом $R_{q \min} = 5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$

Так як $R_{\Sigma} < R_{q \min}$, то теплозахисні властивості перекриття у незадовільному стані, що вимагає впровадження енергозберігаючих засобів щодо збільшення опору теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі перекриття:

$$k_{\text{пер.}} = \frac{1}{0,43} = 2,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Отримані дані зведемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків опорів теплопередачі існуючих зовнішніх огорожувальних конструкцій лікарні [17]

Найменування огороження	Шар	$\delta, \text{м}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$h_{si}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$h_{se}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$R, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	2	3	4	5	6	7
Зовнішні стіни	повнотіла цегла	0,51	0,81	8,7	23	0,83
	штукатурка	0,04	0,93			
Вікна	металопластик	—	—	—	—	0,6
Двері	металопластик	0,082	1,4	8	23	0,23
Горищне перекриття	Залізобетонна плита	0,32	2,04	8,7	6	0,67
	Рубероїд	0,035	0,17			
	Листи азбестоцемент	0,008	0,41			
Перекриття неопалюваного підвалу	Залізобетонна плита	0,32	2,04	8,7	12	0,43
	цементно-піщана стяжка	0,02	0,93			
	паркет	0,02	0,41			

Використовуючи план будівлі, при цьому враховуючи кількість поверхів, визначимо площу фасадів за зовнішніми обмірами та сторонами світу (Пн-Зх, Пд-Зх, Пн-Сх, Пд-Сх).

Площа основного фасаду:

$$F_a = a(H_{\text{пов}}n_{\text{пов}} + H_{\text{цок}} + H_{\text{гор}}), \quad (3.7)$$

де a — довжина основного фасаду, м;

$H_{\text{пов}}$ — висота одного поверху будівлі, м;

$n_{\text{пов}}$ — кількість поверхів;

$H_{\text{цок}}$ — висота цоколя будівлі, м;

$H_{\text{гор}}$ — висота горищного поверху будівлі, м;

$$F_a = 57,8 \cdot (3,3 \cdot 3 + 1,3 + 2,2) = 965,26 \text{ м}^2.$$

Площа торцевого фасаду:

$$F_b = b(H_{\text{пов}} n_{\text{пов}} + H_{\text{цок}} + H_{\text{гор}}), \quad (3.8)$$

Де b – довжина торцевого фасаду, м;

$$F_b = 37,2 \cdot (3,3 \cdot 3 + 1,3 + 2,2) = 621,24 \text{ м}^2.$$

– Визначення площі світлопрозорих конструкцій

$$F_{\text{ск}} = nab, \quad (3.9)$$

де n – кількість конструкцій за стороною світу;

a – довжина конструкції, м;

b – висота конструкції, м;

$$F_{\text{ск.Пн-Зх}} = 35 \cdot 1,56 \cdot 2,25 + 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 130,95 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{ск.Пн-Сх}} = 59 \cdot 1,56 \cdot 2,25 = 207,1 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{ск.Пд-Зх}} = 52 \cdot 1,56 \cdot 2,25 + 11 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 197,37 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{ск.Пд-Сх}} = 36 \cdot 1,56 \cdot 2,25 + 8 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 137,16 \text{ м}^2.$$

– Визначення площі входних дверей

$$F_{\text{ск.Пн-Зх}} = 2 \cdot 2 \cdot 4,12 = 16,48 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{ск.Пн-Сх}} = F_{\text{ск.Пд-Сх}} = 1 \cdot 2 \cdot 4,12 = 8,24 \text{ м}^2.$$

Тепловтрати через зовнішні огородження визначаються за формулою:

$$Q_o = \Sigma(K_i F_i \Delta t_i) b_u (1 + \Sigma \beta) = \Sigma \left(\frac{1}{R_i} F_i (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \right) b_u (1 + \Sigma \beta); \quad (3.10)$$

де R_i – опір теплопередачі i -ого огородження, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

F_i – площа i -ої огорожувальної конструкції, м^2 ;

$t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення;

b_u – поправочний коефіцієнт урахування зменшення розрахункової різниці температур між кондиціонованим та некондиціонованим об'ємом/зоною;

$\Sigma \beta$ – 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, $\Sigma \beta = 0,1$;
- південний-схід і захід, $\Sigma \beta = 0,05$;
- для усіх інших огорожень, $\Sigma \beta = 0$;

K_i – коефіцієнт теплопередачі, що розраховується за формулою:

$$K_i = \frac{1}{R_i}. \quad (3.11)$$

Розраховані дані зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Тепловтрати через зовнішні огороження будинку, Вт

Огородження	Орієнтація	$R, \frac{m^2 \cdot K}{W}$	F, m^2	$\Delta t, ^\circ C$	b_u	$1 + \Sigma \beta$	Q_o, W
ЗС (без СК, ДВ)	Пн-Сх	0,83	754,04	46	1	1,1	42971,20
	Пд-Сх		479,96			1,05	26108,67
	Пд-Зх		767,89			1	39782,25
	Пн-Зх		473,81			1,1	27001,46
СК	Пн-Сх	0,6	207,1	46	1	1,1	16326,38
	Пд-Сх		137,16			1,05	10321,29
	Пд-Зх		197,37			1	14144,85
	Пн-Зх		130,95			1,1	10323,23
ДВ	Пн-Сх	0,23	16,48	46	1	1,1	3235,10
	Пд-Сх		4,12			1,1	847,29
	Пн-Зх		4,12			1,05	847,29
Г		0,67	922,72	46	1		59219,34
П		0,43	922,72	46	0,3		27681,60
Разом							278809,94

За формулою розрахуємо значення витрат на потреби природної інфільтрації:

$$Q_{\text{інф.}} = 0,337 n_{\text{об}} V (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}); \quad (3.12)$$

Де $n_{\text{об}}$ – кратність повітрообміну будівлі, прийнято на рівні $0,5 \text{ год}^{-1}$;

$$Q_{\text{інф.}} = 0,337 \cdot 0,5 \cdot 18455 \cdot (21 - (-25)) = 143044,71 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплові втрати будівлі:

$$Q_{\Sigma} + Q_{\text{інф.}} = 278809,94 + 143044,71 = 421854,65 \text{ Вт.}$$

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

Для аналізу ефективності споживання теплової енергії буде проведено порівняння розрахункових і фактичних показників за останні три роки з урахуванням погодних умов. Такий підхід дає змогу об'єктивно оцінити рівень використання теплової енергії в

порівнянні з нормативними значеннями та врахуванням зовнішніх температурних факторів.

Значення середньої зовнішньої температури зведемо до таблиці 3.5 [18].

Таблиця 3.5 – Фактичні погодні умови

Рік	2021	2022	2023
$t_{\text{зовн.}}$	1,4	0,3	-0,7
$t_{\text{вн.факт.}}$	20	19	18

Розрахуємо нормативну тепловитрату для отриманих значень:

$$Q^{\text{норм.}} = Q_{\text{спож.}} \cdot \frac{(t_{\text{вн.}} - t_{\text{с.о.}})}{(t_{\text{вн.факт.}} - t_{\text{зовн.}})}; \quad (3.13)$$

$$Q_{2021}^{\text{норм.}} = 840 \cdot \frac{21 - 0,7}{20 - 1,4} = 916,77 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}};$$

$$Q_{2022}^{\text{норм.}} = 769,7 \cdot \frac{21 - 0,7}{19 - 0,3} = 835,56 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}};$$

$$Q_{2023}^{\text{норм.}} = 769,7 \cdot \frac{21 - 0,7}{18 - (-0,7)} = 835,56 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}};$$

$$Q_{\text{сер.}}^{\text{норм.}} = \frac{916,77 + 835,56 + 835,56}{3} = 862,63 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річна витрата теплової енергії будівлі згідно тепловтрат, Гкал/рік:

$$Q_{\text{роз.}} = 421854,65 \cdot \frac{21 - 0,7}{21 - (-25)} \cdot 195 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 749 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Аналіз нормативних витрат теплової енергії з урахуванням фактичних погодних умов за останні три роки показав, що розрахункові значення перевищують фактичні в середньому на 10%. Це свідчить про те, що реальне споживання теплової енергії в будівлі було нижчим за очікуване за нормативами.

Таке відхилення може бути спричинене низкою чинників, зокрема неузгодженістю розрахункових параметрів з реальними умовами, порушеннями в роботі системи опалення, втратами через неякісну теплоізоляцію або змінами у графіку використання приміщень. Крім того, погодні фактори, як-от температура, вологість і швидкість вітру, безпосередньо впливають на потребу в тепловій енергії.

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій

Після підрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій лікарні було виявлено значне відхилення від нормативних значень. Це свідчить про недостатню теплову ізоляцію та низьку енергоефективність будівлі, що спричиняє зайве споживання енергоресурсів. Для підвищення енергоефективності та зменшення витрат енергії запропоновано низку заходів для приведення опору теплопередачі до нормативних показників:

1. Покращення теплової ізоляції стін шляхом додаткового утеплення зовнішньої поверхні, що знизить тепловтрати і підвищить опір теплопередачі.
2. Покращення теплоізоляції даху за допомогою додаткового шару утеплювача, що дозволить значно зменшити теплові втрати через дах і оптимізувати споживання енергії.

Захід з енергозбереження №1 – Утеплення фасадів

Утеплення зовнішніх стін лікарні є одним із ключових заходів з енергозбереження, що суттєво покращує теплоізоляцію будівлі та знижує споживання енергоресурсів. Зовнішні стіни відіграють важливу роль у збереженні тепла та створенні комфортних умов у приміщеннях. Цей захід передбачає використання сучасних матеріалів і технологій для ефективної теплоізоляції, що зменшує тепловтрати через стіни і підвищує комфорт у приміщеннях.

