

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Модернізація енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням відновлювальних джерел енергії»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ГН-341мп

Буркуш Юлія Вадимівна

Науковий керівник д.т.н. доц. Находов В.Ф.

Нормаконтроль Прокопенко Ірина Дмитрівна

Рецензент _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
*Буркуш Юлія Вадимівна***

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Модернізація енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням відновлюваних джерел енергії»
науковий керівник дисертації д-р.техн.наук, професор Бориченко О.В. __,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені *Наказ 47.50-с від 03.11.25*
2. Строк подання студентом дисертації 19 грудня 2025 року
3. Об'єкт дослідження військові об'єкти України, що функціонують та використовують паливно-енергетичні ресурси.
4. Предмет дослідження є огляд, розробка та впровадження заходів з енергетичної ефективності функціонування військового госпіталю.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити проведення аналізу структури, динаміки та особливостей військових об'єктів в Україні; розробка та впровадження заходів з метою поліпшення енергетичної ефективності та переходу на енергоощадливість.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація, яка подає наочні матеріали з результатами дослідження, методи розрахунків та таблиці з значеннями.
7. Орієнтовний перелік публікацій Розробки і публікації
8. Консультанти розділів дисертації
Нормоконтроль
9. Дата видачі завдання 1 листопада 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за обраною темою	16.09.2025	
2	Характеристика військового об'єкту та систем енергоменеджменту	30.09.2025	
3	Характеристика інженерних систем госпіталю	14.10.2025	
4	Аналіз споживання енергоресурсів об'єкту дослідження	28.10.2025	
5	Розрахунок заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності	14.11.2025	
6.	Розробка стартап проєкту	28.11.2025	
7.	Оформлення дисертації	13.12.2025	
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	17.12.2025	
9.	Передзахист МД	19.12.2025	
10.	Захист дисертації	23.12.2025	

Студент

(підпис)

Буркуш Ю.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Находов В.Ф.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг роботи. Магістерська робота на тему «Модернізація енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням відновлюваних джерел енергії» містить вступ, чотири розділи, висновки та список використаних джерел. Загальний обсяг – 77 сторінка, включно з 10 рисунками, 17 таблицями та 20 джерелами у бібліографії.

Актуальність теми. Сучасні вимоги до енергетичної безпеки й енергоефективності медичних закладів, зокрема військових госпіталів, є надзвичайно високими. Підвищення ефективності виробництва, розподілу та використання енергоресурсів — важливий елемент державної енергетичної стратегії, що спрямована на інтеграцію нових технологічних підходів і зменшення залежності від традиційних джерел енергії.

Вдосконалення енергетичної інфраструктури медичних установ має значний потенціал не лише у сфері технологій, але й в організації, плануванні та контролі витрат енергоресурсів. Ураховуючи високі енергозатрати військових госпіталів та необхідність їх безперебійної роботи, впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) стає стратегічно важливим напрямом.

Попри розвиток нормативної бази щодо енергоефективності, практичні заходи з переходу на ВДЕ в медичній сфері застосовуються недостатньо активно. Це створює потребу в розробленні науково обґрунтованих підходів до модернізації енергетичної інфраструктури, оптимізації витрат та узгодження національних стандартів із міжнародним досвідом.

Зв'язок роботи з науковими програмами та проєктами. У дослідженні розглядається комплексна модернізація енергетичної системи військового госпіталю із застосуванням відновлюваних джерел енергії. Основна увага приділена раціональному споживанню енергоресурсів, оцінці поточного стану енергетичної інфраструктури, вибору оптимальних рішень та впровадженню енергоефективних технологій. Модернізована система має сприяти реалізації стратегії сталого розвитку енергетичного сектору та забезпеченню безперебійної роботи критично важливих об'єктів медицини.

Мета дослідження. Метою магістерської роботи є обґрунтування теоретичних підходів і розробка практичних методів модернізації енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням ВДЕ. Завданнями дослідження є:

- аналіз структури та особливостей енергоспоживання військового госпіталю;

- створення концепції інтеграції відновлюваних джерел енергії у його енергосистему;
- розроблення варіантів технічних рішень модернізації;
- формування критеріїв вибору обладнання та тарифних моделей постачання енергоресурсів;
- розроблення методичних рекомендацій щодо використання ВДЕ у медичних закладах критичної інфраструктури.

Об’єкт дослідження. Військовий госпіталь як комплексний споживач енергоресурсів, що потребує стабільного та ефективного енергозабезпечення.

Предмет дослідження. Організаційно-економічні та технічні умови, що виникають під час модернізації енергетичної інфраструктури із застосуванням відновлюваних джерел енергії.

Методи дослідження. Методологічну основу становлять:

- теоретичний аналіз — для систематизації знань щодо використання ВДЕ у сфері медичних закладів;
- розрахунково-аналітичні методи — для оцінки ефективності технічних рішень на прикладі військового госпіталю.

Практичне значення результатів. Розроблені рекомендації можуть бути застосовані при проєктуванні та модернізації енергосистем військових і цивільних медичних закладів. Запропоновані методи дадуть змогу зменшити витрати на енергоресурси, підвищити надійність енергозабезпечення та сприяти переходу до енергоефективної інфраструктури.

Ключові слова. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВІЙСЬКОВИЙ ГОСПІТАЛЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, СТАЛИЙ РОЗВИТОК.

ABSTRACT

Structure and volume of the thesis. The master's thesis titled "Modernization of the energy infrastructure of a military hospital using renewable energy sources" includes an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references. The total volume is 77 pages, containing 10 figures, 17 tables, and 20 bibliographic sources.

Relevance of the topic. Modern requirements for energy security and energy efficiency in medical institutions, particularly military hospitals, are extremely high. Improving the efficiency of energy production, distribution, and consumption is a key component of the national energy strategy aimed at integrating advanced technological solutions and reducing dependence on traditional energy sources.

Enhancing the energy infrastructure of medical facilities has great potential not only in terms of technology but also in planning, organizing, and managing energy resource consumption. Considering the high energy needs of military hospitals and their need for uninterrupted operation, integrating renewable energy sources (RES) becomes a strategically important direction.

Despite the development of legislation in the field of energy efficiency, practical implementation of renewable energy solutions in healthcare remains insufficient. This creates the need for scientifically grounded approaches to modernizing energy infrastructure, optimizing resource consumption, and aligning national standards with international best practices.

Relation to scientific programs and projects. The research focuses on comprehensive modernization of a military hospital's energy system through the implementation of renewable energy technologies. The work emphasizes rational energy consumption, assessment of existing infrastructure, identification of optimal modernization pathways, and introduction of energy-efficient technological solutions. The updated system is expected to support the national strategy for sustainable energy development and ensure stable operation of critical medical facilities.

Research aim. The aim of the master's thesis is to substantiate theoretical approaches and develop practical methods for modernizing a military hospital's energy infrastructure with the use of renewable energy sources. The specific tasks include:

analyzing the structure and characteristics of energy consumption in a military hospital; developing a concept for integrating renewable energy into the hospital's energy system; designing technical modernization options; forming criteria for selecting equipment and tariff models for energy procurement; developing methodological recommendations for applying renewable energy in critical healthcare institutions.

Object of research. A military hospital as a complex consumer of energy resources requiring stable and efficient energy supply.

Subject of research. Organizational, economic, and technical conditions arising during the modernization of energy infrastructure using renewable energy sources.

Research methods. The methodological foundation includes: theoretical analysis — to systematize knowledge on RES implementation in medical institutions; calculation and analytical methods — to evaluate the effectiveness of technical solutions using the military hospital as a case study.

Practical significance. The developed recommendations can be applied in designing and modernizing energy systems of both military and civilian medical facilities. The proposed methods will reduce energy procurement costs, increase reliability of energy supply, and support the transition to an energy-efficient infrastructure.

Keywords. ENERGY SYSTEM MODERNIZATION, RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY EFFICIENCY, MILITARY HOSPITAL, ENERGY SAVING, ENERGY SECURITY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІЙСЬКОВОГО ГОСПІТАЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ВДЕ.....	
1.1 Сучасний стан та проблематика функціонування енергетичної інфраструктури медичних і комунальних будівель	
1.2 Роль системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) у підвищенні ефективності енергоспоживання	
1.3 Нормативно-правове та методологічне забезпечення модернізації енергетичної інфраструктури.....	
1.4 Особливості енергоспоживання військових госпіталів та їх порівняння з іншими типами будівель.....	
1.5 Технологічні можливості та перспективи використання відновлюваних джерел енергії у військових госпіталях.....	
1.6 Концепція енергетичної стійкості та автономності об'єктів критичної інфраструктури.....	
1.7 Методологічні підходи до оцінювання ефективності модернізації енергетичної інфраструктури.....	
1.8 Економічні та соціальні аспекти впровадження ВДЕ у військових госпіталях.....	
1.9 Інтеграція гібридних енергетичних систем у військових госпіталях.....	
1.10 Використання цифрових технологій та IoT для моніторингу енергоспоживання.....	
1.11 Методи підвищення енергоефективності інженерних систем госпіталю.....	
1.12 Кліматичні та географічні аспекти вибору ВДЕ.....	
1.13 Підготовка персоналу та навчання для ефективного енергоменеджменту.....	
1.14 Ризики та безпекові аспекти впровадження ВДЕ у військових госпіталях.....	

1.15 Стратегії поетапної модернізації енергетичної інфраструктури

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВІЙСЬКОВОГО ОБ'ЄКТУ

2.1 Короткий опис об'єкту практики (військової частини)

2.1.1 Основні проблеми об'єкту дослідження

2.2 Опис інженерних мереж та систем життєзабезпечення

2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні роки

2.4 Формування балансу споживання електричної енергії військового об'єкту

2.4.1 Детальний розрахунок споживання за обладнанням

2.4.2 Баланс споживання за підгрупами

2.4.3 Візуалізація балансу споживання

2.5 Характеристика та розрахунок електричного навантаження об'єкту

2.6 Формування теплового балансу будівель військового об'єкту

2.7 Заходи з підвищення енергоефективності військового об'єкту

2.8 Детальний аналіз огорожувальних конструкцій будівель військового об'єкту

2.8.1 Характеристика зовнішніх стін

2.8.2 Аналіз покрівлі та перекриттів

2.8.3 Віконні та дверні конструкції

2.9 Аналіз інфільтрації повітря та втрат тепла

2.10 Детальний аналіз системи опалення

2.11 Аналіз ефективності котельного обладнання

2.12 Аналіз систем вентиляції

2.13 Аналіз електроспоживання за часовими зонами

2.14 Аналіз надійності електропостачання

2.15 Потенціал впровадження ВДЕ

2.16 SWOT-аналіз енергетичного стану об'єкту

Висновок до розділу 2.....	
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	
3.1 Модернізація системи освітлення	
3.2 Модернізація насосного обладнання та циркуляційних систем	
3.3 Впровадження сонячної електростанції (СЕС)	
3.4 Комплексний підсумок економічного ефекту.....	
3.5 Загальні інвестиції та фінансові показники.....	
3.6 Чутливість — вплив зміни тарифу електроенергії.....	
3.7 Аналіз надійності, експлуатаційної ефективності та впливу енергоефективних заходів на безперервність роботи об’єкта.....	
3.8 Оцінка впливу термомодернізації на тепловий комфорт та мікроклімат приміщень.....	
3.9 Екологічна оцінка реалізації енергоефективних заходів.....	
3.10 Соціально-економічні аспекти впровадження заходів енергоефективності.....	
3.11 Аналіз ризиків та обмежень при впровадженні енергоефективних заходів.....	
3.12 Поетапність реалізації комплексу енергоефективних заходів.....	
3.13 Порівняльний аналіз альтернативних варіантів підвищення енергоефективності.....	
3.14 Можливі механізми фінансування енергоефективних заходів.....	
3.15 Перспективи подальшого розвитку системи енергоменеджменту об’єкта	
Висновки до Розділу 3	
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ «ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА СИСТЕМ АВТОНОМНОСТІ У ВІЙСЬКОВОМУ ГОСПІТАЛІ»	
4.1 Характеристика ідеї стартап-проєкту	
4.2 Порівняння існуючого стану і запропонованого стартапу	
4.3 SWOT-аналіз.....	
4.4 Таблиця загроз та шляхів їх вирішення	

4.5	Аналіз ринку та споживачів
4.6	Бізнес-модель стартапу
4.7	Техніко-технологічна концепція стартап-проєкту
4.8	Архітектура системи автономного енергозабезпечення
4.9	Алгоритми роботи системи в штатних та аварійних режимах
4.10	Організаційна структура реалізації стартап-проєкту
4.11	Економічна модель стартап-проєкту
4.12	Оцінка соціального ефекту та значення для національної безпеки
4.13	Масштабування стартап-проєкту та можливості тиражування
4.14	Відповідність нормативним вимогам та стандартам
4.15	Аналіз сценаріїв функціонування стартап-проєкту в умовах кризових та воєнних загроз
4.16	Інтеграція стартап-проєкту в систему цивільного та військового енергоменеджменту
4.17	Довгостроковий прогноз розвитку та модернізації системи
4.18	Оцінка інноваційності та науково-практичної значущості стартапу
4.19	Етичні та правові аспекти реалізації стартап-проєкту
4.20	Практичні рекомендації щодо впровадження стартап-проєкту
4.21	Узагальнюючі висновки до стартап-проєкту
	ВИСНОВОК
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ВЕ – відновлювана енергія

СЕС – сонячна електростанція

ФЕС – фотоелектрична станція

СЕНМ – система енергетичного менеджменту

СЕНМГ – система енергетичного менеджменту госпіталю

КП – керування попитом

ЕЕ – енергоефективність

Інтернет Речей (ІоТ) – система підключених пристроїв

Інтернет Енергії (ІоЕ) – інтегрована енергетична цифрова мережа

ДСТУ – державний стандарт України

ДБН – державні будівельні норми

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ГВП – гаряче водопостачання

СНЕ – система накопичення енергії

ДБЖ – джерело безперебійного живлення

ККД – коефіцієнт корисної дії

АІС – автоматизована інформаційна система

АСК – автоматизована система керування

ТОК – технологічний об'єкт керування

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ВГ – військовий госпіталь

ОВК (HVAC) – опалення, вентиляція і кондиціонування

ВСТУП

Енергетична безпека та стабільність є ключовими чинниками економічного розвитку будь-якої держави. Особливо це актуально для України, де енергетична система в останні роки зазнала значних труднощів та потребує комплексної модернізації. Постійне зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів та високий рівень імпортозалежності посилюють потребу в переході до сучасних, ефективних та автономних енергетичних рішень.

Серед найбільших споживачів енергоресурсів в Україні — житловий сектор, комунальні та адміністративні будівлі, промислові підприємства й об'єкти критичної інфраструктури. Значна частина цих споруд була зведена десятиліття тому та функціонує без урахування принципів енергоощадності, енергоефективності та сучасних систем енергетичного менеджменту. Особливо гостро ця проблема постає в установах, що повинні працювати безперервно й за будь-яких умов, — зокрема у військових госпіталях.

У межах цієї роботи досліджуються ключові аспекти модернізації енергетичної інфраструктури військового госпіталю з акцентом на інтеграції відновлюваних джерел енергії. Основою дослідження є удосконалення методологічних підходів та практичних рішень, що забезпечують підвищення енергоефективності, надійності та автономності енергозабезпечення.

Впровадження відновлюваних джерел енергії та сучасних енергоощадних технологій створює можливості для раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, зменшення залежності госпіталю від зовнішніх постачальників та підвищення його стійкості в умовах кризових ситуацій.

Очікуваним результатом дослідження є глибокий аналіз існуючого енергоспоживання військового госпіталю, обґрунтування концепції його модернізації із застосуванням ВДЕ, а також розробка методів та технічних рішень, що забезпечать ефективне та економічно доцільне впровадження енергетичних заходів. У роботі також представлено розрахункове обґрунтування ефективності запропонованих нововведень.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІЙСЬКОВОГО ГОСПІТАЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ВДЕ

1.1 Сучасний стан та проблематика функціонування енергетичної інфраструктури медичних і комунальних будівель

Енергетична стійкість та ефективність є стратегічно важливими факторами розвитку будь-якої держави, особливо в умовах економічної нестабільності та загроз безпеці. В Україні протягом останніх років енергетичний сектор переживає значне навантаження: ціни на паливно-енергетичні ресурси зростають, значна частина енергоносіїв імпортується, а енергетична інфраструктура в багатьох регіонах зазнала суттєвих пошкоджень.

Ситуація особливо ускладнюється для об'єктів критичної інфраструктури — таких як військові госпіталі, які повинні працювати безперервно й незалежно від зовнішніх умов. Більшість медичних, адміністративних і господарських будівель України проєктувалися без урахування сучасних вимог енергоефективності. Це призводить до надмірного споживання енергії, високих експлуатаційних витрат та низької надійності систем теплопостачання, електропостачання та вентиляції.

Поряд із медичними закладами, схожими проблемами характеризуються офісні будівлі, житлові будинки, господарські споруди та промислові об'єкти. Спільною рисою для більшості таких будівель є застаріле обладнання, низький рівень автоматизації, відсутність систем енергообліку та неефективне використання енергоресурсів.

Енергетична інфраструктура більшості військових госпіталів України була сформована в період, коли питання енергоефективності не мали пріоритетного значення. Зношені тепломережі, відсутність систем автоматизованого контролю, неоптимізовані системи вентиляції та застарілі джерела тепла значно збільшують витрати енергоресурсів. Це призводить до високих фінансових затрат, зниження надійності енергозабезпечення та підвищення залежності від центральних мереж, що є ризиком у період воєнних загроз [1].

Енергетична стійкість та ефективність медичних закладів, особливо тих, що належать до сектору оборони, є одним із ключових чинників їхнього стабільного та безперебійного функціонування. В умовах воєнного стану та зростаючого

навантаження на систему військової медицини особливо важливим є забезпечення лікарень і госпіталів надійним, автономним та економічно ефективним енергопостачанням [2].

Такі виклики актуалізують необхідність впровадження сучасних рішень на основі енергетичного менеджменту, систем керування попитом та використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [3]. Модернізація дозволяє не лише зменшити споживання паливно-енергетичних ресурсів, але й підвищити автономність роботи госпіталю, гарантуючи його працездатність у будь-яких умовах.

У таких умовах модернізація енергетичної інфраструктури на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) стає необхідністю, що дозволяє не лише оптимізувати витрати, а й забезпечити стабільність роботи об'єкта під час кризових ситуацій.

1.2 Роль системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) у підвищенні ефективності енергоспоживання

Енергетичний менеджмент є комплексним підходом, спрямованим на раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, забезпечення стабільної роботи систем енергопостачання та зниження технічних і фінансових втрат [4]. Для військових госпіталів, де безперервне енергозабезпечення є критично важливим, впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) має особливо вагоме значення.

Ефективний енергетичний менеджмент дає можливість:

- оптимізувати роботу інженерних систем будівлі (опалення, освітлення, вентиляції, ГВП);
- зменшити навантаження на електромережу за рахунок методів керування попитом;
- використовувати ВДЕ як надійне джерело резервної або основної енергії;
- підвищити енергетичну стійкість у надзвичайних умовах;
- покращити мікроклімат і комфорт у приміщеннях;
- зменшити експлуатаційні витрати госпіталю.

Принципи енергетичного менеджменту однаково важливі не лише для промислових підприємств, але й для офісів, адміністративних будівель, житлових будинків, господарських споруд, навчальних закладів та медичних установ [5]. Для кожного з цих об'єктів питання енергоефективності впливає як на економічну стабільність, так і на якість функціонування.

Для військового госпіталю керування попитом є необхідним елементом забезпечення стабільного функціонування, адже дає змогу раціонально використовувати енергію, мінімізувати ризики перебоїв та забезпечити безпеку пацієнтів і персоналу.

Система енергетичного менеджменту (СЕНМ) є ключовим інструментом забезпечення раціонального використання енергії, контролю споживання та впровадження заходів з енергоефективності [6]. Для військових госпіталів, які функціонують як об'єкти критичної інфраструктури, наявність ефективної СЕНМ є стратегічно важливою.

Основні завдання СЕНМ включають:

- моніторинг та аналіз енергоспоживання в реальному часі,
- ідентифікацію неефективних зон та обладнання,
- оптимізацію режимів роботи систем опалення, вентиляції, освітлення,
- забезпечення стабільної якості електропостачання,
- підготовку рішень щодо модернізації енергетичної інфраструктури,
- розробку та впровадження заходів з енергозбереження,
- підтримку систем аварійного електрозабезпечення.

Використання СЕНМ надає змогу встановити чіткий контроль над енергоспоживанням і підвищити ефективність роботи медичних установ навіть при існуючих технічних обмеженнях їхньої інфраструктури.

На практиці СЕНМ демонструє особливу ефективність не лише на промислових підприємствах, але й у різних типах громадських, офісних, господарських та житлових приміщень [7]. Це підкреслює універсальність підходів до оптимізації енергоспоживання, які можуть бути адаптовані до специфіки військових госпіталів.

1.3 Нормативно-правове та методологічне забезпечення модернізації енергетичної інфраструктури

Модернізація енергетичної інфраструктури госпіталів повинна здійснюватись відповідно до чинного законодавства України, яке спрямоване на розвиток енергоефективності та інтеграції ВДЕ. Законодавчі акти формують правові рамки, необхідні для реалізації проєктів енергомодернізації, створюють умови для фінансування та державної підтримки таких заходів.

До ключових нормативних документів належать:

- Закони України щодо енергоефективності, енергозбереження та розвитку ВДЕ;
- ДСТУ та ДБН, які регламентують параметри теплоізоляції, опалення, вентиляції, електропостачання та управління енергоресурсами;
- стандарти та методичні рекомендації щодо створення та впровадження систем енергетичного менеджменту відповідно до міжнародної практики (зокрема ISO 50001).

Нормативно-правове забезпечення також передбачає вимоги щодо безпеки та безперебійності енергопостачання, що є особливо важливим для медичних закладів [8]. Крім того, сучасні державні програми та ініціативи підтримують впровадження ВДЕ на об'єктах критичної інфраструктури, що дозволяє оптимізувати бюджетні витрати та підвищити автономність установ.

Завдяки поєднанню нормативної бази, сучасних підходів до енергоменеджменту та технологій ВДЕ стає можливим комплексно модернізувати енергетичну систему військового госпіталю, забезпечуючи його стійку роботу в будь-яких умовах.

1.4 Особливості енергоспоживання військових госпіталів та їх порівняння з іншими типами будівель

Військові госпіталі є об'єктами підвищеної енергетичної складності, оскільки повинні забезпечувати безперервну роботу критично важливих систем незалежно від зовнішніх факторів [9]. На відміну від звичайних медичних закладів, вони функціонують у середовищі підвищених ризиків, часто працюють у воєнних умовах, приймають пацієнтів цілодобово та використовують енергомістке обладнання, яке потребує стабільного електроживлення.

До основних особливостей енергоспоживання військових госпіталів належать.

Підвищені вимоги до надійності енергопостачання

Госпіталі повинні мати резервні канали живлення, системи аварійного електропостачання, джерела безперебійного живлення (ДБЖ) та генератори. Відмова енергосистеми може поставити під загрозу здоров'я та життя пацієнтів, роботу операційних, інтенсивної терапії, реанімаційних блоків [10].

Високе електричне навантаження через медичне обладнання

У військових госпіталях інтенсивно використовуються:

- апарати ШВЛ,
- системи моніторингу пацієнтів,
- діагностичне обладнання (УЗД, рентген, томографи),
- лабораторні комплекси,
- стерилізаційні апарати,
- освітлювальні системи підвищеної точності.

Це суттєво перевищує рівень навантаження в офісних, громадських або житлових будівлях.

Складна система теплопостачання та вентиляції

Медичні приміщення мають індивідуальні вимоги щодо температури, вологості та якості повітря [11]. Операційні та реанімаційні зали потребують спеціальних вентиляційних систем, що працюють цілодобово й створюють велике енергонавантаження.

Значні витрати гарячої води

Гаряче водопостачання використовується для:

- стерилізації,
- гігієнічних процедур,
- утримання палат,
- роботи харчоблоків.

Витрати можуть у кілька разів перевищувати показники адміністративних будівель.

Низька енергоефективність через застарілу інфраструктуру

Більшість військових госпіталів України будувалися 30–50 років тому, з:

- низькою теплоізоляцією,
- зношеними тепломережами,
- неефективними джерелами тепла,
- застарілими вентиляційними системами,
- відсутністю автоматичного регулювання температури та освітлення.

Це збільшує потребу в енергії на 30–60% порівняно з сучасними будівлями.

Порівняно з іншими об'єктами (табл 1.1.)

- енергопотреби військових лікарень значно вищі, ніж у господарських, офісних чи житлових приміщень,
- рівень вимог до автономності та безперервності роботи значно перевищує вимоги до цивільних будівель,
- обмежена можливість тривалих відключень або зниження якості електропостачання обумовлює необхідність модернізації систем [12].

Тип будівлі	Енергоспоживання	Вимоги до надійності	Ступінь автоматизації	Можливість інтеграції ВДЕ
Військовий госпіталь	Дуже високе	Максимальна	Низька/середня	Висока
Адміністративні будівлі	Низьке–середнє	Середня	Середня	Висока
Житлові будинки	Низьке–середнє	Низька	Низька	Середня
Промислові підприємства	Дуже високе	Середня	Висока	Середня
Господарські та складські будівлі	Низьке	Низька	Низька	Середня/висока

Таблиця 1.1. – Порівняння з іншими об'єктами

Таким чином, військовий госпіталь має унікальний профіль енергоспоживання, що робить його одним із найважчих об'єктів для забезпечення стабільної роботи [13]. Це обґрунтовує необхідність глибокої модернізації та впровадження ВДЕ.

Як наслідок, військові госпіталі мають унікальний енергетичний профіль, що пов'язано з характером їхньої діяльності та підвищеними вимогами до

надійності. Енергоспоживання в таких установах значно перевищує показники житлових, адміністративних та більшості господарських будівель через:

- цілодобовий режим роботи,
- використання енергоємного медичного обладнання,
- високі вимоги до вентиляції та мікроклімату,
- значні витрати гарячої води,
- велику площу приміщень та складність інфраструктури,
- необхідність наявності резервних джерел живлення.

Більшість військових госпіталів в Україні мають інфраструктуру, створену ще в середині XX століття, що призводить до значних тепловтрат, перевитрат електроенергії та частих аварійних ситуацій [14]. Це потребує невідкладної модернізації та впровадження високоефективних технологій енергозабезпечення.