Мінеральна вата — один із найефективніших і популярних матеріалів для утеплення будівель, виготовлений з натуральних компонентів, зокрема базальтового волокна, яке має високу теплоізоляційну здатність і стійкість до теплових навантажень. Вона забезпечує ефективне утеплення зовнішніх стін лікарні, запобігаючи втратам тепла та утворенню холодних містків.

Мінеральна вата характеризується низьким коефіцієнтом теплопровідності, що створює надійну ізоляційну бар'єрну зону.

За формулою розрахуємо необхідну товщину мінеральної вати для отримання нормативного значення опору теплопередачі зовнішніх стін:

$$\delta_{iz} = \left(R_{q \min} - \left(\frac{1}{a_v} + \frac{\delta_{цегла}}{\lambda_{цегла}} + \frac{\delta_{штук.}}{\lambda_{штук.}} + \frac{1}{a_z} \right) \lambda_{ут} \right); \quad (3.14)$$

де $\lambda_{\text{ут}}$ – коефіцієнт теплопровідності утеплювача, Вт/(м²·К);

$$\delta_{\text{із}} = \left(4 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{1}{23} \right) \right) \cdot 0,037 = 0,118 \text{ м} = 120 \text{ мм.}$$

Після підрахунку результат потрібно округлити до значень, що відповідають існуючим на ринку теплоізоляційних матеріалів: 50 мм, 100 мм, 120 мм, 150 мм, 200 мм.

Для утеплення зовнішніх стін обрано мінеральну вату ROCKWOOL FrontRock Super 1000×600×120, на основі базальтового волокна з густиною 150 кг/м³ [19].

Площа фасаду, яка підлягає утепленню, складає 2475,7 м².

Визначимо опір теплопередачі стіни після утеплення за формулою:

$$R_{\text{ут}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_{\text{з}}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{цегла}}}{\lambda_{\text{цегла}}} + \frac{\delta_{\text{штук.}}}{\lambda_{\text{штук.}}} + \frac{\delta_{\text{ут.}}}{\lambda_{\text{ут.}}} + \frac{\delta_{\text{штук.}}}{\lambda_{\text{штук.}}} + \frac{1}{a_{\text{з}}}; \quad (3.15)$$

$$R_{\text{ут}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{0,12}{0,037} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{1}{23} = 4,09 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Порівняльний аналіз опору теплопередачі стін після утеплення з нормативним значенням:

$$R_{\text{ут}} \geq R_{q \text{ min}}; \quad (3.16)$$

$$4,09 \geq 4.$$

Після утеплення зовнішніх стін будівлі лікарні значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій досягло нормативних показників, що свідчить про ефективність заходу у зниженні витрат на опалення та покращенні комфортних умов перебування пацієнтів і персоналу.

Зменшення теплових втрат через зовнішні стіни за рахунок утеплення:

$$\Delta Q_{\text{ЗС}} = \sum \left(\left(\frac{1}{R_{\text{іс}}} - \frac{1}{R_{\text{ут}}} \right) F_{\text{ЗС}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \right) b_{\text{у}} (1 + \Sigma \beta); \quad (3.17)$$

$$\Delta Q_{\text{ЗС}} = \left(\frac{1}{0,83} - \frac{1}{4,09} \right) \cdot 43$$

$$\cdot (754,04 \cdot 1 \cdot 1,1 + 479,96 \cdot 1 \cdot 1,05 + 767,89 \cdot 1 \cdot 1 + 473,81 \cdot 1 \cdot 1,1)$$

$$= 108292,24 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії за рахунок утеплення зовнішніх стін будівлі, Гкал/рік:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.ЗС}} = \Delta Q_{\text{ЗС}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} n_0 24 \frac{10^{-6}}{1,163}; \quad (3.18)$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.3С}} = 108292,24 \cdot \frac{21 - 0,7}{21 - (-25)} \cdot 195 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 205,73 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу, грн/рік:

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.3С}} T; \quad (3.19)$$

де T – тариф на теплову енергію, грн/Гкал;

$$\Delta E = 205,73 \cdot 3675,60 = 562\,063 \text{ грн/рік.}$$

Розрахункова вартість заходу, та перелік необхідних матеріалів наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахункова вартість заходу з утеплення фасаду

Найменування	Од. вим.	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Ґрунтовка Ceresit СТ 17 глибокого проникнення, 10 л	шт.	40	500	22 000
Дюбель з металевим цвяхом та термоголовкою 10х200мм, 250шт	шт.	70	1250	93 750
Ceresit СТ-190 для армування і приклеювання мінеральної вати, 25 кг	шт.	560	320	182 400
Сітка фасадна Ceresit СТ325, 55 м ²	шт.	46	2300	110 400
Мінеральна вата ROCKWOOL FrontRock Super 1000×600×120	м ²	2476	750	1 857 000
Кутник ПВХ фасадний перфорований з сіткою, 3 м	шт.	160	37	6 290
Штукатурка камінцева силікон- силікатна СТ 174, 25 кг	шт.	240	2350	587 500
Фарба ґрунтуюча силіконова Ceresit 15, 10 л	шт.	480	2000	960 000
Інше (піна, стрічка, плівка)	-	-	-	10 000
Транспортні витрати	-	-	-	38 000
Монтажні роботи	-	-	-	990 000
Разом				4 857 340

Простий термін окупності:

$$T = \frac{4\,857\,340}{562\,063} = 8,6 \text{ років.}$$

Після розрахунків встановлено, що термін окупності утеплення зовнішніх стін лікарні становить 8,6 років, що є дуже хорошим результатом, адже окупність менше 10 років вважається високоефективним для проєктів з енергоефективності; це свідчить, що витрати на утеплення компенсуються зниженням споживання енергоресурсів протягом кількох років.

Утеплення зовнішніх стін лікарні має багато переваг, зокрема зниження тепловтрат, підвищення комфорту для пацієнтів і персоналу, зменшення енергозалежності та економію на опаленні; завдяки короткому терміну окупності це є вигідною і ефективною інвестицією.

Використання мінеральної вати на основі базальтового волокна робить будівлю більш енергоефективною та стійкою до теплових втрат, що сприяє зниженню споживання енергоресурсів, підвищенню екологічної сталості та мінімізації впливу на довкілля.

Загалом, утеплення зовнішніх стін — важливий крок до створення енергоефективних і сталих будівель, що сприятиме економії ресурсів, зниженню витрат і покращенню якості життя користувачів лікарні.

Захід з енергозбереження №2 – Утеплення суміщеного перекриття

Утеплення суміщеного перекриття є одним з ключових заходів з енергозбереження, спрямованих на поліпшення теплоізоляції будівлі та зниження втрат тепла через дахову конструкцію. Відповідно до аналізу та розрахунків, було встановлено, що дах є одним з найбільш незахищених елементів будівлі щодо теплових втрат.

Для реалізації цього заходу було обрано використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, зокрема мінеральної вати на основі базальтового волокна. Цей матеріал має високу теплоізоляційну ефективність, що дозволяє значно знизити проникнення тепла через дахову конструкцію.

У нашому проєкті передбачено, що з двох сторін утеплювача буде встановлена пароізоляційна та гідроізоляційна плівка. Це дозволить створити бар'єр, який запобігатиме проникненню вологи зовнішнього середовища до утеплювального шару та будівельної конструкції.

Пароізоляційна плівка буде контролювати рух пари внутрішньої вологості, запобігаючи її проникненню в утеплювач та конструкцію, а також забезпечуватиме дозоване насичення та своєчасну віддачу вологи. Це важливо для збереження

оптимального рівня вологості в системі та уникнення утворення конденсату, який може призвести до пошкодження конструкції та зменшення ефективності утеплення.

Гідроізоляційна плівка, в свою чергу, буде захищати утеплювач та будівельну конструкцію від проникнення вологи зовнішнього середовища, такого як дощ, сніг, роса тощо. Це дозволить зберегти інтегритет утеплювального шару та забезпечити його ефективну роботу протягом тривалого періоду.

Таке комплексне застосування паро- та гідроізоляційної плівки забезпечує не тільки енергоефективність утеплення даху, але й збереження довговічності та стійкості будівельної конструкції, запобігаючи негативному впливу вологості. Такий підхід гарантує досягнення оптимального кліматичного комфорту всередині будівлі та економію енергоресурсів.

Реалізація заходу з утеплення даху сприятиме забезпеченню оптимальних умов енергозбереження та стане вагомим внеском у покращення екологічної стійкості лікарні. Таке покращення не тільки дозволить знизити витрати на опалення та охолодження, але й сприятиме збереженню природних ресурсів та зменшенню викидів шкідливих речовин до довкілля.

За формулою розрахуємо необхідну товщину мінеральної вати для отримання нормативного значення опору теплопередачі горищного перекриття:

$$\delta_{iz} = \left(R_{q \min} - \left(\frac{1}{a_v} + \frac{\delta_{плита}}{\lambda_{плита}} + \frac{\delta_{руб.}}{\lambda_{руб.}} + \frac{\delta_{азб.}}{\lambda_{азб.}} + \frac{1}{a_z} \right) \lambda_{ут} \right); \quad (3.20)$$

$$\delta_{iz} = \left(6 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,008}{0,41} + \frac{0,32}{2,04} + \frac{0,035}{0,17} + \frac{1}{6} \right) \right) \cdot 0,037 = 0,197 \text{ м} = 200 \text{ мм}.$$

Для утеплення горищного перекриття обрано базальтовий утеплювач Lamisol Raz 120, 1180×580×200, густиною 120 кг/м³ [20].