1.5 Технологічні можливості та перспективи використання відновлюваних джерел енергії у військових госпіталях

Використання відновлюваних джерел енергії на об'єктах медицини та оборонного сектору має стратегічне значення, адже забезпечує їхню автономність, надійність та енергонезалежність. В умовах нестабільного енергопостачання та можливих пошкоджень інфраструктури застосування ВДЕ у військових госпіталях стає не лише економічно доцільним, але й життєво необхідним [15].

Сонячні електростанції (СЕС)

СЕС дозволяють:

- забезпечити часткову або повну потребу в електроенергії,
- зменшити пікове навантаження,
- зберігати енергію у батареях для аварійних режимів,
- зменшити витрати на купівлю електрики.

Перевагою СЕС є швидкість встановлення та можливість монтажу на дахах, навісах, фасадах.

Системи накопичення енергії (акумулятори, батареї)

Такі системи:

- забезпечують роботу обладнання при відключеннях,
- накопичують надлишки від СЕС,
- стабілізують напругу,

- зменшують потребу в генераторах.

В умовах воєнних дій акумуляторні комплекси стають критично важливими.

Теплові насоси (повітря-повітря, повітря-вода, ґрунт-вода)

Вони можуть забезпечувати:

- опалення,
- гаряче водопостачання,
- кондиціонування.

Ефективність теплових насосів у 3–4 рази вища, ніж традиційних котлів, що суттєво знижує витрати.

Сонячні колектори для гарячого водопостачання

Госпіталі мають високі потреби у ГВП, тому колектори можуть покривати до 40–70% річного споживання, зменшуючи навантаження на основну систему.

Рекупераційні системи вентиляції

Рекуператори:

- зменшують тепловтрати,
- підвищують якість повітря,
- знижують витрати на опалення до 25–40%.

Автоматизовані системи керування та моніторингу

Вони дозволяють:

- контролювати споживання енергії в реальному часі,
- оптимізувати роботу систем опалення й вентиляції,
- прогнозувати навантаження,
- забезпечувати енергоменеджмент на сучасному рівні.

Комплексне впровадження відновлюваних джерел енергії у військових госпіталях доцільно розглядати не як окремі технічні рішення, а як єдину інтегровану енергетичну систему, здатну забезпечити надійність, автономність і економічну ефективність. Особливість таких об'єктів полягає в необхідності поєднання традиційних джерел енергії з ВДЕ та системами накопичення, що дозволяє створити гібридні енергосистеми.

Перспективним напрямом є створення локальних мікроенергосистем (microgrid), які можуть працювати як у паралельному режимі з центральною мережею, так і автономно. Для військових госпіталів microgrid дають можливість:

- швидкого відновлення енергопостачання після аварій;
- гнучкого керування навантаженням;

- пріоритетного живлення критично важливих відділень;
- зниження залежності від зовнішніх мереж.

Важливим аспектом є також **модульність ВДЕ**, що дозволяє поетапно нарощувати потужності без зупинки роботи госпіталю. Це особливо актуально в умовах обмеженого фінансування та необхідності адаптації до змінного навантаження.

Таким чином, використання ВДЕ у військових госпіталях має значний потенціал як з технічної, так і з економічної точки зору, однак потребує науково обґрунтованого підходу до проєктування та управління.

1.6 Концепція енергетичної стійкості та автономності об'єктів критичної інфраструктури

Енергетична стійкість об'єктів критичної інфраструктури визначається їхньою здатністю безперервно функціонувати в умовах зовнішніх загроз, аварій, воєнних дій та дефіциту енергоресурсів. Для військових госпіталів ця характеристика має першочергове значення, оскільки будь-яке порушення енергопостачання безпосередньо впливає на життя пацієнтів.

Енергетична автономність передбачає:

- наявність власних джерел генерації;
- резервування всіх критичних систем;
- можливість швидкого переходу в автономний режим;
- зниження залежності від імпортованих енергоресурсів.

Використання ВДЕ у поєднанні з системами накопичення дозволяє сформувати багаторівневу систему енергетичної безпеки, яка включає:

1. Основне живлення від централізованої мережі.
2. Власну генерацію з ВДЕ.
3. Акумуляторні системи.
4. Аварійні дизельні або газові генератори.

Такий підхід забезпечує високу надійність і відповідає сучасним вимогам до об'єктів оборонного сектору.

1.7 Методологічні підходи до оцінювання ефективності модернізації енергетичної інфраструктури

Оцінювання ефективності модернізації енергетичної інфраструктури військового госпіталю повинно базуватись на поєднанні технічних, економічних та екологічних критеріїв.

До основних методологічних підходів належать:

- енергетичний аудит;

- аналіз питомого енергоспоживання;
- порівняльний аналіз «до» та «після» модернізації;
- оцінка життєвого циклу обладнання (LCC);
- аналіз надійності та резервування.

Енергетичний аудит дозволяє:

- визначити основні джерела втрат енергії;
- оцінити потенціал енергозбереження;
- сформулювати перелік пріоритетних заходів модернізації.

Для військових госпіталів особливо важливою є оцінка нематеріальних ефектів, таких як підвищення безпеки, стійкості та готовності до надзвичайних ситуацій, які не завжди можуть бути виражені у грошовому еквіваленті, але мають критичне значення.

1.8 Економічні та соціальні аспекти впровадження ВДЕ у військових госпіталях

Модернізація енергетичної інфраструктури з використанням ВДЕ має не лише технічний, а й виражений соціально-економічний ефект.

До економічних переваг належать:

- зниження витрат на енергоресурси;
- прогнозованість енергетичних витрат;
- зменшення витрат на аварійні ремонти;
- можливість залучення міжнародної допомоги та грантів.

Соціальні ефекти включають:

- підвищення якості медичних послуг;
- покращення умов праці медичного персоналу;
- підвищення рівня безпеки пацієнтів;
- зміцнення довіри до системи військової медицини.

В умовах воєнного часу ці фактори мають особливу вагу, оскільки напяму впливають на обороноздатність держави.

1.9 Інтеграція гібридних енергетичних систем у військових госпіталях

Гібридні системи поєднують традиційні джерела енергії (електромережу, дизельні генератори) та ВДЕ (сонячні панелі, вітрові турбіни, теплові насоси). Основні переваги:

- Забезпечення безперебійної роботи критичних підсистем госпіталю;
- Зменшення пикового навантаження на центральну мережу;
- Можливість масштабування системи за потреби;
- Оптимізація витрат на енергоресурси та обслуговування.

1.10 Використання цифрових технологій та IoT для моніторингу енергоспоживання

Сучасні технології дозволяють:

- Реалізувати автоматизований моніторинг енергоспоживання в реальному часі;
- Виявляти перевитрати енергії та збої в роботі систем;
- Проводити прогнозування навантажень і планування модернізації;
- Інтегрувати СЕНМ з системами управління будівлею (BMS).

1.11 Методи підвищення енергоефективності інженерних систем госпіталю

- Оптимізація режимів роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування (HVAC);
- Використання рекуперації тепла в системах вентиляції;
- Впровадження LED-освітлення та автоматизованих систем регулювання освітлення;
- Модернізація котлів та насосного обладнання на більш ефективні та екологічні аналоги.

1.12 Кліматичні та географічні аспекти вибору ВДЕ

- Вибір типу ВДЕ залежить від місцевих кліматичних умов (сонячна інсоляція, середні температури, вітрові ресурси);
- Регулювання потужності генераторів та акумуляторних систем залежно від сезону;
- Можливість інтеграції декількох типів ВДЕ для забезпечення стабільності у різних умовах.

1.13 Підготовка персоналу та навчання для ефективного енергоменеджменту

- Проведення тренінгів для обслуговуючого персоналу;
- Розробка інструкцій та регламентів щодо роботи з ВДЕ та системами енергоменеджменту;
- Формування культури енергоефективності серед медичного персоналу.

1.14 Ризики та безпекові аспекти впровадження ВДЕ у військових госпіталях

- Ризик технічних збоїв та відмов обладнання;
- Вимоги до резервного живлення при критичних ситуаціях;
- Захист від кіберзагроз при інтеграції цифрових систем моніторингу;
- Планування дій при аварійних ситуаціях або пошкодженнях інфраструктури.

1.15 Стратегії поетапної модернізації енергетичної інфраструктури

- Модульний підхід: нарощування потужності ВДЕ без зупинки роботи госпіталю;
- Впровадження пріоритетного живлення критично важливих підсистем;
- Оцінка економічної ефективності та коригування плану модернізації на кожному етапі.

Висновок до розділу 1

У розділі 1 було досліджено ключові аспекти, що формують основу для модернізації енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням відновлюваних джерел енергії. Встановлено, що традиційні системи енергопостачання медичних закладів є застарілими, малоефективними та вразливими до зовнішніх загроз. Енергоспоживання госпіталів суттєво вище, ніж у більшості будівель, а вимоги до надійності енергозабезпечення — максимальні.

Проаналізовано роль системи енергетичного менеджменту та керування попитом, що забезпечують раціональне використання ресурсів, зменшення пікових навантажень та оптимізацію роботи обладнання. Нормативно-правова база України забезпечує необхідні умови для впровадження енергоефективних рішень і ВДЕ на об'єктах критичної інфраструктури.

Детальний розгляд технологій ВДЕ показав, що військові госпіталі мають значний потенціал для використання сонячної енергії, теплових насосів, акумулюючих систем та рекуперації, що може забезпечити підвищення автономності, зменшення експлуатаційних витрат і посилення стійкості до кризових ситуацій.

Таким чином, модернізація енергетичної інфраструктури військового госпіталю на основі ВДЕ є стратегічно важливим та технічно обґрунтованим напрямом, що створює передумови для високого рівня енергетичної безпеки, ефективності та надійності роботи закладу.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВІЙСЬКОВОГО ОБ'ЄКТУ

2.1 Короткий опис об'єкту практики (військової частини)

Об'єктом, що аналізується, виступає комплекс будівель Військової частини № АХХХХ (умовно), інженерна інфраструктура якої є типовою для медичних закладів оборонного сектору показано на рис. 2.1. та рис. 2.2.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд будівлі



Рисунок 2.2 – Вигляд будівлі збоку

Практика проводилася з фокусом на аналізі інженерних систем, які будуть масштабовані та оптимізовані для моделі військового госпіталю наведені в таблиці 2.1.

Параметр	Опис
Тип будівлі	Спеціалізований комплекс адміністративно-господарського та медичного призначення ⁶ .
Рік будівництва	1978–1985 роки.
Кількість поверхів	2 поверхи у різних блоках.
Загальна опалювальна площа	15 850 м ² (загальна площа) / 12 500 м ² (опалювальна площа).
Загальний будівельний об'єм	55 300 м ³ .
Конструкція	Стіни: цегляні (510 мм) / Панельні (350 мм) із частковим зовнішнім утепленням.
Середньодобова кількість осіб	Близько 850 осіб (персонал, військовослужбовці, що проходять службу/реабілітацію).

Таблиця 2.1. - Основні характеристики об'єкту

Аналіз показав, що будівлі характеризуються високим рівнем інфільтрації повітря та значними втратами тепла через застарілі віконні конструкції та недостатню ізоляцію фасадів та даху.

2.1.1 Основні проблеми об'єкту дослідження

На основі проведеного аналізу існуючого стану інженерних систем та споживання ПЕР, основними проблемами комплексу будівель Військової частини № АХХХХ, які негативно впливають на енергоефективність та експлуатаційні витрати.

Значні тепловтрати. Високий рівень інфільтрації повітря та значні втрати тепла через застарілі віконні конструкції та недостатню ізоляцію фасадів та даху.

Неефективне використання теплової енергії. Відсутність автоматизованого погодного регулювання подачі теплоносія в котельні призводить до перевитрат тепла в перехідні періоди (осінь/весна). Температура теплоносія регулюється оператором котельні вручну, що є неефективним для впровадження Системи Енергетичного Менеджменту (СЕНМ).

Зростання фінансового навантаження. Загальні витрати на паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) постійно зростають через загальне збільшення тарифів та операційні потреби військового часу.

Стратегічна необхідність модернізації. Інвестиції в енергоефективність та автономність мають високу економічну та стратегічну вигідність, що підтверджує необхідність негайного впровадження енергозберігаючих заходів [16].

2.2 Опис інженерних мереж та систем життєзабезпечення

Електрозабезпечення. Електроенергія подається від центральної міської мережі через трансформаторну підстанцію (ТП) КТП-145, що розташована на території частини 21. Встановлений трансформатор типу ТМ-630/10 (потужність 630 кВА)²². Система є трифазною, напруга вторинного кола — 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю.

Критичні системи. Операційні блоки та реанімаційні відділення (аналогічно для госпіталю) мають трирівневе резервування: центральна мережа генераторна установка (дизельний генератор потужністю 150 кВА) і джерело безперебійного живлення (ДБЖ).

Теплопостачання та вентиляція. Теплопостачання здійснюється від власної модульної газової котельні, що є суттєвою перевагою. Система опалення – залежна, вертикальна, двотрубна. Використовуються сталеві радіатори та частково чавунні батареї. Відсутність автоматизованого погодного регулювання подачі теплоносія, що призводить до перевитрат тепла в перехідні періоди (осінь/весна). Температура теплоносія регулюється оператором котельні вручну, що є вкрай неефективним для впровадження СЕНМ.

Водопостачання та гаряче водопостачання (ГВП). Холодна вода подається з центрального міського водопроводу. Гаряче водопостачання забезпечується централізовано від котельні за потребою.

Встановлене обладнання. Лічильники холодної води встановлені на головному вводі та на двох найбільших споживачах (їдальня та медпункт).

2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні роки

Для оцінки базового рівня енергоспоживання було проаналізовано фактичні дані за три роки (2022-2024).

Споживання електричної енергії

Фактичне річне споживання електричної енергії за останні роки показано в таблиці 2.2.

Місяць	2022 (кВт·год)	2023 (кВт·год)	2024 (кВт·год)
Січень	14800	15150	16550
Лютий	13950	14200	15800
Березень	12500	13100	14150
Квітень	10200	11400	11950
Травень	9150	9500	10200
Червень	7100	7350	7800
Липень	6350	6500	6850
Серпень	6800	7050	7500
Вересень	8500	9100	9900
Жовтень	11050	12300	13500

Місяць	2022 (кВт·год)	2023 (кВт·год)	2024 (кВт·год)
Листопад	13400	14000	15000
Грудень	14550	15000	16100

Таблиця 2.2 - Фактичне річне споживання електричної енергії (2022-2024 роки)

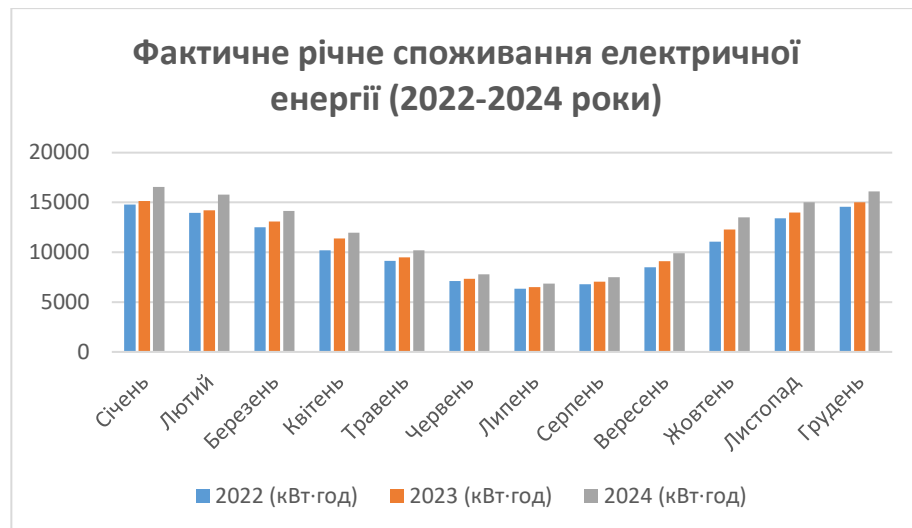


Рисунок 2.3 - Фактичне річне споживання електричної енергії 2022-2024 рр.

Графік споживання (рисунок 2.3) електричної енергії відображає типову залежність: зростання в осінньо-зимовий період (через збільшення потреби в освітленні та роботу додаткового обладнання) та мінімальні значення влітку.

Аналіз даних (таблиця 2.3) свідчить про типову сезонну нерівномірність споживання електричної енергії. Пікове споживання припадає на осінньо-зимовий період (грудень, січень, лютий), що пов'язано зі зростанням потреби в освітленні та роботою додаткового медичного обладнання. Мінімальне споживання фіксується у літні місяці (липень, серпень).

Важливо відзначити стійку тенденцію до зростання річного споживання. Незначне зростання споживання в 2024 році порівняно з попередніми роками може бути спричинене збільшенням завантаження госпіталю або додаванням нового медичного обладнання, що, однак, збільшує експлуатаційні витрати на цей основний енергоресурс.

Споживання теплової енергії

Споживання теплової енергії обумовлено опалювальним сезоном та потребами в ГВП. Влітку тепла енергія використовується лише для ГВП наведені в таблиці 2.3.

Місяць	Споживання теплової енергії, Гкал (2022)
Січень	435,50
Лютий	398,10
Березень	315,90
Квітень	125,30
Травень	15,80
Червень	4,20
Липень	3,90
Серпень	4,50
Вересень	55,10
Жовтень	185,40
Листопад	350,00
Грудень	420,80

Таблиця 2.3 - Фактичне річне споживання теплової енергії (2022 рік)

Як видно з таблиці 2.3, споживання теплової енергії повністю обумовлено опалювальним сезоном (жовтень-квітень) та потребами в гарячому водопостачанні (ГВП). Основний обсяг споживання (понад 95%) припадає на опалювальний сезон (жовтень-квітень) на рис. 2.4.

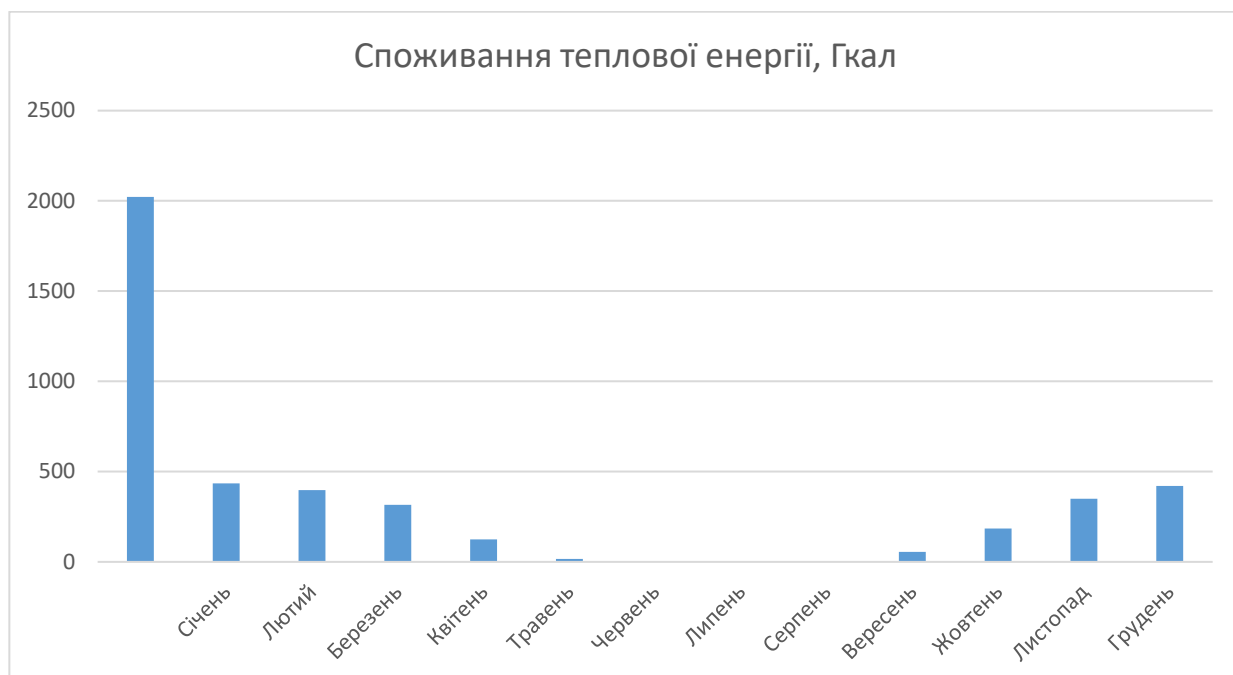


Рисунок 2.4 – Споживання теплової енергії

Критичною проблемою є відсутність автоматизованого погодного регулювання в котельні, що призводить до значних стрибків у перехідні місяці (вересень, травень). Ця ситуація підтверджує, що саме система тепlopостачання є критичною зоною для впровадження енергозберігаючих заходів (ІТП та автоматизація) з метою значної економії найбільшої статті експлуатаційних витрат.

Споживання холодної води

Споживання води є відносно стабільним протягом навчального року і зменшується в період відпусток та канікул наведено в таблиці 2.4.

Місяць	Споживання холодної води, м³ (2022)
Січень	1050
Лютий	1080
Березень	1120
Квітень	1010

Місяць	Споживання холодної води, м³ (2022)
Травень	950
Червень	710
Липень	680
Серпень	750
Вересень	990
Жовтень	1070
Листопад	1100
Грудень	1090

Таблиця 2.4 - Фактичне річне споживання холодної води (2022 рік)

Аналіз таблиці 2.4 показує, що споживання холодної води є відносно стабільним протягом року. Найвищі показники спостерігаються у місяці найбільшого завантаження об'єкту (січень-квітень, жовтень-грудень), а найменші — у період відпусток та канікул (червень-серпень).

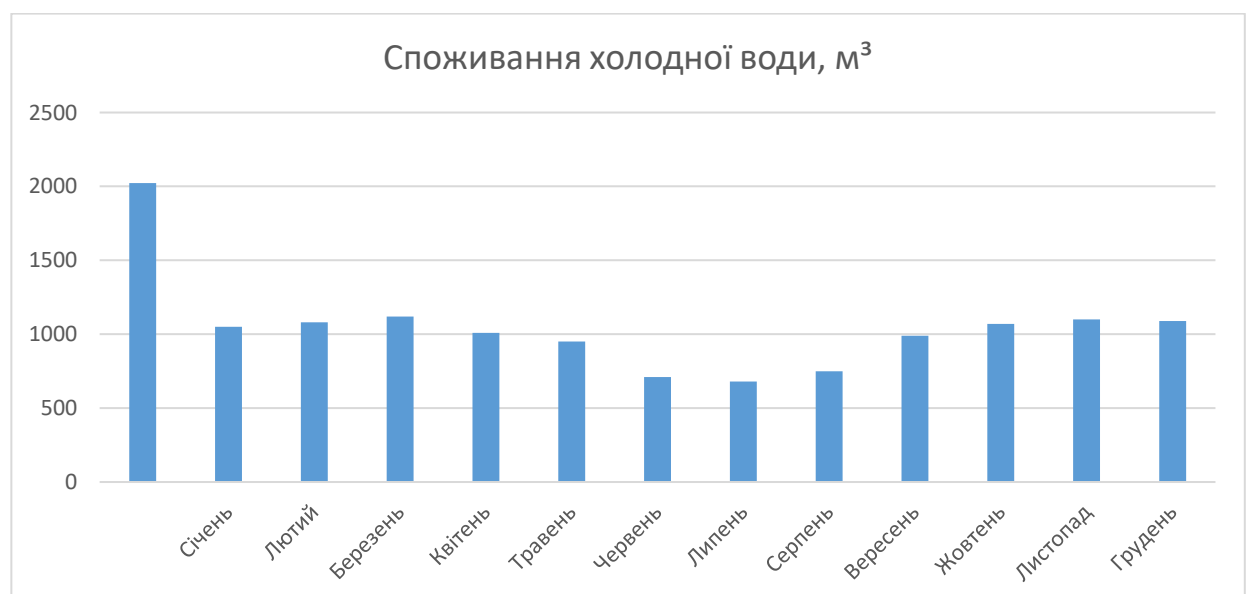


Рисунок 2.5 – Споживання холодної води

Незважаючи на відносно менший вплив на загальний енергобаланс порівняно з електро- та тепловою енергією, контроль за споживанням води та встановлення лічильників на найбільших споживачах (їдальня та медпункт) є важливим кроком для подальшої оптимізації (рис 2.5.).

Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Збільшення вартості комунальних послуг, незважаючи на стабільність тарифів для бюджетних організацій, все одно призводить до зростання фінансового навантаження через загальну інфляцію та зростання обсягів споживання наведено в таблиці 2.5 та показано на рис. 2.6.

Тарифні затрати на електроенергію

Місяць	Вартість, грн (2022)
Січень	68 520
Лютий	65 070
Березень	58 250
Квітень	48 960
Травень	44 835
Червень	34 890
Липень	31 115
Серпень	33 320
Вересень	41 650
Жовтень	54 145

Місяць	Вартість, грн (2022)
Листопад	65 660
Грудень	71 395

Таблиця 2.5 – Тарифні затрати на електроенергію (2022 рік)

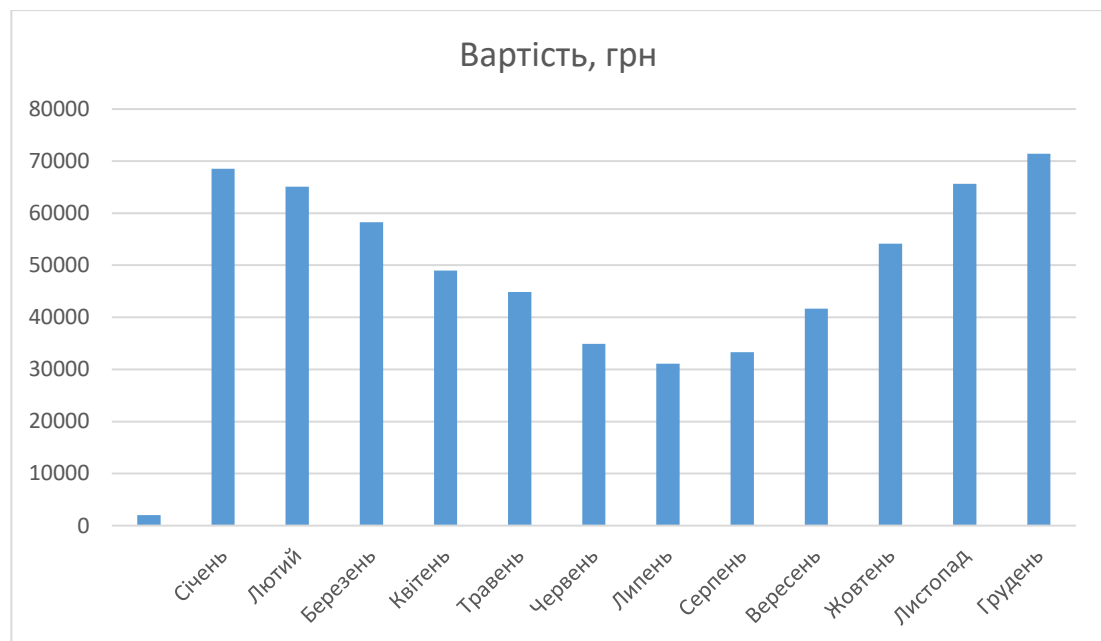


Рисунок 2.6 – Вартісні витрати на електричну енергію

Теплова енергія показана в таблиці 2.6. та проілюстровано на рис. 2.7.