Площа горищного перекриття, яка підлягає утепленню, складає 2202 м².

Визначимо опір теплопередачі горищного перекриття після утеплення за формулою:

$$R_{ут} = \frac{1}{a_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_z} = \frac{1}{a_v} + \frac{\delta_{плита}}{\lambda_{плита}} + \frac{\delta_{руб.}}{\lambda_{руб.}} + \frac{\delta_{азб.}}{\lambda_{азб.}} + \frac{\delta_{ут.}}{\lambda_{ут.}} + \frac{1}{a_z}; \quad (3.21)$$

$$R_{ут} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,008}{0,41} + \frac{0,32}{2,04} + \frac{0,035}{0,17} + \frac{0,2}{0,037} + \frac{1}{6} = 6,07 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Порівняльний аналіз опору теплопередачі горищного перекриття після утеплення з нормативним значенням:

$$R_{ут} \geq R_{q \min}; \quad (3.22)$$

$$6,07 \geq 6.$$

Зменшення теплових втрат через горищне перекриття за рахунок утеплення:

$$\Delta Q_{\Gamma} = \sum \left(\frac{1}{R_{ic}} - \frac{1}{R_{yt}} \right) F_{\Gamma} (t_{вн} - t_{p.o.}) b_u; \quad (3.23)$$

$$\Delta Q_{\Gamma} = \left(\frac{1}{0,67} - \frac{1}{6,07} \right) \cdot 2202 \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 52682,78 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії за рахунок утеплення горищного перекриття будівлі, Гкал/рік:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Gamma} = \Delta Q_{\Gamma} \frac{t_{вн} - t_{c.o.}}{t_{вн} - t_{p.o.}} n_0 24 \frac{10^{-6}}{1,163}; \quad (3.24)$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Gamma} = 52682,78 \cdot \frac{21 - 0,7}{21 - (-25)} \cdot 195 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 100 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Отримана економія внаслідок реалізації заходу, грн/рік:

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Gamma} T; \quad (3.25)$$

$$\Delta E = 100 \cdot 3675,6 = 367\,560 \text{ грн/рік.}$$

Розрахункова вартість заходу, та перелік необхідних матеріалів наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахункова вартість заходу з утеплення горищного перекриття лікарні

Найменування	Од. вим.	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Базальтовий утеплювач Lamisol Raz 150, 1180×580×200	м ²	1850	980	1 813 000
Дюбель для теплоізоляції 10х240 із металевим стрижнем ТА Premium Fast Fix, 250 шт	шт.	25	2250	56 250
Juta Паро-Гидробарьер Д110, 1,5х50м	шт.	65	2600	169 000
Інше	-	-		25 000
Транспортні витрати	-	-		28 000
Монтажні роботи	-	-		907 650
Разом				2 998 900

Простий термін окупності:

$$T = \frac{2\,998\,900}{367\,560} = 8,1 \text{ рік.}$$

Утеплення горищного перекриття позитивно вплинуло на підвищення енергоефективності лікарні. За результатами розрахунків встановлено, що інвестиції в цей захід окупляться протягом 8,1 року, що є прийнятним терміном для проєктів такого масштабу.

Це підтверджує економічну доцільність впровадженого рішення, яке дозволяє зменшити теплові втрати через покрівлю та скоротити витрати на опалення.

Таким чином, утеплення горищного перекриття сприяє збереженню комфортного мікроклімату в приміщеннях лікарні, зниженню споживання енергоресурсів і підвищенню загальної енергоефективності будівлі.

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

З метою підвищення енергоефективності та створення сприятливих умов експлуатації будівлі лікарні, запропоновано реалізувати такі заходи, спрямовані на оптимізацію роботи інженерних систем та ефективне використання енергоресурсів:

1. Модернізація індивідуального теплового пункту шляхом впровадження автоматизованої системи керування, що забезпечить зниження споживання теплової енергії в нічний період (з 23:00 до 5:00).
2. Заміна застарілих змішувачів на сенсорні пристрої, які дозволяють точно регулювати подачу води та автоматично вимикати її після використання. Це сприятиме зменшенню витрат води, зниженню фінансових витрат на водопостачання та підвищенню екологічної стійкості закладу.

Захід з енергозбереження №1 – Модернізація індивідуального теплового пункту

Модернізація індивідуального теплового пункту з використанням контролера SEMPAL C-11 забезпечує широкі можливості для ефективного управління температурними параметрами системи опалення в будівлі лікарні. Завдяки впровадженню цього рішення вдається досягти зниження споживання теплової енергії та забезпечити стабільний температурний режим у приміщеннях. Загальний вигляд контролера представлений на рисунку 3.6 [21].

Приладовий щит SEMPAL підтримує гнучке програмування та дозволяє керувати роботою двох циркуляційних насосів, реалізуючи їх чергування. Також передбачено погодне регулювання температури теплоносія в залежності від зовнішньої температури. Він обладнаний системами захисту, зокрема від роботи «на суху» та автоматичним увімкненням резервного насоса у разі виходу з ладу основного.

Автоматика дає можливість працювати як у ручному, так і в автоматичному режимі, включаючи керування регулювальним клапаном опалювального контуру. На передній панелі щита розміщені індикатори, що забезпечують персонал візуальною інформацією про поточний стан роботи теплового пункту.

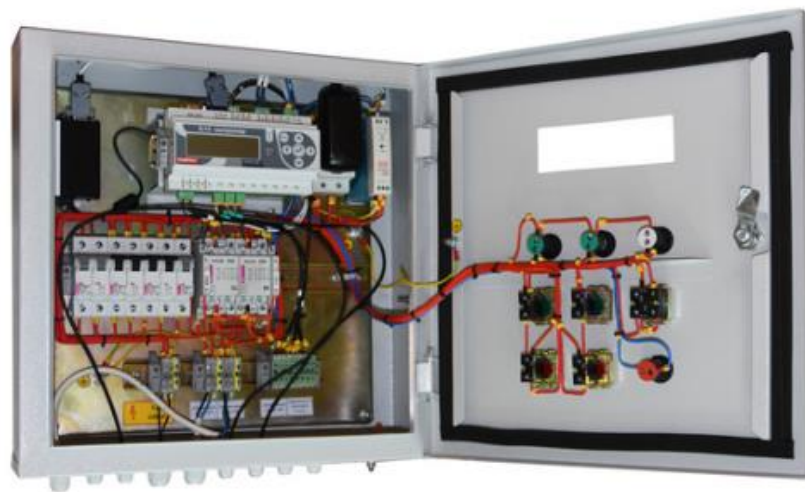


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд контролера

Основними функціями щита управління Sempal є:

- Управління групами насосів для гарячого водопостачання, опалення, вентиляції та підживлення;
- Підтримання необхідного тиску на виході насосного обладнання;
- Зниження пускових струмів і запобігання гідравлічним ударами під час запуску насосів;
- Автоматичне або ручне керування запірно-регулювальними клапанами у системах опалення, вентиляції та ГВП з метою стабілізації температури та захисту від перегріву зворотної води;
- Можливість керування температурними режимами системи безпосередньо з панелі контролера;
- Ведення обліку напрацювання насосного обладнання.

Додатково система оснащена функцією погодного регулювання згідно з опалювальним графіком, що враховує температуру зовнішнього повітря та дозволяє досягти орієнтовної економії енергії на рівні 10%.

Розрахуємо витрати теплової енергії після модернізації ІТП:

$$Q_{\text{мод.}}^{\text{ІТП}} = \left(Q_{\text{після ут.}} \cdot \frac{1}{1,163} \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{n_0 18(t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}})}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} + \frac{n_0 6(t_{\text{нероб.}} - t_{\text{с.о.}})}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \right) \right) \cdot 0,9; \quad (3.26)$$

де $t_{\text{нероб.}}$ – температура в приміщеннях у неробочий час, прийнято на 3 градуси нижче, у період з 23:00 до 5:00;

$$\begin{aligned} Q_{\text{мод.}}^{\text{ІТП}} &= \left(194764 \cdot \frac{1}{1,163} \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{195 \cdot 18 \cdot (21 - 0,7)}{21 - (-25)} + \frac{195 \cdot 6 \cdot (18 - 0,7)}{21 - (-25)} \right) \right) \cdot 0,9 \\ &= 320,7 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}. \end{aligned}$$

Розрахуємо витрат теплової енергії при встановленні щита управління ІТП з погодним регулюванням:

$$E = Q_{\text{рік}}^{\text{існ}} - Q_{\text{мод.}}^{\text{ІТП}}; \quad (3.27)$$

$$E = 370 - 320,7 = 49,3 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Розрахункова вартість заходу, та перелік необхідних матеріалів наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахункова вартість заходу із модернізації ІТП

Найменування	Од. вим.	Кількість	Вартість, грн
Щит автоматизації ІТП Sempal	шт.	1	250 000
Монтажні роботи	-	-	20 000
Разом			270 000

Отримана економія внаслідок реалізації заходу, грн/рік:

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{після}}^{\text{ІТП}} T; \quad (3.28)$$

$$\Delta E = 49,3 \cdot 3675,6 = 134689 \text{ грн/рік}.$$

Простий термін окупності:

$$T = \frac{270\,000}{134\,689} = 2 \text{ роки}.$$

У результаті модернізації індивідуального теплового пункту з установленням щита автоматизації Sempal було досягнуто термін окупності всього за 2 роки. Такий результат

свідчить про високу ефективність заходу та суттєву економію ресурсів. Застосування сучасної системи автоматизації дозволило оптимізувати роботу інженерних систем, зменшити витрати на енергію та забезпечити стабільність температурних режимів у будівлі. Це рішення є економічно обґрунтованим і доцільним з точки зору довгострокової експлуатації.

Захід з енергозбереження №2 – Заміна старих змішувачів на нові сенсорні

Запропонований захід спрямований на підвищення енергоефективності системи водопостачання та зменшення витрат водних ресурсів. Одним із основних компонентів цієї системи є змішувачі, які забезпечують регулювання температури та об'єму подачі води.

Традиційні ручні змішувачі не завжди дозволяють точно контролювати витрати, що часто призводить до перевитрати води. Їх заміна на сучасні сенсорні моделі є ефективним рішенням, оскільки такі пристрої оснащені датчиками руху та температури, що забезпечують автоматичне регулювання подачі води без втручання користувача.

Основні переваги впровадження сенсорних змішувачів:

1. Ефективне використання ресурсів — автоматичне відключення подачі води сприяє зниженню її споживання та витрат на нагрів.
2. Підвищення рівня гігієни — відсутність фізичного контакту з поверхнею змішувача знижує ризик поширення бактерій.
3. Надійність і довгий термін експлуатації — зменшується потреба у частому технічному обслуговуванні.

Згідно з проведеним аналізом, впровадження цього заходу дозволить скоротити споживання води орієнтовно на 25%.

Для заміни було обрано сенсорний змішувач LIDZ CRM900007900 [22].

Середньорічне водоспоживання приймемо на рівні 3230 м³.

Річна економія водоспоживання за рахунок заміни змішувачів, м³/рік:

$$V = 3230 \cdot 0,25 = 807,5 \frac{\text{м}^3}{\text{рік}}.$$

Розрахункова вартість заходу, та перелік необхідних матеріалів наведено в таблиці

Таблиця 3.9 – Розрахункова вартість заходу із заміни змішувачів

Найменування	Од. вим.	Кількість	Вартість, грн
Сенсорний змішувач LIDZ CRM900007900	шт.	16	32 000
Монтажні роботи	-	-	8 000
Разом			40 000

Отримана економія внаслідок реалізації заходу, грн/рік:

$$\Delta E = V \cdot T; \quad (3.29)$$

$$\Delta E = 807,5 \cdot 48 = 38760 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності:

$$T = \frac{40\,000}{38\,760} = 1,03 \text{ роки.}$$

За результатами розрахунків встановлено, що термін окупності заходу із заміни застарілих змішувачів на сенсорні становить приблизно 1 рік. Це демонструє високу ефективність запровадженого рішення у сфері енергозбереження.

Заміна обладнання сприяла суттєвому зниженню витрат води, а також енергії, що використовується для її підігріву.

Короткий термін окупності свідчить про швидке повернення інвестицій та подальше отримання стабільної економії витрат.

Результати підтверджують доцільність цього заходу як раціонального й ефективного способу підвищення енергоефективності та збереження природних ресурсів.

Розрахуємо теплове навантаження будівлі після впровадження всіх попередніх заходів з енергоефективності за формулою:

$$Q_{\text{спож.}} = Q_{\text{роз.}} - \sum_{j=1}^n \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{зах.}}; \quad (3.30)$$

$$Q_{\text{спож.}} = 677 - (205,73 + 100 + 45,3) = 325,97 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Висновки до розділу 3

У результаті проведеного аналізу технічного стану будівлі лікарні та розрахунків тепловтрат було встановлено, що конструкції та інженерні системи

об'єкта потребують підвищення енергоефективності. З метою зниження споживання енергоресурсів та забезпечення комфортних умов експлуатації запропоновано низку енергоефективних заходів.

1. Проведення утеплення зовнішніх стін, що дозволяє значно знизити теплові втрати через огорожувальні конструкції та забезпечити стабільний температурний режим у приміщеннях.
2. Утеплення горищного перекриття, як одного з найбільш уразливих до теплових втрат елементів будівлі, що сприяє покращенню теплозахисту верхньої частини споруди.
3. Модернізація індивідуального теплового пункту шляхом встановлення шафи автоматизації, яка дозволяє ефективно регулювати подачу тепла відповідно до заданих параметрів і зменшити споживання енергії в нічний час.
4. Запровадження сучасних сенсорних змішувачів у системі водопостачання, що сприяє скороченню витрат води та енергії на її підігрів, а також підвищує рівень гігієни.

Реалізація цих заходів дозволить підвищити енергоефективність будівлі лікарні, зменшити експлуатаційні витрати та зробити експлуатацію більш сталою та екологічною.

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

Нормативно-правова база, яка регулює енергоменеджмент у лікарнях України, включає низку важливих документів. Один із ключових – це Закон України №1818-IX «Про енергетичну ефективність» [23]. Він визначає загальні засади політики енергоефективності та обов'язки споживачів і постачальників енергоресурсів у частині підвищення ефективності використання енергії. Згідно із цим законом, медичні заклади, як об'єкти критичної інфраструктури, мають впроваджувати заходи з енергозбереження та забезпечувати належне функціонування систем енергоменеджменту.

Для об'єктів, підпорядкованих Міністерству охорони здоров'я, також діють внутрішні нормативи. Зокрема, наказ МОЗ №50-од від 02.11.2022 «Про затвердження Декларації енергетичної політики» встановлює загальну енергетичну стратегію закладу охорони здоров'я, а наказ №47-од від 01.11.2022 «Про затвердження плану діяльності системи енергоменеджменту» регулює кроки з впровадження енергоменеджменту, включно з моніторингом, аналізом споживання енергії та вдосконаленням систем управління ресурсами.

На рівні стандартів широко використовується ISO 50001. Це міжнародний стандарт, розроблений для впровадження систем енергетичного менеджменту в організаціях. Він дозволяє системно керувати енергетичною ефективністю закладу шляхом визначення пріоритетів, встановлення плану дій, моніторингу споживання та вдосконалення енергетичних показників. У багатьох закладах охорони здоров'я в Україні ISO 50001 уже впроваджено як частину програми оптимізації енергоспоживання.

Протягом останніх років в Україні реалізовано кілька проєктів, спрямованих на впровадження енергоменеджменту саме в лікарнях. Наприклад, у місті Івано-Франківськ створено систему енергомоніторингу для понад 200 будівель медичного призначення. У Львівській області реалізуються тренінги для персоналу лікарень з питань енергетичного менеджменту, а також встановлюються онлайн-платформи для щоденного збору даних про енергоспоживання. Це

дозволяє лікарням не лише оптимізувати витрати, а й приймати стратегічні рішення на основі аналізу споживання.

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

Найбільш дієвим способом покращення енергоменеджменту в медичних установах, таких як Дитяча клінічна лікарня святої Зінаїди в місті Суми, є впровадження сучасних автоматизованих систем обліку та моніторингу споживання енергетичних ресурсів. На сьогодні такі системи дають змогу забезпечити постійний контроль за енергоспоживанням, виявляти втрати, оптимізувати енергоспоживання та зменшити витрати на комунальні послуги.

Доцільним є встановлення інтелектуальних лічильників електроенергії, тепла, гарячої та холодної води з функцією передачі даних в режимі реального часу. Такі лічильники можуть бути інтегровані в єдину систему автоматизованого енергомоніторингу. Дані з усіх приладів надходять до центрального серверу або хмарної платформи, де здійснюється аналіз, візуалізація, формування звітів і попередження про аномалії.

Однією з найперспективніших платформ є рішення компанії Energy Online, яка дозволяє контролювати енергоспоживання в розрізі будівель, зон, систем, або навіть окремих приладів. Платформа надає графіки споживання, виявляє відхилення, дозволяє прогнозувати витрати та проводити бенчмаркінг між будівлями. Завдяки цим можливостям адміністрація лікарні зможе вчасно виявляти неефективне використання ресурсів, запроваджувати коригувальні заходи і контролювати їх вплив.

Для об'єктів охорони здоров'я це особливо важливо, адже стабільне енергопостачання є критичним фактором безпеки. Крім того, наявність системи автоматизованого моніторингу є однією з вимог для участі в програмах енергосервісу (ЕСКО), що дозволяє залучати зовнішні інвестиції на модернізацію енергетичних систем без попередніх витрат з бюджету лікарні.

4.3 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів

У закладах охорони здоров'я все більше застосовують енергоменеджмент, що враховує нормативно-правові вимоги і поточні реалії. В Україні ключовим документом, що регламентує підходи до енергоефективності, є Закон України № 1818-IX «Про енергетичну ефективність», який визначає обов'язкові заходи щодо оптимізації споживання енергії під час виробництва, транспортування, розподілу та споживання природних енергоресурсів. Міжнародні стандарти, зокрема ISO 50001, які стають все більш популярними у медичних установах, закладають системний підхід до управління енергоспоживанням: з формулюванням політики, встановленням цілей, моніторингом показників та регулярною оцінкою досягнутих результатів.

Останніми роками спостерігається зростання інтересу до впровадження енергоефективних систем у лікарнях: за підтримки Міненерго, урядових програм та міжнародних організацій, таких як GIZ, UNDP чи Energy Act Foundation, станом на кінець 2023 року понад 30 медзакладів обладнані сонячними електростанціями зі системами автономного живлення. Наприклад, 26 лікарень у регіонах Києва, Житомира, Волині та Одещини пройшли комплексний аудит і отримали рекомендації для впровадження альтернативних джерел енергії від UNDP під егідою ЄС [24].

Законодавство також стимулює автономну генерацію: кількість лікарень із генераторним та сонячно-акумуляторним резервуванням значно зросла, а встановлені модульні опалювальні блоки допомагають протистояти холодним сезонам. Система «50 Сонячних лікарень» забезпечила електропостачання для 8 медзакладів — крім Конотопу, це Чернігів, Суми, тощо.