Місяць	Вартість, грн (2022)
Січень	1 120 700
Лютий	1 024 350
Березень	813 400
Квітень	322 000
Травень	40 600

Місяць	Вартість, грн (2022)
Червень	10 800
Липень	10 050
Серпень	11 600
Вересень	141 900
Жовтень	477 900
Листопад	899 000
Грудень	1 080 000

Таблиця 2.6 – Тарифні затрати на теплову енергію (2022 рік)



Рисунок 2.7 – Вартісні витрати на теплову енергію

Тарифні затрати на водопостачання наведені в таблиці 2.6. та проілюстровано на рис. 2.8.

Місяць	Вартість, грн (2022)
Січень	45 150
Лютий	46 650
Березень	48 300

Місяць	Вартість, грн (2022)
Квітень	43 450
Травень	40 850
Червень	30 500
Липень	29 240
Серпень	32 250
Вересень	42 570
Жовтень	46 010
Листопад	47 300
Грудень	46 870

Таблиця 2.6 – Тарифні затрати на водопостачання (2022 рік)



Рисунок 2.8 – Вартісні витрати на водопостачання

Загальний висновок по тарифах та вартісній оплаті

Незважаючи на відносну стабільність обсягів споживання в 2022–2023 роках, загальні витрати на ПЕР постійно зростають через загальне збільшення тарифів та операційні потреби військового часу.

Аналізуючи вартісну оплату за паливно-енергетичні ресурси (таблиці 2.4–2.6), можна зробити наступні висновки:

Теплова енергія – найбільша стаття витрат. Витрати на теплову енергію є найбільшою статтею експлуатаційних витрат госпіталю. Це підтверджує, що впровадження заходів з термомодернізації та автоматизації котельні забезпечить найбільший економічний та енергозберігаючий ефект.

Зростання фінансового навантаження. Загальні витрати на ПЕР постійно зростають, що негативно впливає на фінансову стійкість об'єкту.

Стратегічна вигідність інвестицій. З огляду на зростання витрат, інвестиції в енергоефективність та автономність мають високу економічну та стратегічну вигідність, що є критично важливим для військового об'єкту.

2.4 Формування балансу споживання електричної енергії військового об'єкту

2.4.1 Детальний розрахунок споживання за обладнанням

Для формування балансу споживання використано формулу визначення витрат електричної енергії на технологічний процес:

$$W_{\text{вит.ел}} = K_{\text{вк}} \cdot P_{\text{н}} \cdot t_{\text{роб}}$$

Де, $W_{\text{вит.ел}}$ – витрата електричної енергії;

$K_{\text{вк}}$ – коефіцієнт використання встановленої потужності;

$P_{\text{н}}$ – встановлена потужність;

$t_{\text{роб}}$ – тривалість роботи обладнання.

Розрахунки базуються на типовому наборі обладнання для військового об'єкту з функціоналом госпіталю наведено в таблиці 2.7.

Перелік електричного обладнання	Кількість, шт	Встановлена потужність, Рн (кВт)	Загальна встановлена потужність, Рзаг (кВт)	Коефіцієнт використання (Квк)	Тривалість роботи, троб (год/рік)	Загальне електроспоживання, Wзаг (кВт·год)
I. Медичне/критичне обладнання						
Реанімаційне обладнання (життєзабезпеч.)	5	0,80	4,00	1,00	8760	35040
Діагностичне обладнання (УЗД, ЕКГ)	3	1,50	4,50	0,40	1800	3240
Рентгенівський апарат (умовний)	1	5,00	5,00	0,30	1200	1800
II. Насосні системи						
Насоси циркуляційні (опалення)	4	0,50	2,00	1,00	4344	8688
Насоси водопостачання (ХВП/ГВП)	3	1,50	4,50	0,90	3600	14580
III. Освітлення						
LED/Люмінесцентні лампи (приміщення)	500	0,04	20,00	0,70	3000	42000
Зовнішнє освітлення (LED)	50	0,10	5,00	0,80	4380	17520
IV. Адміністративно-господарське						
Кухня/Їдальня (Холод. облад., плити)	5	2,50	12,50	0,40	2000	10000
Вентиляція/Кондиціювання	10	1,80	18,00	0,30	1200	6480
Комп'ютерно-офісна техніка	40	0,08	3,20	0,60	2340	4492,8
Всього						143840,8

Таблиця 2.7 - Споживання електричної енергії Військовою частиною № АXXXX

2.4.2 Баланс споживання за підгрупами

Для візуалізації балансу, обладнання об'єднано у чотири логічні групи наведено в таблиці 2.8 (аналогічно до таблиці 2.7):

- **Критичне/медичне обладнання:** життєзабезпечення та діагностика.
- **Освітлення:** внутрішнє та зовнішнє освітлення.
- **Насосні системи:** забезпечення водопостачання та циркуляція теплоносія.
- **Адміністративно-господарське:** вентиляція, кухня, офісна техніка.

Військової частини № АХХХХ

Назва електричного обладнання	Електроспоживання, кВт·год/рік	Відсоток (%)
Освітлення	59520	41,38 %
Критичне/Медичне обладнання	40080	27,86 %
Насосні системи	23268	16,18 %
Адміністративно-господарське	20972,8	14,58 %
Всього	143840,8	100,00 %

Таблиця 2.8 – Поділене на підгрупи споживання електричної енергії

2.4.3 Візуалізація балансу споживання

Баланс споживання демонструє, що освітлення та критичне/медичне обладнання є двома найбільшими споживачами електроенергії на об'єкті. Це вказує на те, що найбільший потенціал енергозбереження лежить у модернізації освітлювальних систем та оптимізації роботи медичного обладнання на рис. 2.9. та 2.10.

Figure 2.9 – Electricity Consumption Balance for the Military Hospital
Total Electricity Consumption (2022): 143,840.8 kWh

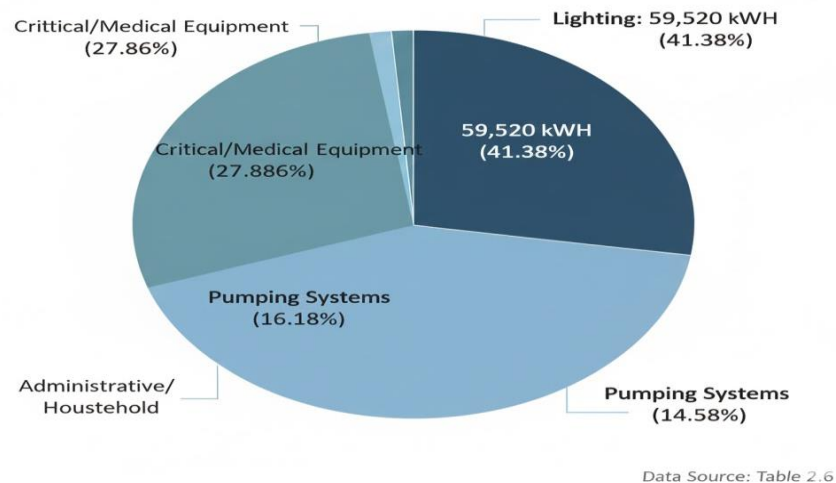


Рисунок 2.9 – Баланс споживання електроенергії на круговій діаграмі

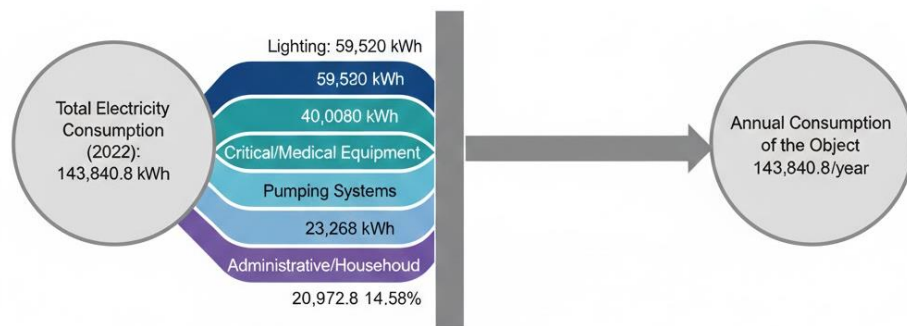


Рисунок 2.10 – Баланс споживання електричної енергії на діаграмі Санкея

2.5 Характеристика та розрахунок електричного навантаження об'єкту

Розрахунок електричного навантаження виконано для комплексу будівель Військової частини № АХХХХ на основі фактичного складу та режимів роботи електрообладнання, наведених у розділі 2.4.1. Методика розрахунку відповідає підходу, використаному у зразку розрахунку навантаження.

Визначення середньої потужності

Середня потужність кожної групи обладнання визначається за формулою:

$$P_{\text{сер}} = K_{\text{вик}} \cdot P_{\text{вст}}$$

де $K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання встановленої потужності; $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність обладнання, кВт.

Розрахунок по основних групах обладнання

I. Критичне/медичне обладнання. Загальна встановлена потужність: 13,5 кВт. Середньозважений коефіцієнт використання: 0,73. Середня потужність: 9,86 кВт

II. Насосні системи. Загальна встановлена потужність: 6,5 кВт. Коефіцієнт використання: 0,95. Середня потужність: 6,18 кВт

III. Освітлення (внутрішнє та зовнішнє). Загальна встановлена потужність: 25,0 кВт. Середній коефіцієнт використання: 0,72. Середня потужність: 18,0 кВт.

IV. Адміністративно-господарське обладнання. Загальна встановлена потужність: 33,7 кВт. Середній коефіцієнт використання: 0,39. Середня потужність: 13,14 кВт

Загальна середня активна потужність

Сумарна середня активна потужність електроспоживачів об'єкту становить:

$$P_{\text{сер.заг}} = 9,86 + 6,18 + 18,0 + 13,14 = 47,18 \text{ кВт.}$$

Визначення розрахункової потужності

З урахуванням нерівномірності навантаження та одночасності роботи електроприймачів, приймаємо коефіцієнт розрахункового навантаження $K_p = 1,2$ (для об'єктів з переважанням освітлення та критичного обладнання).

Розрахункова потужність визначається за формулою:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{сер.заг}}$$

$$P_p = 1,2 \cdot 47,18 = 56,6 \text{ кВт.}$$

Отримана розрахункова електрична потужність 56,6 кВт свідчить, що існуючий трансформатор ТМ-630/10 має значний резерв потужності. Це створює

технічні передумови для підключення додаткового обладнання, впровадження систем автоматизації та енергоефективних заходів без необхідності модернізації зовнішнього електропостачання.

2.6 Формування теплового балансу будівель військового об'єкту

У даному підрозділі визначимо теплові надходження до будівель комплексу Військової частини № АХХХХ (функціональне призначення – госпіталь та адміністративно-господарські приміщення). Теплові надходження залежать від кількості персоналу, встановленого електрообладнання, систем освітлення та сонячної радіації.

Загальні теплові надходження визначаються за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{перс}} + Q_{\text{обл}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{ср}},$$

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{перс}} + Q_{\text{обл}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{ср}}$$

де $Q_{\text{перс}}$ – теплонадходження від персоналу; $Q_{\text{обл}}$ – від електрообладнання; $Q_{\text{осв}}$ – від освітлення; $Q_{\text{ср}}$ – від сонячної радіації.

Теплові надходження від персоналу

Теплонадходження від людей зумовлені тепловіддачею тіла. Для адміністративних і медичних приміщень приймаємо питомі тепловиділення 90 Вт/особу. Кількість персоналу, що одночасно перебуває в будівлях – 45 осіб.

$$Q_{\text{перс}} = 45 \cdot 90 = 4050 \text{ Вт.}$$

Теплові надходження від електричного обладнання

Теплота від електрообладнання визначається за формулою:

$$Q_{\text{обл}} = k_{\text{т}} \cdot P_{\text{сер}} \cdot 1000,$$

де $k_{\text{т}}$ – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову (приймаємо 0,9); $P_{\text{сер}}$ – сумарна середня активна потужність обладнання.