Висновки по розділу 4

У розділі було розглянуто особливості розвитку енергоменеджменту в медичних установах, зокрема на прикладі Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди в м. Суми. Проаналізовано чинну нормативно-правову базу, що регламентує вимоги до енергетичної ефективності в закладах охорони здоров'я, включаючи Закон України «Про енергетичну ефективність» та міжнародний стандарт ISO 50001. Визначено, що впровадження системного підходу до енергоспоживання стає критично важливим для закладів критичної інфраструктури, адже забезпечує надійність та безперебійність роботи лікарень в умовах зовнішніх ризиків.

Значну увагу було приділено рекомендаціям щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергоресурсів. Наведено приклади впровадження інтелектуальних систем контролю, як-от Building LogiX, що дозволяють автоматизувати збір даних, аналізувати споживання в реальному часі та формувати оперативні звіти. Такі рішення можуть забезпечити лікарням стабільне енергопостачання, виявлення перевитрат і своєчасне реагування на відхилення.

Також було запропоновано організаційно-управлінські заходи, які передбачають створення енергетичної політики лікарні, призначення відповідальних осіб, впровадження системи звітності та стимулювання персоналу до дотримання принципів енергозбереження. Налагодження партнерства з енергосервісними компаніями, залучення донорських програм та навчання працівників — усе це є ключовими кроками на шляху до ефективного енергоменеджменту.

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

5.1 Комплексний аналіз потенціалу використання вторинних і відновлюваних джерел енергії в умовах медичного закладу

Оцінка можливостей використання вторинних та відновлювальних джерел енергії у дитячій клінічній лікарні св. Зінаїди в м. Суми є важливим кроком до забезпечення сталого енергоменеджменту, зниження залежності від зовнішніх енергоресурсів та підвищення надійності енергопостачання. Особливо актуальним це стає в умовах реалізації сучасних технологій, таких як впровадження когенераційної установки, що здатна працювати у синергії з іншими джерелами енергії для досягнення максимальної ефективності.

Вторинні джерела енергії, як-от теплові потоки з вентиляційних систем, підігрівачів води та охолоджувачів у лабораторіях, можуть бути спрямовані системами рекуперації для часткового забезпечення підігріву приміщень або підготовки гарячої води. Враховуючи наявність природної вентиляції та застарілих теплових вузлів, модернізація з впровадженням теплообмінників дозволила б значно знизити загальні втрати тепла, особливо якщо поєднувати їх із роботою

когенераційної установки, яка виробляє тепло одночасно з електроенергією.

Що стосується відновлюваної енергетики, розглядаються такі джерела:

1. Сонячна енергетика: дах лікарні площею 5 767 м² має потенціал для розміщення сонячних панелей. Для розрахунку ефективності використовуються середньорічні дані про інсоляцію: у Сумах приблизно 2 200 годин сонячного світла на рік, що дозволяє покривати частину електроспоживання. Проте необхідність створення акумуляторної системи і складність інтеграції в автономний режим роботи можуть викликати додаткові витрати на обладнання та зберігання енергії.
2. Мікрогідроенергетика: найближча річка — Псел — розташована на відстані понад 1 км від будівлі. Її швидкість течії та об'єм недостатні для розміщення міні-ГЕС без технічної перебудови та значних інвестицій, що ускладнює економічну доцільність такого рішення для лікарні.
3. Вітроенергетика: міський профіль вітру у Сумах не дозволяє ефективного використання вітростанцій. Розміщення турбін поблизу лікарні викликало би шумове навантаження, що негативно вплинуло б на пацієнтів, особливо в палатах інтенсивної терапії та операційних.

На рисунку 5.1 можна побачити розташування лікарні.

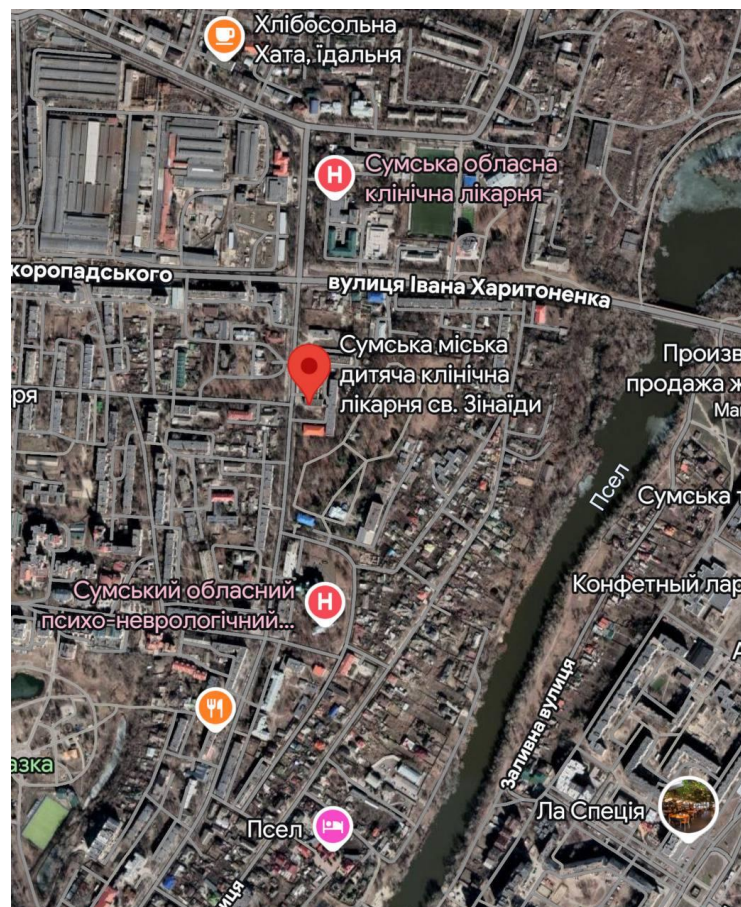


Рисунок 5.1 – Розташування лікарні

Таким чином, найдоцільнішими заходами для підвищення енергоефективності об'єкта вбачаються впровадження когенераційної установки в комбінації з системами рекуперації тепла та частковим використанням сонячної енергетики, що дозволить лікарні працювати стабільно та зниженням витрат на енергоносії.

5.2 Критерії вибору когенераційних установок для лікарень

Енергетичні потреби закладу

Медичні заклади мають постійне, безперервне споживання електроенергії та теплової енергії, що використовується для опалення, вентиляції, приготування гарячої води та живлення критично важливого медичного обладнання. Тому при виборі когенераційної установки важливо чітко проаналізувати середньорічне, середньодобове та пікове навантаження закладу.

Для Дитячої клінічної лікарні св. Зінаїди нормалізоване споживання енергії складає приблизно 1182485 кВт·год на рік, з яких близько 980000 кВт·год – це теплове навантаження. Це вказує на те, що лікарня має великий потенціал для когенерації, оскільки високий рівень споживання тепла та електрики забезпечує належне навантаження на установку і підвищує її ефективність.

Надійність та безперебійність енергопостачання

Критичні об'єкти, такі як лікарні, повинні мати абсолютну гарантію безперебійного енергопостачання, особливо під час відключень або перебоїв у зовнішніх мережах. Когенераційна установка повинна забезпечити автономну роботу життєво важливого медичного обладнання, операційних блоків, реанімацій, систем вентиляції та освітлення.

У Дитячій лікарні є стаціонарне відділення, лабораторії, рентген-кабінети, які потребують гарантованого живлення. Інтеграція когенераційної установки з існуючими аварійними системами живлення дозволяє покращити енергетичну автономність та надійність лікарні.

Економічна ефективність

Для лікарень із обмеженим бюджетом важливо не лише технічне, але й фінансове обґрунтування впровадження когенераційної установки. При оцінці економічної ефективності враховують:

- Вартість встановлення установки.

- Поточні витрати на електроенергію та тепло.
- Вартість палива для когенерації.
- Орієнтовні витрати на обслуговування.
- Термін окупності інвестицій.

У нашому випадку, за результатами розрахунків (проведених на базі фактичного енергоспоживання), термін окупності установки становить приблизно 4–5 років, що в умовах державної лікарні є достатньо прийнятним показником.

Екологічні аспекти

Сучасні когенераційні системи повинні відповідати вимогам екологічного законодавства України та ЄС. Викиди CO₂, оксидів азоту та інших речовин повинні бути мінімальними. Для цього найчастіше використовують природний газ, а іноді й біогаз або водень.

Дитяча лікарня, як заклад, що піклується про здоров'я дітей, повинна дотримуватись принципів екологічної безпеки. Зменшення викидів та перехід на більш екологічне джерело енергії не лише знижує навантаження на навколишнє середовище, але й сприяє формуванню позитивного іміджу установи.

Простота обслуговування та експлуатації

Один із ключових критеріїв вибору когенераційної установки для медичного закладу — зручність експлуатації та обслуговування. Через відсутність у лікарнях вузькопрофільного технічного персоналу, обладнання має бути максимально автоматизованим і простим в управлінні.

Сучасні установки оснащуються системами дистанційного моніторингу та діагностики, які повідомляють про відхилення у роботі чи несправності, що дозволяє своєчасно реагувати без залучення операторів.

Простота технічного обслуговування також критично важлива. Необхідна наявність сертифікованих сервісних центрів у регіоні, які забезпечують оперативний ремонт і планове обслуговування.

Додатковим критерієм є доступність запасних частин — бажано, щоб комплектуючі були стандартними та поширеними на українському ринку. Це зменшує ймовірність тривалих простоїв.

Також важливо враховувати логістику встановлення — модульне виконання когенераційної установки полегшує її інтеграцію в наявну інфраструктуру без масштабної реконструкції систем.

На скільки важливий кожен з перерахованих критеріїв порівняно в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльна таблиця критеріїв вибору

Критерій	Важливість для лікарень
Енергетичні потреби	Висока
Надійність енергопостачання	Критична
Економічна ефективність	Висока
Екологічні аспекти	Середня
Простота обслуговування	Висока

5.3 Аналіз типів когенераційних установок і обґрунтування вибору

У сучасних умовах медичних закладів, які працюють у цілодобовому режимі та мають постійні потреби в теплі й електроенергії, впровадження когенерації є доцільним та економічно виправданим рішенням. Для лікарні необхідно обрати найбільш ефективний, компактний і безпечний тип когенераційної установки.

Газопоршневі когенераційні установки

Цей тип установок працює на основі газопоршневого двигуна внутрішнього згоряння, що виробляє електроенергію, а тепло, яке виділяється в процесі згоряння, використовується для опалення приміщень і підігріву води. Система характеризується високим ККД (до 90%), що забезпечує ефективне використання енергії палива.

Переваги:

- Високий ККД — до 90% при одночасному виробництві електрики та тепла.
- Швидкий запуск і зупинка — дозволяє оперативно реагувати на зміну навантаження.
- Можливість автономної роботи — забезпечує резервне живлення при аваріях.
- Низькі експлуатаційні витрати — доступне обслуговування та недорогі комплектуючі.

Недоліки:

- Потреба в регулярному технічному обслуговуванні (огляд, заміна масел, фільтрів тощо).

- Підвищений рівень шуму — потребує звукоізоляції в умовах лікарні.

Газотурбінні когенераційні установки

Газотурбінні системи виробляють електроенергію за допомогою газової турбіни, а тепло утилізується для обігріву чи технологічних потреб.

Переваги:

- Надійність і довговічність — мінімальна кількість рухомих частин.
- Підходять для великих медичних комплексів — висока потужність і масштабованість.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання і монтажу.
- Зниження ефективності при роботі на неповному навантаженні.

Мікротурбінні когенераційні установки

Мікротурбіни — компактне обладнання, придатне для міських умов, де бракує простору.

Переваги:

- Малі габарити — легко монтуються у вузьких технічних приміщеннях.
- Екологічність — низькі викиди забруднюючих речовин.

Недоліки:

- Нижчий ККД порівняно з газопоршневими аналогами.
- Висока вартість — впливає на термін окупності.

Паротурбінні когенераційні установки

Установки, що використовують енергію пари, виробленої в котлах, для отримання електроенергії й тепла.

Переваги:

- Висока ефективність при великих обсягах споживання тепла.
- Можливість використання різних видів палива (газ, тверде паливо, біомаса).

Недоліки:

- Великі розміри та складна інфраструктура.
- Високі витрати на експлуатацію й обслуговування.

Ураховуючи специфіку дитячої лікарні — обмежені технічні площі, потребу в надійному джерелі тепла й електроенергії, важливість стабільного режиму роботи та швидкого реагування — оптимальним вибором є газопоршнева когенераційна установка. Саме цей тип має найкраще співвідношення

ефективності, вартості, гнучкості та обслуговуваності.

У цьому контексті доцільно обрати модель TEDOM MICRO T30 SP, яка забезпечує [25]:

- можливість автономної роботи та простоту інтеграції в існуючі інженерні мережі;
- заводське виконання в шумозахисному кожусі, що важливо для медичного середовища.

TEDOM MICRO T30 SP є найбільш прийнятним варіантом для впровадження в умовах Дитячої клінічної лікарні святої Зінаїди.

5.4 Обґрунтування вибору параметрів когенераційної установки

Енергетичний профіль Дитячої клінічної лікарні святої Зінаїди вказує на сталі й суттєві навантаження як за електро-, так і теплопостачанням. Згідно з даними програм енергоефективності міста Суми та тендерної документації, електроспоживання закладу щороку перевищує 500 МВт·год, що підтверджує потребу в надійному власному джерелі електроенергії. При цьому теплова енергія, необхідна для опалення та гарячого водопостачання в зимовий період, досягає 200 кВт.

З огляду на ці параметри, установку надпотужного когенераційного обладнання (на 250–300 кВт) було визнано недоцільним — як з точки зору вартості, так і умов розміщення. Пріоритетним стало не повне покриття усіх потреб, а стратегія часткового навантаження із забезпеченням критичних зон енергоспоживання, включно з системами вентиляції, освітлення, медичним обладнанням та адміністративним блоком.

Оцінка техніко-економічної ефективності різних варіантів дозволила встановити, що електрична потужність у межах 30–40 кВт є найбільш виправданою в умовах даного об'єкта. Такий рівень забезпечує:

- компенсацію частини добового електроспоживання без ризику перевантаження систем;
- оптимальну теплову потужність для міжсезонного обігріву або підігріву води;
- зменшення капітальних і експлуатаційних витрат при збереженні енергетичної ефективності;
- можливість використання когенерації як резервного джерела живлення у

випадку відключень.

Таким чином, вибір когенераційної установки з електричною потужністю близько 30 кВт та тепловою потужністю понад 60 кВт є технічно обґрунтованим рішенням, що враховує реальні енергетичні потреби лікарні, просторові обмеження та бюджетні рамки.

5.5 Вибір конкретної когенераційної установки та фінансова оцінка реалізації проєкту

На основі аналізу типів когенераційних технологій, параметрів енергоспоживання лікарні та техніко-економічної доцільності, для встановлення у Дитячій клінічній лікарні св. Зінаїди м. Суми було обрано когенераційну установку TEDOM MICRO T30 SP виробництва Чехії [26].

Обладнання призначене для роботи на природному газі та забезпечує одночасне виробництво теплової та електричної енергії. Система ідеально підходить для лікарень малого та середнього розміру, оскільки має високий ККД, компактні розміри, знижену шумність та повну автоматизацію.

Технічні характеристики TEDOM MICRO T30 SP подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Технічні характеристики TEDOM MICRO T30 SP [26]

Параметр	Значення
Тип двигуна	Газопоршневий, ВЗ внутрішнього згоряння
Паливо	Природний газ
Електрична потужність	30 кВт
Теплова потужність	61 кВт
ККД загальний	До 90%
Система охолодження	Водяна
Температура теплоносія	~90 °C
Габарити (Д×Ш×В), мм	2100 × 800 × 1500
Маса	1200 кг
Рівень шуму	70 дБ (в шумозахисному кожусі)

Орієнтовні витрати на реалізацію проєкту

Загальні інвестиційні витрати формуються за формулою:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{облад}} + C_{\text{дост}} + C_{\text{проєкт}} + C_{\text{монтаж}} + C_{\text{підключ}} + C_{\text{ізоляц}} + C_{\text{резерв}}, \quad (5.1)$$

де

$C_{\text{облад}}$ — вартість обладнання;

$C_{\text{дост}}$ — доставка та розмитнення;

$C_{\text{проект}}$ — проєктні роботи;

$C_{\text{монтаж}}$ — монтажні та пусконаладжувальні роботи;

$C_{\text{підключ}}$ — підключення до мереж;

$C_{\text{ізоляц}}$ — шумоізоляція;

$C_{\text{резерв}}$ — резервний фонд (10% від суми основних витрат).

Підставимо значення:

$$\begin{aligned} C_{\text{заг}} &= 2100000 + 150000 + 80000 + 250000 + 120000 + 50000 + 275000 \\ &= 3025000 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Річна економія від впровадження установки

Очікувана економія формується за рахунок заміщення частини споживаної електроенергії та тепла. Для спрощеного розрахунку візьмемо лише електроенергію:

- Середня ціна 1 кВт·год електроенергії для бюджетних установ — 4,32 грн [3]
- Потужність установки — 30 кВт
- Середній час роботи — 5 000 год/рік

Тоді:

$$E_{\text{економ}} = P \cdot T \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.2)$$

$$E_{\text{економ}} = 30 \cdot 5000 \cdot 4,32 = 900\,000 \text{ грн/рік.}$$

(Зауваження: ця цифра – теоретичний максимум. Для консервативної оцінки беремо 60% завантаження:)

$$E_{\text{реал}} = 0,6 \cdot E_{\text{економ}}, \quad (5.3)$$

$$E_{\text{реал}} = 0,6 \cdot 900\,000 = 540\,000 \text{ грн/рік.}$$

Розрахунок терміну окупності

Простий термін окупності:

$$T = \frac{C_{\text{заг}}}{E_{\text{реал}}}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{3\,025\,000}{540\,000} = 5,6 \text{ років.}$$

Встановлення когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP у лікарні є доцільним з економічної точки зору. Розрахований простий термін окупності становить лише 5,6 років, що є прийнятним для інфраструктурного енергетичного проєкту такого масштабу. Завдяки щорічній економії в 540 000 грн, лікарня отримає суттєве зниження витрат на енергозабезпечення. Крім того, установка дозволить підвищити енергоефективність, забезпечити часткову енергонезалежність та покращити екологічні показники за рахунок використання природного газу як палива.

Висновки по розділу 5

У п'ятому розділі було проведено комплексний аналіз можливостей впровадження когенераційної установки в Дитячій клінічній лікарні св. Зінаїди з урахуванням існуючого енергетичного стану будівлі, її потреб у тепловій та електричній енергії, а також технічних і фінансових обмежень.

Результати оцінки вторинних і відновлюваних джерел енергії свідчать, що найбільш доцільним рішенням є впровадження газопоршневої когенераційної установки як основного джерела автономного енергозабезпечення. Це дозволяє одночасно виробляти електричну та теплову енергію, суттєво знижуючи залежність лікарні від централізованих мереж.