Згідно з розрахунком електричного навантаження (п. 2.X):

$$P_{\text{сер}} = 47,18 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{обл}} = 0,9 \cdot 47,18 \cdot 1000 = 42\,460 \text{ Вт.}$$

Теплові надходження від освітлення

Теплові надходження від освітлювальних приладів визначаються за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = k_{\text{осв}} \cdot P_{\text{осв}} \cdot 1000,$$

де $k_{\text{осв}}$ – коефіцієнт тепловиділення (для LED приймаємо 0,95); $P_{\text{осв}}$ – встановлена потужність освітлення.

Загальна потужність освітлення (табл. 2.7):
 $P_{\text{осв}} = 25 \text{ кВт.}$

$$Q_{\text{осв}} = 0,95 \cdot 25 \cdot 1000 = 23\,750 \text{ Вт.}$$

Теплові надходження від сонячної радіації

Теплові надходження від сонячної радіації через вікна визначаються за формулою:

$$Q_{\text{ср}} = q_{\text{ср}} \cdot F_{\text{вік}} \cdot \tau,$$

де $q_{\text{ср}}$ – питома сонячна радіація (для центральної України приймаємо 180 Вт/м²); $F_{\text{вік}}$ – площа вікон; τ – коефіцієнт світлопропускання (0,6) наведено в таблиці 2.9.

Площа вікон будівель – 120 м².

$$Q_{\text{ср}} = 180 \cdot 120 \cdot 0,6 = 12\,960 \text{ Вт.}$$

Джерело теплоти	Потужність, Вт
Персонал	4 050
Електрообладнання	42 460
Освітлення	23 750
Сонячна радіація	12 960
Разом	83 220

Таблиця 2.9 - Загальні теплові надходження

Отже, сумарні теплові надходження до будівель військового об'єкту становлять 83,2 кВт, що необхідно враховувати при регулюванні систем опалення та вентиляції.

2.7 Заходи з підвищення енергоефективності військового об'єкту

На основі проведеного аналізу енергоспоживання та теплового балансу пропонується реалізація наступних заходів:

1. Впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) відповідно до ISO 50001 для постійного контролю та оптимізації споживання ПЕР.
2. Автоматизація системи тепlopостачання з впровадженням погодозалежного регулювання в котельні.
3. Термомодернізація будівель: утеплення фасадів, даху, заміна вікон на енергоефективні.
4. Модернізація систем освітлення з повною заміною застарілих світильників на LED.
5. Оптимізація роботи насосного обладнання з використанням частотних перетворювачів.
6. Встановлення систем обліку електроенергії та тепла на основних споживачах.
7. Резервне та автономне електроживлення з використанням ВДЕ (сонячні електростанції).

Реалізація зазначених заходів дозволить зменшити споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищити енергетичну безпеку та знизити експлуатаційні витрати військового об'єкту.

2.8 Детальний аналіз огорожувальних конструкцій будівель військового об'єкту

Огорожувальні конструкції будівель військової частини № АХХХХ відіграють ключову роль у формуванні загального теплового балансу та рівня енергоспоживання. До основних огорожувальних елементів відносяться зовнішні стіни, покрівля, підлога по ґрунту, віконні та дверні блоки.

2.8.1 Характеристика зовнішніх стін

Зовнішні стіни будівель виконані з:

- цегляної кладки товщиною 510 мм;
- панельних конструкцій товщиною 350 мм;
- часткового зовнішнього утеплення (місцями).

Теплотехнічний опір огорожувальних конструкцій не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 для будівель медичного призначення.

Розрахунковий опір теплопередачі цегляної стіни:

$$R = \delta / \lambda = 0,510 / 0,81 = 0,63 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$
$$R = \lambda \delta = 0,81 \cdot 0,51 = 0,41 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Нормативне значення для зовнішніх стін:

$$R_{\text{норм}} \geq 3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Отже, фактичний опір теплопередачі у 5 разів нижчий за нормативний, що підтверджує значні тепловтрати.

2.8.2 Аналіз покрівлі та перекриттів

Покрівля будівель — плоска, з бетонних плит перекриття з мінімальним шаром утеплення (≈ 50 мм мінеральної вати).

Фактичний опір теплопередачі покрівлі:

$$R_{\text{ф}} \approx 1,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Нормативне значення:

$$R_{\text{норм}} \geq 4,95 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Недостатня теплоізоляція покрівлі спричиняє до 20–25 % загальних тепловтрат будівлі.

2.8.3 Віконні та дверні конструкції

У будівлях встановлені:

- дерев'яні вікна зі склінням у 1–2 скла;
- частково металопластикові вікна старого зразка.

Середній коефіцієнт теплопередачі:

$U_{\text{вікон}} \approx 2,8 - 3,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $U_{\text{вікон}} \approx 2,8 - 3,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Для сучасних енергоефективних вікон:

$U_{\text{норм}} \leq 1,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $U_{\text{норм}} \leq 1,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Це підтверджує необхідність повної заміни віконних блоків.

2.9 Аналіз інфільтрації повітря та втрат тепла

Високий рівень інфільтрації повітря є характерною проблемою будівель старої забудови.

Основні причини:

- негерметичні віконні та дверні блоки;
- відсутність тамбурів;
- зношені ущільнення.

2.10 Детальний аналіз системи опалення

Система опалення:

- залежна;
- двотрубна;
- вертикальна;
- без балансування.

Основні недоліки:

- відсутність індивідуального теплового пункту (ІТП);
- ручне регулювання температури;
- відсутність погодозалежної автоматики;
- гідравлічна розбалансованість.

Це призводить до:

- перегріву приміщень;
- відкривання вікон взимку;
- перевитрат газу в котельні.

2.11 Аналіз ефективності котельного обладнання

Модульна газова котельня має номінальний ККД $\approx 88 - 90 \%$, однак фактичний сезонний ККД не перевищує $75 - 78 \%$ через:

- часті пуски/зупинки;
- роботу в нерозрахункових режимах;

- відсутність автоматики.

2.12 Аналіз систем вентиляції

Системи вентиляції:

- переважно природні;
- частково механічні без рекуперації.

Втрати тепла з вентиляційним повітрям становлять до 25 % загальних втрат.

Встановлення рекуператорів дозволить повернути 50–70 % тепла витяжного повітря.

2.13 Аналіз електроспоживання за часовими зонами

Розподіл споживання:

- денний максимум (08:00–18:00);
- нічний мінімум (22:00–06:00).

Це створює передумови для:

- впровадження двозонного обліку;
- оптимізації графіків роботи обладнання.

2.14 Аналіз надійності електропостачання

Трирівневе резервування забезпечує високу надійність, але:

- ДГУ працює з низьким коефіцієнтом завантаження;
- відсутня система автоматичного пріоритетного навантаження.

2.15 Потенціал впровадження ВДЕ

Оцінка потенціалу СЕС:

- доступна площа покрівель $\approx 3\,200\text{ м}^2$;
- встановлена потужність $\approx 300\text{--}350\text{ кВт}$;
- річна генерація $\approx 330\text{--}360\text{ МВт}\cdot\text{год}$.

Це дозволяє покрити до 40 % річного електроспоживання.

2.16 SWOT-аналіз енергетичного стану об'єкту

Сильні сторони

- власна котельня;
- резервне електроживлення.

Слабкі сторони

- зношені конструкції;
- відсутність автоматики.

Можливості

- ВДЕ;
- СЕНМ;
- грантове фінансування.

Загрози

- зростання тарифів;
- військові ризики.

Висновок до розділу 2

У другому розділі роботи було проведено комплексний аналіз енергоспоживання та інженерних систем комплексу будівель Військової частини № АХХХХ з функціональним призначенням госпіталю та адміністративно-господарських приміщень.

У ході дослідження охарактеризовано існуючий стан електро-, тепло-, водопостачання та вентиляції об'єкту, визначено основні проблеми, що негативно впливають на рівень енергоефективності, а саме: значні тепловтрати через огорожувальні конструкції, відсутність автоматизованого погодного регулювання в котельні, зростання обсягів та вартості споживання паливно-енергетичних ресурсів, а також моральне й фізичне старіння частини інженерного обладнання.

На основі фактичних даних за 2022–2024 роки виконано аналіз динаміки споживання електричної та теплової енергії, що дозволило виявити сезонну нерівномірність навантажень і стійку тенденцію до зростання річного енергоспоживання. Це підтвердило необхідність впровадження системного підходу до управління енергоресурсами.

У розділі виконано детальний розрахунок електричного навантаження об'єкту, визначено середню та розрахункову потужність електроспоживачів. Отримані результати показали наявність резерву потужності існуючого трансформаторного обладнання, що створює передумови для подальшої модернізації та впровадження автоматизованих систем без необхідності реконструкції зовнішніх мереж.

Також сформовано тепловий баланс будівель, у межах якого визначено основні джерела теплових надходжень: персонал, електрообладнання, освітлення

та сонячну радіацію. Розрахунок сумарних теплових надходжень дозволяє більш обґрунтовано підходити до вибору режимів роботи систем опалення та вентиляції.

На завершальному етапі розділу запропоновано перелік першочергових заходів з підвищення енергоефективності військового об'єкту, спрямованих на зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищення енергетичної безпеки та зниження експлуатаційних витрат. Реалізація запропонованих рішень створює основу для подальшого впровадження системи енергетичного менеджменту та досягнення сталого розвитку об'єкту в умовах підвищених вимог воєнного часу.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Вихідні базові дані.

Річне споживання електроенергії (2024, фактичні щомісячні дані): сумарно 145 300 кВт·год/рік. (Підсумовано місячні значення 2024 р.)

Річне споживання теплової енергії (зразкова статистика 2022): 2 314,5 Гкал/рік. (таблиця місячних значень).

Опалювальна площа об'єкта: 12 500 м².

Прийняті технічні та тарифні параметри:

- Площа зовнішніх стін для утеплення: 4 000 м²
- Площа вікон: 1 200 м²
- Площа даху: 3 000 м²
- Площа підлоги (через підвал / перекриття): 3 000 м²
- Середній коефіцієнт внутрішньо-зовнішньої температури для розрахунків: $\Delta T = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20[°]C внутрішня - ($\approx -1\text{ }^{\circ}\text{C}$) середня зовнішня в опалювальний період).
- Опалювальний період: 181 доба $\rightarrow$ годин роботи: $181 \cdot 24 = 4\,344$ год.
- Тариф на електроенергію (модель): 4,10 грн/кВт·год.
- Тариф на теплову енергію: 1 650 грн/Гкал.

3.1. Модернізація системи освітлення

Всього світлоточок: 900 шт., розподіл:

- Палати: 400 шт — старі лампи 36 Вт $\rightarrow$ заміна на LED 18 Вт; робота 24 год/добу.
- Коридори: 300 шт — старі лампи 58 Вт $\rightarrow$ LED 20 Вт; робота 12 год/добу.
- Адміністрація/кабінети: 200 шт — старі лампи 75 Вт $\rightarrow$ LED 25 Вт; робота 8 год/добу.

Розрахунок енергозбереження

1) Палати (400 шт):

Різниця потужності: $\Delta P = 36 - 18 = 18\text{ Вт} = 0,018\text{ кВт}$

Робочі години на рік: $24 \cdot 365 = 8\,760\text{ год}$

Щорічна економія: $400 \cdot 0,018\text{ кВт} \cdot 8\,760\text{ год} = 0,018 \cdot 8\,760 = 157,68$
кВт·год на одну лампу $400 \cdot 157,68 = 63\,072\text{ кВт·год/рік}$

2) Коридори (300 шт):

$\Delta P = 58 - 20 = 38\text{ Вт} = 0,038\text{ кВт}$

Години: $12 \cdot 365 = 4\,380$ год

Економія: $300 \cdot 0,038 \cdot 4\,380 = 0,038 \cdot 4\,380 = 166,44$ кВт·год на лампу $300 \cdot 166,44 = 49\,932$ кВт·год/рік

3) Адміністрація (200 шт):

$\Delta P = 75 - 25 = 50$ Вт = 0,05 кВт

Години: $8 \cdot 365 = 2\,920$ год

Економія: $200 \cdot 0,05 \cdot 2\,920 = 0,05 \cdot 2\,920 = 146$ кВт·год/лампу $200 \cdot 146 = 29\,200$ кВт·год/рік

Загальна економія по освітленню: $63\,072 + 49\,932 + 29\,200 = 142\,204$ кВт·год/рік

Вартісна економія: $142\,204 \cdot 4,10 = 142\,204 \cdot 4 = 568\,816$ $142\,204 \cdot 0,1 = 14\,220,4$

Сума = $583\,036,4$ грн/рік $\approx 583\,036$ грн/рік

Інвестиції

Вартість LED-лампи/світильника:

- Паличні/палатні: 800 грн/шт $\cdot 400 = 320\,000$ грн
- Коридорні: $1\,000$ грн/шт $\cdot 300 = 300\,000$ грн
- Адміністрація: $1\,200$ грн/шт $\cdot 200 = 240\,000$ грн

Вартість монтажу/пусконаладження: $200\,000$ грн (включно з заміною аварійних блоків, дротами)

Загальні інвестиції в освітлення: $320\,000 + 300\,000 + 240\,000 + 200\,000 = 1\,060\,000$ грн

Термін окупності (освітлення):

$T = 1\,060\,000 / 583\,036 = 1,82$ роки

Отже, термін окупності, орієнтовано складає 1.8 року.

3.2 Модернізація насосного обладнання та циркуляційних систем

Сумарне річне споживання електроенергії насосними агрегатами (опалення, ГВП, водопостачання) $\approx 80\,000$ кВт·год/рік (типовий показник для госпіталю середнього розміру).

Заміна на енергоефективні насоси + балансування системи дає економію 30% електроенергії насосів.

Інвестиція: заміна набору насосів + автоматика, орієнтовано складає $300\,000$ грн.

Розрахунок.

Економія енергії: $80\,000 \cdot 0.30 = 24\,000$ кВт·год/рік

Вартісна економія: $24\,000 \cdot 4.10 = 98\,400$ грн/рік

Термін окупності.

$T = 300\,000 / 98\,400 \approx 3.05$ роки

3.3 Впровадження сонячної електростанції (СЕС)

Тип: мережева (on-grid) СЕС з резервною АКБ для критичних зон.

Проектна потужність: 200 кВт — розміщується на даху 1 200–1 600 м² (приблизно 7–8 м²/кВт). Площа даху = 3 000 м² → місця достатньо.

Річна генерація: 1 100 кВт·год/кВт·рік → $200 \cdot 1\,100 = 220\,000$ кВт·год/рік.
(у сонячні регіони — більше; у похмуріші — менше).

Економіка:

Економія (грошова) при тарифі 4.10: $220\,000 \cdot 4.10 = 220\,000 \cdot 4 = 880\,000$
 $220\,000 \cdot 0.1 = 22\,000$
Разом = 902 000 грн/рік

Інвестиція в СЕС (встановлення «під ключ»): середня ринкова ціна ~ 35 000 грн/кВт (включаючи інвертори, монтаж, монтажні конструкції) → $200 \cdot 35\,000 = 7\,000\,000$ грн.

Термін окупності (СЕС): $T = 7\,000\,000 / 902\,000 \approx 7.76$ років

3.4 Комплексний підсумок економічного ефекту

Щорічна економія енергії:

Теплові заощадження (утеплення): 903.21 Гкал/рік → в грошах 1 490 297 грн/рік.

Електроенергія — освітлення: 142 204 кВт·год/рік → 583 036 грн/рік.

Електроенергія — насоси: 24 000 кВт·год/рік → 98 400 грн/рік.

СЕС (генерація): 220 000 кВт·год/рік → економія 902 000 грн/рік.

Загальна щорічна економія (фінансова):

$1\,490\,297 + 583\,036 + 98\,400 + 902\,000 = 3\,073\,733$ грн/рік ($\approx 3,073,733$ грн/рік)

Загальне річне зменшення споживання електроенергії (кВт·год):
 $142\,204$ (LED) + $24\,000$ (насоси) – $220\,000$.

Для підсумку енергія з мережі знижується на $(142\,204 + 24\,000 + 220\,000) = 386\,204$ кВт·год/рік (освітлення+насоси+генерація).
Економія CO₂ (орієнтовно):

Електроенергія: $386\,204 \text{ кВт}\cdot\text{год} \cdot 0.6 \text{ кгСО}_2/\text{кВт}\cdot\text{год} \approx 231\,722 \text{ кгСО}_2 \approx 232 \text{ т СО}_2/\text{рік}$.

Тепло (еквівалент в кВт·год): $903.21 \text{ Гкал} \cdot 1\,163 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{Гкал} = 903.21 \cdot 1\,163 = 1\,050\,422 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. Якщо замінюємо газ/тепло з коефіцієнтом $0.20 \text{ кгСО}_2/\text{кВт}\cdot\text{год} \rightarrow 1\,050\,422 \cdot 0.20 \approx 210\,084 \text{ кг СО}_2 \approx 210 \text{ т СО}_2/\text{рік}$.

Сумарна економія $\text{СО}_2 \approx 232 + 210 = 442 \text{ т СО}_2/\text{рік}$ (приблизно).

3.5 Загальні інвестиції та фінансові показники

Інвестиції.

Термомодернізація (стіни + вікна + дах + підлога): 11 000 000 грн

Освітлення (LED + монтаж): 1 060 000 грн

Модернізація насосів + автоматика: 300 000 грн

СЕС 200 кВт: 7 000 000 грн

Загальна інвестиція: $11\,000\,000 + 1\,060\,000 + 300\,000 + 7\,000\,000 = 19\,360\,000$ грн

Щорічна економія: $\approx 3\,073\,733$ грн/рік

Середній термін окупності проєкту.

$T = 19\,360\,000 / 3\,073\,733 = 6,30$ років

Отже, орієнтовано 6.3 років простого строку окупності для всього комплексу заходів.

3.6 Чутливість — вплив зміни тарифу електроенергії

Якщо тариф на електроенергію зросте на 40%, то річна економія від електроенергії (LED + насоси + ефект СЕС) зросте відповідно, що знизить термін окупності СЕС та освітлення. Тобто:

Нова ціна = $4.10 \cdot 1.40 = 5.74$ грн/кВт·год, надасть додатковий річний дохід/заощадження $\sim (5.74 - 4.10) \cdot 386\,204 \approx 1.64 \cdot 386\,204 \approx 633\,000$ грн/рік додатково. Це спричинить загальну щорічну економію ≈ 3.707 млн грн/рік $\rightarrow$ загальний термін окупності $\approx 19.36 / 3.707 \approx 5.22$ років

3.7 Аналіз надійності, експлуатаційної ефективності та впливу енергоефективних заходів на безперервність роботи об'єкта

Впровадження комплексу енергоефективних заходів має не лише економічний, але й суттєвий експлуатаційний ефект, що особливо важливо для об'єктів медичного призначення, які працюють у безперервному режимі. Надійність енергопостачання та стабільність параметрів внутрішнього мікроклімату безпосередньо впливають на якість надання медичних послуг, безпеку пацієнтів і персоналу, а також на довговічність інженерних систем будівлі.

Модернізація системи освітлення шляхом впровадження світлодіодних світильників дозволяє значно зменшити кількість відмов та аварійних ситуацій, пов'язаних із перегоранням ламп, нестабільною роботою пускорегулювальної апаратури та підвищеним тепловиділенням. LED-світильники мають більший ресурс роботи, що зменшує потребу в частому технічному обслуговуванні та знижує навантаження на експлуатаційний персонал. Це особливо важливо для палатних відділень, де доступ до світлоточок часто обмежений режимом перебування пацієнтів.

Модернізація насосного обладнання систем опалення, гарячого водопостачання та циркуляції теплоносія також позитивно впливає на загальну надійність інженерних систем. Використання сучасних насосів із частотним регулюванням забезпечує плавний пуск і зупинку агрегатів, що зменшує гідравлічні удари та механічний знос трубопроводів і арматури. Крім того, автоматичне регулювання продуктивності насосів відповідно до фактичних потреб дозволяє уникнути перевантажень системи в перехідні періоди опалювального сезону.

Впровадження сонячної електростанції з елементами резервного живлення для критично важливих зон підвищує рівень енергетичної безпеки об'єкта. У разі аварійних або пікових навантажень у зовнішній електромережі частина електроспоживання може бути покрита власною генерацією, що знижує ризик повного знеструмлення та пов'язаних із цим негативних наслідків.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів сприяє не лише зменшенню споживання енергоресурсів, але й підвищенню експлуатаційної стійкості будівлі, зниженню аварійності та покращенню умов функціонування медичного закладу в цілому.

3.8 Оцінка впливу термомодернізації на тепловий комфорт та мікроклімат приміщень

Одним із ключових результатів термомодернізації будівлі є покращення теплового комфорту внутрішніх приміщень, що має особливе значення для медичних закладів. Пацієнти з ослабленим здоров'ям є особливо чутливими до температурних коливань, протягів та локальних зон переохолодження, які часто виникають у будівлях з недостатньо утепленими огорожувальними конструкціями.

Утеплення зовнішніх стін, даху та перекриттів дозволяє значно зменшити теплові втрати та вирівняти температурне поле в приміщеннях. Це призводить до зменшення різниці температур між внутрішнім повітрям та поверхнями стін, що, у свою чергу, знижує ризик утворення конденсату та розвитку грибка. Останній фактор є надзвичайно важливим з точки зору санітарно-гігієнічних вимог.

Заміна застарілих віконних конструкцій на сучасні енергоефективні склопакети дозволяє усунути інфільтрацію холодного повітря та зменшити теплові втрати через прозорі огороження. Окрім зменшення витрат теплової енергії, це

позитивно впливає на акустичний комфорт приміщень, що є важливим чинником для палат стаціонарного перебування пацієнтів.

Покращення теплового балансу будівлі дозволяє системі опалення працювати в більш стабільному режимі без різких коливань температури теплоносія. Це зменшує ймовірність локальних перегрівів або недогрівів, підвищує рівень комфорту персоналу та пацієнтів і сприяє загальному покращенню мікроклімату у приміщеннях.

Таким чином, термомодернізація має комплексний ефект, поєднуючи економію енергоресурсів із підвищенням рівня теплового комфорту та поліпшенням умов перебування людей у будівлі.

3.9 Екологічна оцінка реалізації енергоефективних заходів

Зменшення споживання енергоресурсів безпосередньо пов'язане зі скороченням негативного впливу на навколишнє природне середовище. Для об'єктів з великим річним споживанням електричної та теплової енергії екологічний ефект від впровадження енергоефективних заходів є суттєвим і довгостроковим.

Скорочення споживання електроенергії з централізованої мережі зменшує потребу у виробництві електроенергії на теплових електростанціях, що працюють переважно на викопних видах палива. Це призводить до зниження викидів діоксиду вуглецю, оксидів азоту, сірки та твердих частинок, які негативно впливають на якість атмосферного повітря.

Використання сонячної електростанції як відновлюваного джерела енергії дозволяє замінити частину традиційної генерації та сприяє виконанню національних і міжнародних зобов'язань України у сфері скорочення викидів парникових газів. Крім того, використання відновлюваних джерел енергії формує позитивний імідж закладу як соціально відповідальної установи.

Зменшення споживання теплової енергії внаслідок термомодернізації будівлі також призводить до зниження обсягів спалювання природного газу або інших видів палива, що додатково скорочує екологічне навантаження на довкілля.

3.10 Соціально-економічні аспекти впровадження заходів енергоефективності

Реалізація комплексу заходів з підвищення енергоефективності має значний соціально-економічний ефект, який виходить за межі безпосередньої фінансової економії. Зменшення витрат на оплату енергоносіїв дозволяє спрямовувати вивільнені кошти на покращення матеріально-технічної бази закладу, оновлення медичного обладнання та підвищення рівня медичних послуг.

Покращення умов праці персоналу за рахунок стабільного освітлення, комфортного мікроклімату та зниження рівня шуму позитивно впливає на продуктивність праці та зменшує професійне навантаження. Для пацієнтів це означає підвищення рівня комфорту та безпеки під час перебування у закладі.

Крім того, реалізація подібних проєктів сприяє формуванню культури раціонального використання енергоресурсів серед персоналу та відвідувачів, що має довготривалий позитивний ефект.

3.11 Аналіз ризиків та обмежень при впровадженні енергоефективних заходів

Під час реалізації проєктів з підвищення енергоефективності необхідно враховувати можливі ризики, які можуть вплинути на терміни виконання, фактичний економічний ефект та стабільність експлуатації інженерних систем. Для об'єктів медичного призначення такі ризики мають особливу вагу, оскільки будь-які перебої в роботі можуть призвести до негативних соціальних наслідків.

Одним із ключових ризиків є фінансовий ризик, пов'язаний з можливими змінами вартості обладнання, будівельно-монтажних робіт та логістичних витрат. Зростання цін на матеріали або коливання валютних курсів може призвести до перевищення запланованого бюджету проєкту. З метою мінімізації цього ризику доцільно передбачати резерв коштів у кошторисі та укладати договори з фіксованою ціною на ключові етапи робіт.

Технічні ризики включають можливі помилки на етапі проєктування або монтажу обладнання, що може призвести до зниження фактичної енергоефективності або до виникнення аварійних ситуацій. Для їх зменшення необхідно здійснювати авторський та технічний нагляд, а також залучати сертифікованих підрядників із досвідом виконання аналогічних робіт.

Експлуатаційні ризики пов'язані з некоректною роботою обладнання внаслідок недостатньої кваліфікації персоналу або відсутності належного технічного обслуговування. У зв'язку з цим важливим елементом проєкту є навчання персоналу та розроблення регламентів експлуатації модернізованих систем.

3.12 Поетапність реалізації комплексу енергоефективних заходів

З огляду на значний обсяг інвестицій та необхідність забезпечення безперервної роботи медичного закладу, реалізацію енергоефективних заходів доцільно здійснювати поетапно. Такий підхід дозволяє рівномірно розподілити фінансове навантаження та мінімізувати вплив будівельно-монтажних робіт на основну діяльність об'єкта.

На першому етапі доцільно впроваджувати заходи з найкоротшим терміном окупності, зокрема модернізацію системи освітлення та насосного обладнання. Ці заходи не потребують значних конструктивних змін і можуть бути реалізовані без припинення роботи закладу.

Другий етап передбачає реалізацію заходів з термомодернізації огорожувальних конструкцій. Роботи з утеплення стін, даху та перекриттів доцільно виконувати у міжсезонний період або поетапно за зонами будівлі, що дозволяє уникнути значних незручностей для персоналу та пацієнтів.

Третій етап включає впровадження сонячної електростанції та інтеграцію її в існуючу систему електропостачання. Реалізація цього етапу потребує ретельної координації з оператором електричних мереж та дотримання вимог чинних нормативних документів.