На основі аналізу критеріїв вибору та порівняння різних типів когенераційних технологій, обрано установку TEDOM MICRO T30 SP як оптимальну для умов експлуатації в лікарні.

Також було обґрунтовано, що рекомендована потужність когенераційної установки для покриття потреб об'єкта має становити 80–100 кВт електричної та 140–180 кВт теплової енергії, що забезпечує надійне енергопостачання навіть у пікові періоди.

Запропоноване рішення дозволяє покращити енергоефективність будівлі, підвищити рівень енергетичної незалежності та скоротити експлуатаційні витрати на енергоносії.

ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

6.1 Загальна характеристика об'єкта

Об'єктом, на якому планується встановлення когенераційної установки, є Комунальне некомерційне підприємство "Дитяча клінічна лікарня Святої Зінаїди" Сумської міської ради, що розташоване за адресою: м. Суми, вул. Троїцька, 28. Медичний заклад функціонує у цілодобовому режимі, забезпечуючи надання стаціонарної та амбулаторної допомоги дітям.

У рамках підвищення енергоефективності закладу планується встановлення модульної когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP на базі газопоршневого двигуна внутрішнього згоряння (рис. 6.1).

Характеристики вибраної когенераційної установки занесені до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Загальні характеристики когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP [26]

Параметр	Значення
Тип двигуна	Внутрішнього згоряння, газовий
Потужність електрична	30 кВт
Потужність теплова	61 кВт
Паливо	Природний газ
ККД загальний	~90%
Частота обертання	1500 об/хв
Система охолодження	Водяна
Температура теплоносія	~90 °C
Габарити (Д×Ш×В), мм	2100 × 800 × 1500
Маса	1200 кг
Рівень шуму	70 дБ (в шумозахисному кожусі)

Мета встановлення – зменшення витрат на електро- та теплопостачання лікарні, підвищення енергетичної автономності, забезпечення резервного живлення у разі аварійних ситуацій, а також оптимізація навантаження на централізовані мережі.



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд установки TEDOM MICRO T30 SP [26]

6.2 Визначення обсягів і послідовності робіт

Встановлення когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP на території КНП «Дитяча клінічна лікарня Святої Зінаїди» потребує проведення ряду електромонтажних, теплотехнічних та пусконаладжувальних робіт.

Склад бригади з виконання робіт:

- Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування — III група з електробезпеки;
- Слюсар з контрольно-вимірювальних приладів і автоматики — II група з електробезпеки;
- Теплотехнік або монтажник теплотехнічного обладнання — II група з електробезпеки;
- Інженер з охорони праці — відповідальний за безпечне виконання робіт.

Послідовність та обсяг виконання робіт:

1. Підготовчі роботи

- Узгодження розміщення установки з урахуванням доступу, вентиляції, газо- та електропостачання [27].
- Визначення місць прокладання кабельних трас, трубопроводів теплопостачання.
- Забезпечення відключення струмоведучих частин.

2. Монтажні роботи

- Доставка та встановлення установки на підготовлену основу.
- Підключення до газопроводу з монтажем редуктора, запірної арматури, запобіжного клапана.
- Прокладання електричних кабелів живлення та автоматики [28].
- Підключення теплообмінника до системи опалення/ГВП.
- Встановлення автоматики контролю та захисту.

3. Пусконаладжувальні роботи

- Перевірка герметичності систем газу та води.
- Перевірка параметрів електрозахисту.
- Пробний запуск установки.
- Регулювання роботи когенераційної системи відповідно до вимог заводу-виробника.

4. Тестування і передача в експлуатацію

- Вимірювання фактичних показників теплової та електричної потужності.
- Інструктаж персоналу закладу.
- Складання технічного звіту та передача установки в експлуатацію.

Період і тривалість виконання робіт:

- Підготовчі роботи — 2 робочі дні
- Монтажні роботи — 5 робочих днів
- Пусконаладження та введення в експлуатацію — 3 робочі дні
- Загальна тривалість — 10 календарних днів

Вимоги до кваліфікації електротехнічних працівників:

Усі електротехнічні працівники, допущені до робіт, повинні мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [30]. Роботи, що проводяться під напругою, виконуються лише особами з III групою допуску, які пройшли перевірку знань і мають посвідчення.

6.3 Визначення показників умов праці

Під час монтажу та експлуатації когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP на території медичного закладу формуються як загальні, так і локальні виробничі умови. До основних робіт належать монтажні, електротехнічні, пусконаладжувальні та сервісні роботи, що проводяться на обмеженій площі з

наявністю теплового, електричного і шумового впливу.

Для оцінки умов праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які згруповано в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Групи чинників, що зумовлюють шкідливість умов праці [31]

Об'єкти спостереження	Основні характеристики	Числове значення показника / примітка
Робоче місце монтажника	Площа не менше 3 м ² , доступ з двох боків	3 м ²
Освітлення (штучне)	Не менше 400 лк	400 лк
Фізичні навантаження	Стояча поза, підйом інструментів, вага до 15 кг	20 підйомів і спусків
Психоемоційна напруга	Зосереджена увага при роботі з обладнанням	70–80% робочого часу
Температура повітря	+15...25°C	Нормовані значення
Вологість повітря	40...60%	Нормовані значення
Рівень шуму	до 70 дБ (в межах допустимого) [32]	Граничний рівень — 80 дБ
Контакт з електричним струмом	до 10 А (при короткому замиканні)	Підключення лише після знеструмлення [30]
Можливість падіння з висоти	Виконання робіт з драбини	Висота 1,5–2 м
Наявність гарячих поверхонь	Поверхні газопроводу та двигуна	Температура поверхонь до 90°C
Доступ до аптечки / вогнегасника	Необхідна наявність поряд з робочим місцем	1 аптечка, 1 вогнегасник на місці [33]

6.4 Оцінювання ризиків на робочому місці

У процесі встановлення когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP на території лікарні визначено потенційні ризики, які можуть виникати під час монтажних, електротехнічних та пусконаладжувальних робіт [34]. Основні ризики: контакт з електричним струмом, шум, перегрів обладнання, обмежений

доступ у разі аварійних ситуацій.

Для кожного чинника було визначено:

- ймовірність виникнення (P) — від 1 (низька) до 5 (висока);
- тяжкість наслідків (C) — від 1 (легкі наслідки) до 5 (летальні, критичні);
- рівень ризику ($R = P \times C$) — з поділом на категорії: 1–4 — низький, 5–9 — середній, 10–25 — високий [35].

Результати занесені до табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Визначення ризиків та рекомендовані заходи [34]

Небезпечний чинник	Ймовірність (1–5)	Тяжкість наслідків (1–5)	Рівень ризику (P×C)	Категорія ризику	Рекомендовані заходи
Контакт з електричним струмом	3	5	15	Високий	Знеструмлення перед роботами, засоби захисту
Падіння з висоти під час монтажу	2	4	8	Середній	Використання страхувальних поясів, драбин
Опік від гарячих поверхонь установки	3	3	9	Середній	Позначення гарячих зон, спецодяг [36]
Ураження газом у разі витoku	2	5	10	Середній	Перевірка герметичності, газоаналізатор
Шумове навантаження	2	2	4	Низький	Використання навушників, обмеження перебування
Недостатнє освітлення	3	2	6	Низький	Встановлення додаткових джерел світла
Неправильне підключення автоматики	2	4	8	Середній	Залучення кваліфікованого електрика, перевірка за схемами

На основі таблиці встановлено, що:

- Найвищий ризик становить контакт з електричним струмом ($R = 15$) — вимагає чіткої регламентації, допуску за III групою з електробезпеки, обов’язкового

знеструмлення.

- Падіння з висоти, витік газу та некоректне підключення автоматики — середній ризик.
- Шумове навантаження та освітлення — оцінено як низький ризик, але потребують контролю.

6.5 Вибір технічних, організаційних, ЗІЗ засобів безпеки

З метою забезпечення безпечного виконання робіт з монтажу та експлуатації когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP, розроблено комплекс технічних, організаційних заходів, а також визначено необхідні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Технічні заходи:

- Ізоляція струмопровідних частин — застосування кабелів з ПВХ-ізоляцією [37];
- Заземлення обладнання — згідно з ПУЕ та вимогами до електробезпеки [28];
- Установлення автоматичних вимикачів та УЗО — для захисту персоналу від ураження струмом;
- Застосування шумозахисного кожуха — зменшення шумового навантаження;
- Вогнегасники (ОП-5) — розміщення поблизу об'єкта установки [33].

Організаційні заходи:

- Проведення інструктажу з охорони праці та електробезпеки [37];
- Допуск до робіт за нарядом-допуском (терміном до 10 діб);
- Розміщення попереджувальних табличок: «Не вмикати! Ведуться електромонтажні роботи», Знак небезпеки у зоні підключення;
- Забезпечення нагляду за виконанням робіт інженером з охорони праці.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Рукавички
 1. Призначення: захист рук від механічних пошкоджень [36]
 2. Матеріал: поліестер з бавовною
- Окуляри захисні
 1. Призначення: захист очей від пилу, уламків, іскор
 2. Матеріал: полікарбонат, подвійне скло
- Каска захисна

1. Призначення: захист голови від падіння предметів та ураження струмом
 2. Матеріал: ударостійкий полікарбонат, діелектричний захист
- Біруші або навушники протишумові
 1. Призначення: зниження впливу шуму від двигуна
 2. Матеріал: м'яка піна або силікон
 - Захисне взуття
 1. Призначення: захист від ударів і електричного струму
 2. Тип: діелектричні черевики зі сталевим носком.

6.6 Вибір системи захисту від пожеж і вибухів на енергетичного об'єкту

У зв'язку з наявністю джерел підвищеної пожежонебезпеки (електрообладнання, двигун внутрішнього згорання, газопровід), місце встановлення когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP підлягає оснащенню відповідними системами пожежного захисту.

Основні засоби і заходи пожежної безпеки:

- Встановлення вогнегасника ОП-5 поблизу установки, з терміном дії до 10 років, температурний діапазон експлуатації від -20 до $+50$ °C [33];
- Забезпечення природної та примусової вентиляції для запобігання скупченню горючих газів;
- Наявність інструкцій з дій у разі пожежі та навчання персоналу;
- Щоквартальна перевірка технічного стану вогнегасників;
- Заборона куріння та відкритого вогню в радіусі 5 м від установки.

Інформацію про заходи наведено у табл. 6.4

Таблиця 6.4 – Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки на енергетичному об'єкті

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічний		
Порошковий вогнегасник	ОП-5. Термін експлуатації — 10 років. Діапазон робочих температур: $-20^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$.	Сертифікований засіб пожежогасіння для електроустановок до 1000 В.
Організаційний		

План обслуговування та експлуатації когенераційної установки відповідно до вимог пожежної безпеки.	Забезпечення виконання протипожежних вимог та дотримання приписів та постанов, виданих органами державного пожежного нагляду [37].	Відповідальним є фахівець з охорони праці медичного закладу.
--	--	--

6.7 Розрахунок базового ризику

У рамках протипожежного захисту енергетичного об'єкта (когенераційної установки) виконуємо оцінку ефективності технічного заходу — встановлення вогнегасника ОП-5 у зоні установки [33].

Для цього використаємо метод оцінки базового ризику ($R_{\text{баз}}$) за спрощеною формулою:

$$R_{\text{баз}} = \frac{P \cdot C}{E} \quad (6.1)$$

де

P — імовірність виникнення події (0...1);

C — очікувані наслідки (в балах від 1 до 10);

E — ефективність запобіжного заходу (коефіцієнт зменшення ризику, від 1 до 10).

Вихідні дані:

- $P = 0,3$ (ймовірність займання через перегрів або коротке замикання);
- $C = 8$ (значні матеріальні збитки без втрат життя);
- $E = 4$ (ефективність ОП-5 згідно ДСТУ EN 3-7:2010 — знижує наслідки до середнього рівня у закритих приміщеннях [33]).

Розрахунок:

$$R_{\text{баз}} = \frac{0,3 \cdot 8}{4} = 0,6$$

Значення базового ризику $R_{\text{баз}} = 0,6$ вказує на те, що ризик залишився, але його рівень знижено до прийнятного. У разі комбінування заходів (сигналізація + вогнегасник) цей показник може бути знижений до рівня $< 0,3$, що вважається низьким ризиком.

Висновки по розділу 6

У даному розділі було всебічно розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки, які виникають під час монтажу та експлуатації когенераційної

установки TEDOM MICRO T30 SP на території КНП «Дитяча клінічна лікарня Святої Зінаїди» у м. Суми.

Проведено загальну характеристику об'єкта та описано технічні параметри установки, яка є джерелом підвищеної небезпеки через використання електричної енергії, пального газу та теплового обладнання. Було визначено склад бригади, тривалість і послідовність робіт, а також встановлено вимоги до кваліфікації електротехнічних працівників.

У ході аналізу умов праці визначено основні шкідливі та небезпечні чинники, серед яких — контакт з електричним струмом, шум, висока температура поверхонь, виконання робіт на висоті. Здійснено оцінювання рівнів ризику за допомогою кількісного методу, а також визначено категорії ризику і рекомендовані профілактичні заходи.

Запропоновано технічні та організаційні засоби безпеки, а також комплекс засобів індивідуального захисту, які забезпечують безпечне виконання робіт. Здійснено вибір систем пожежного захисту (вогнегасники, вентиляція, заборона відкритого вогню), що відповідають вимогам чинних нормативів.

Окремо виконано розрахунок ефективності технічного заходу — встановлення вогнегасника ОП-5, за результатами якого рівень ризику знижено до прийняттого значення ($R_{\text{баз}} = 0,6$), що підтверджує доцільність і ефективність вжитих заходів.

Таким чином, реалізація розроблених заходів охорони праці та пожежної безпеки дозволяє забезпечити безпечні умови праці персоналу та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій під час впровадження когенераційної установки.

ВИСНОВКИ

У рамках дипломного бакалаврського проекту було проведено всебічне дослідження енергоспоживання будівлі Комунальної установи «Дитяча клінічна лікарня Святої Зінаїди» в місті Суми з метою підвищення її енергоефективності. Під час роботи здійснено енергетичний аудит, в межах якого проаналізовано структуру споживання електричної та теплової енергії, стан інженерних систем, визначено основні енергоспоживачі, а також виявлено недоліки в системі енергоменеджменту.

На основі зібраних даних були розроблені комплексні заходи з енергозбереження для електричної частини будівлі:

1. Модернізація внутрішнього освітлення – дозволяє зекономити 3801 кВт·год/рік.
2. Встановлення датчиків руху на сходових клітинах – забезпечує економію в розмірі 1212 кВт·год/рік.
3. Модернізація вуличного освітлення – дозволяє знизити споживання на 2592 кВт·год/рік.
4. Регулювання роботи бойлерів у нічний час за допомогою таймерів – дає можливість економити 2866,5 кВт·год/рік.

Загальна очікувана економія електроенергії від запропонованих заходів становить 10471,5 кВт·год/рік, що є суттєвим внеском у зменшення енерговитрат лікарні.

У тепловій частині були обґрунтовані наступні заходи:

1. Утеплення зовнішніх стін – 205,73 Гкал/рік.
2. Утеплення даху – 100 Гкал/рік.
3. Модернізація індивідуального теплового пункту (ІТП) – 49,3 Гкал/рік.
4. Встановлення когенераційної установки TEDOM MICRO T30 SP – 325,97 Гкал/рік.

Запропоноване когенераційне рішення має простий термін окупності 5,6 років, що підтверджує його економічну доцільність і довгострокову ефективність.

Окремим напрямком розглянуто заходи зі зменшення водоспоживання – шляхом встановлення сенсорних змішувачів із потенційною економією до 1250 м³/рік.

Загалом результати дипломного проєкту свідчать, що впровадження запропонованих заходів дозволить значно зменшити енергоспоживання, підвищити рівень енергоефективності лікарні та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, забезпечивши комфортні умови перебування пацієнтів і персоналу. Економічна доцільність заходів підтверджена прийнятними термінами окупності, а самі рішення можуть бути масштабованими для інших медичних установ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Дитяча клінічна лікарня св. Зінаїди м. Суми. Паспорт будівлі та технічна документація](#)
2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Комунальні тарифи в Україні. Дані про споживання електроенергії та теплоенергії для бюджетних установ](#)
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [ДТЕК «Київські електромережі». Тарифи на електроенергію для бюджетних установ](#)
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіон України, 2016. 45с.
5. ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2018. 61 с.
6. Шовкалюк М. М., Яценко О. І. : Енергозбереження будівель та споруд. Розрахункова робота. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. 57 с.
7. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Київ : ДП НДІБК, 2018. 137 с.
8. Г. Фаренюк, Є. Фаренюк, П. Павлюк, Є. Колесник : Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Київ : Мінрегіон України, 2014. 55с.
9. Комунальні тарифи [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/>.
10. ДТЕК «Київські електромережі» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dtek-kem.com.ua/ua>.
11. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : ДП НДІБК, 2022. 27 с.
12. [LED світильники](#) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/hreoy>.
13. Датчик руху [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bezpeka-shop.com/product/datchik-dvizheniya-pyronix-colt->

[qpi/](#).

14. Зовнішня LED лампа [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/hvkat>.
15. Добовий таймер [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/hvkcq>.
16. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2021. 67 с.
17. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 63 с.
18. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Київ : ДП НДІБК, 2011. 127 с.
19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [Мінеральна вата](#)
20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [Базальтовий утеплювач](#)
21. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [Модернізація ІТП SEMPAL](#)
22. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [Сенсорний змішувач](#)
23. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [Закон України №1818-IX «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 р.](#)
24. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [UNDP Ukraine. “Modernisation of energy systems in medical institutions with support from UNDP and the EU.”](#)
25. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Методичні рекомендації щодо впровадження когенераційних установок \(Держенергоефективності, 2020\)](#)
26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Офіційний каталог TEDOM: <https://www.tedom.com>
27. ДБН В.1.1-7:2016 “Пожежна безпека об’єктів будівництва”
28. НПАОП 40.1-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”
29. ДБН В.2.5-77:2014 “Інженерне обладнання будівель і споруд.

Електропостачання”

30. ДБН В.2.5-77:2014 "Інженерне обладнання будівель і споруд”
31. НПАОП 0.00-1.28-10 “Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці”
32. ДСН 3.3.6.042-99 “Державні санітарні норми шуму на робочих місцях”
33. ДСТУ EN 3-7:2010 “Портативні вогнегасники. Характеристики, вимоги до експлуатації”
34. НПАОП 0.00-7.11-12 “Порядок проведення оцінки ризиків”
35. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Метод Елмері оцінки професійного ризику](#)
36. ДСТУ EN 388:2017 "Захисні рукавички від механічних ризиків"
37. НПАОП 0.00-5.01-07 “Правила пожежної безпеки в Україні”
38. Третьякова Л. Д.: Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та пожежна безпека» у дипломному проекті. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 60 с.