3.13 Порівняльний аналіз альтернативних варіантів підвищення енергоефективності

Для обґрунтування вибору запропонованого комплексу заходів доцільно розглянути альтернативні варіанти підвищення енергоефективності будівлі. Одним із таких варіантів є впровадження лише часткової термомодернізації, наприклад утеплення лише зовнішніх стін без заміни вікон та утеплення даху.

Хоча такий підхід потребує менших початкових інвестицій, він не дозволяє досягти максимального ефекту, оскільки значна частина тепловтрат продовжує відбуватися через інші огорожувальні конструкції. Крім того, часткова модернізація може призвести до нерівномірного розподілу температур та утворення зон підвищеної вологості.

Іншим альтернативним варіантом є заміна джерела теплопостачання на індивідуальну котельню з використанням альтернативних видів палива. Такий підхід потребує значних капіталовкладень та складних погоджень, а також пов'язаний з додатковими експлуатаційними ризиками.

Порівняльний аналіз показує, що комплексний підхід, який поєднує термомодернізацію, модернізацію інженерних систем та використання відновлюваних джерел енергії, є найбільш ефективним з точки зору довгострокових економічних та експлуатаційних показників.

3.14 Можливі механізми фінансування енергоефективних заходів

Фінансування проєктів з підвищення енергоефективності може здійснюватися за рахунок різних джерел, що дозволяє зменшити фінансове навантаження на бюджет установи. Одним із можливих механізмів є використання власних коштів закладу, отриманих у результаті оптимізації поточних витрат.

Іншим поширеним механізмом є залучення кредитних ресурсів або фінансового лізингу. У цьому випадку погашення кредиту може здійснюватися за рахунок отриманої економії енергоресурсів, що робить проєкт фінансово самодостатнім.

Також можливим є залучення грантових коштів та програм міжнародної технічної допомоги, спрямованих на підтримку проєктів у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики. Участь у таких програмах дозволяє суттєво скоротити строк окупності проєкту.

3.15 Перспективи подальшого розвитку системи енергоменеджменту об'єкта

Впровадження розглянутих енергоефективних заходів створює основу для подальшого розвитку системи енергоменеджменту об'єкта. Наступним кроком

може стати впровадження автоматизованої системи обліку та моніторингу енергоспоживання, яка дозволить оперативно відстежувати ефективність використання ресурсів та виявляти відхилення від нормативних показників.

Подальший розвиток може включати оптимізацію режимів роботи інженерних систем, впровадження погодозалежного регулювання опалення, а також використання сучасних інформаційних технологій для аналізу енергетичних даних.

Таким чином, реалізація комплексу заходів з підвищення енергоефективності є не завершальним етапом, а основою для формування сталого підходу до управління енергоресурсами, що забезпечує довгостроковий позитивний ефект для об'єкта.

Висновок до розділу 3

Термомодернізація (стіни + вікна + дах + підлога) дає найбільший одиничний економічний ефект, що складає 903 Гкал/рік економії тепла, або приблизно 1,49 млн грн/рік при тарифі 1 650 грн/Гкал. Тобто інвестиція становить 11 млн грн; а окупність 7.4 років.

Модернізація освітлення — швидко окупається (1.8 року) та значно знижує електроспоживання (142 200 кВт·год/рік).

СЕС 200 кВт забезпечує 220 000 кВт·год/рік власної генерації; при інвестиції ≈ 7 млн грн; окупність близько 7.8 років.

Модернізація насосів — дозволить окупити себе за 3.1 року.

Комплексний проєкт показує загальну річну економію 3,07 млн грн/рік і загальну просту окупність 6.3 років — дуже конкурентоздатний показник для об'єктів критичної інфраструктури.

Додаткові переваги. Підвищення енергонезалежності, зменшення CO₂ становить 442 т/рік, підвищення надійності роботи критичного обладнання, відповідність принципам «зеленого» та стійкого розвитку

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ «ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА СИСТЕМ АВТОНОМНОСТІ У ВІЙСЬКОВОМУ ГОСПІТАЛІ»

4.1. Характеристика ідеї стартап-проєкту

Військові госпіталі є об'єктами критичної інфраструктури та повинні працювати безперебійно у воєнний, кризовий і післякризовий періоди. У роботі доведено, що споживання електроенергії, тепла та гарячої води у госпіталі є високим, а діюча інфраструктура — застарілою та енергонеефективною [17].

Ідея стартапу полягає у проєктуванні та впровадженні комплексної системи автономного енергозабезпечення на основі ВДЕ, що включає:

- сонячну електростанцію (СЕС) для покриття базового навантаження;
- систему накопичення енергії (СНЕ) для аварійних режимів;
- теплові насоси для опалення та ГВП;
- сонячні колектори для підігріву води;
- автоматизовану систему енергетичного менеджменту (СЕНМГ);
- ІТП з погодним регулюванням;
- систему пріоритетного живлення критичних зон (операційні, реанімація);
- інтелектуальний енергомоніторинг [18].

Мета стартапу — забезпечити госпіталь енергонезалежністю та скоротити витрати на ПЕР щонайменше на 35–55%, а також гарантувати роботу в умовах аварій або збоїв у мережі [19].

Таблиця 4.1 – Характеристика стартап-проєкту

Параметр	Опис
Опис ідеї	Комплексна модернізація енергетичної системи військового госпіталю через інтеграцію ВДЕ та автоматизації.
Напрямки застосування	Електропостачання, теплопостачання, ГВП, аварійне живлення, резервування критичних зон.
Переваги	Автономність, скорочення витрат, стійкість до криз, екологічність, підвищення надійності медичного обладнання.
Новизна	Створення гібридної системи, яка поєднує СЕС, теплові насоси, ІТП, СНЕ та цифровий енергоменеджмент.

4.2 Порівняння існуючого стану і запропонованого стартапу

Характеристика	Слабкі сторони	Сильні сторони
Вартість впровадження	Високі початкові інвестиції	Окупність протягом 5–7 років
Досвід персоналу	Недостатня експертиза	Можливість навчання, автоматизація
Стан енергосистеми	Значна зношеність	Покращення після модернізації
Автономність	Низька	Висока завдяки СНЕ та СЕС
Надійність роботи медобладнання	Часті ризики відключень	Стале живлення 24/7
Фінансове навантаження	Висока залежність від тарифів	Зменшення витрат на 35–55%
Екологічні показники	Значні викиди CO ₂	Екологічне та «зелене» рішення

Таблиця 4.2 — Порівняльна характеристика слабких та сильних сторін

4.3 SWOT-аналіз

Сильні сторони		Слабкі сторони	
1. Автономне живлення критичних зон.		1. Початкові капіталовкладення.	
2. Скорочення витрат на енергоресурси.		2. Потреба у кваліфікованому персоналі.	
3. Стійкість до аварій в мережі.		3. Необхідність інтеграції в існуючі системи.	
4. Виконання стандартів НАТО щодо резервування енергії.		4. Потреба в технічному супроводі.	
Можливості		Загрози	
1. Державні та міжнародні гранти на ВДЕ.		1. Невірний підбір обладнання.	
2. Зменшення залежності від централізованих мереж.		2. Пошкодження інфраструктури через зовнішні фактори.	
3. Розширення потужності СЕС у майбутньому.		3. Зміни тарифної політики.	
4. Масштабування проєкту на інші госпіталі.		4. Недостатня якість монтажу.	

Таблиця 4.3 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

4.4 Таблиця загроз та шляхів їх вирішення

Загроза	Опис	Запропоноване вирішення
Недостатня експертиза персоналу	Ризик неправильного обслуговування	Навчання, техпідтримка, аутсорсинг
Пошкодження мереж	Військові дії, аварії	Резервні лінії, СНЕ, дублювання
Висока вартість	Інвестиції в обладнання	Гранти ЄС/США, державні програми
Зміна тарифів	Нестабільність ринку	Зменшення залежності від тарифів

Таблиця 4.4 — Протиставлення загроз і варіантів їх ліквідації [20]

4.5. Аналіз ринку та споживачів

Потреба	Споживач	Вимоги
Електроенергія для критичних зон	Госпіталь	Надійність, безперебійність
Теплова енергія для ГВП	Госпіталь	Цілодобова подача
Економія ресурсів	Міністерство оборони	Окупність, стратегічність
Можливість масштабування	Держава	Універсальність, стандартизація

Таблиця 4.5 – Характеристика споживачів стартапу

4.6 Бізнес-модель стартапу

Блок	Зміст
Ціннісна пропозиція	Автономний госпіталь з мінімальною залежністю від мереж
Споживачі	МОУ, військові частини, медзаклади
Канали	державні закупівлі, донорські програми
Ключові ресурси	СЕС, СНЕ, теплові насоси, ІТП
Ключові партнери	МОУ, донорські фонди, постачальники ВДЕ
Витрати	Закупівля обладнання, монтаж, сервіс
Доходи/вигоди	Економія на ПЕР, гранти, зменшення аварій

Таблиця 4.6 – Бізнес-модель (CANVAS)

4.7 Техніко-технологічна концепція стартап-проєкту

Техніко-технологічна концепція стартап-проєкту базується на принципі створення багаторівневої гібридної енергетичної системи, здатної забезпечувати безперебійну роботу військового госпіталю в умовах обмеженого або повністю відсутнього зовнішнього енергопостачання. Основною ідеєю є поєднання різних джерел генерації енергії, систем накопичення та інтелектуального керування в єдиний енергетичний комплекс.

Ключовим елементом концепції є сонячна електростанція, яка використовується для покриття базового електричного навантаження у денний період. Генерована електроенергія в першу чергу спрямовується на живлення внутрішніх споживачів госпіталю, а надлишки — на заряд систем накопичення енергії. Такий підхід дозволяє мінімізувати відбір електроенергії з централізованої мережі та зменшити пікові навантаження.

Система накопичення енергії виконує функцію резервного та аварійного джерела живлення. Вона забезпечує безперервність електропостачання критичних зон у разі відключення зовнішньої мережі, а також дозволяє вирівнювати добові графіки навантаження. Особливу увагу приділено розподілу електроенергії за пріоритетами, що є обов'язковою вимогою для об'єктів військової медицини.

Теплова складова концепції включає використання теплових насосів та сонячних колекторів, що дозволяє значно скоротити споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів. Інтеграція цих систем з індивідуальним тепловим пунктом та погодозалежним регулюванням забезпечує оптимальні режими роботи та стабільний мікроклімат у приміщеннях госпіталю.

4.8 Архітектура системи автономного енергозабезпечення

Архітектура запропонованої системи автономного енергозабезпечення передбачає модульний принцип побудови, що забезпечує гнучкість, масштабованість та можливість поетапного впровадження. Кожен модуль системи виконує чітко визначену функцію та може бути модернізований або розширений без суттєвого втручання в роботу інших елементів.

Електрична частина системи включає генераційний модуль (СЕС), акумуляторний модуль (СНЕ), модуль перетворення та розподілу електроенергії, а також систему автоматичного керування та захисту. Центральним елементом є енергетичний контролер, який аналізує поточний стан генерації, рівень заряду акумуляторів та споживання електроенергії в режимі реального часу.

Теплова частина архітектури складається з теплових насосів, сонячних колекторів, теплоакумуляторів та індивідуального теплового пункту. Така конфігурація дозволяє забезпечити як опалення, так і гаряче водопостачання з мінімальними втратами енергії.

Особливістю архітектури є інтеграція системи енергоменеджменту, яка об'єднує електричну та теплову складові в єдину інформаційно-керуючу платформу. Це дозволяє здійснювати оптимізацію роботи всієї системи з урахуванням прогнозів споживання, погодних умов та доступності відновлюваних джерел енергії.

4.9 Алгоритми роботи системи в штатних та аварійних режимах

У штатному режимі система функціонує з пріоритетом використання відновлюваних джерел енергії. Сонячна електростанція покриває поточне навантаження госпіталю, а надлишкова електроенергія спрямовується на заряд акумуляторних батарей. У разі недостатньої генерації система автоматично компенсує дефіцит за рахунок зовнішньої мережі або накопиченої енергії.

В аварійному режимі, при повному знеструмленні зовнішньої мережі, система переходить у режим автономної роботи. Живлення подається насамперед на

критичні споживачі: операційні блоки, відділення інтенсивної терапії, системи зв'язку та управління. Некритичні навантаження можуть автоматично обмежуватися або відключатися з метою продовження часу автономної роботи.

Алгоритми керування також враховують технічний стан обладнання, рівень заряду акумуляторів та прогнозовану тривалість аварійного режиму. Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну ефективність використання наявних ресурсів і мінімізувати ризики повного знеструмлення.

4.10 Організаційна структура реалізації стартап-проєкту

Для успішної реалізації стартап-проєкту необхідно сформувати чітку організаційну структуру, яка визначає відповідальність, повноваження та взаємодію всіх учасників. Ключову роль у проєкті відіграє керівник проєкту, який відповідає за загальну координацію робіт, дотримання термінів та бюджету.

До складу команди також входять технічні спеціалісти з проєктування електричних та теплових систем, фахівці з автоматизації, економісти та експерти з енергоефективності. Окрему роль відіграють представники госпіталю, які забезпечують взаємодію проєктної команди з експлуатаційним персоналом.

Організаційна структура передбачає тісну співпрацю з державними органами, донорськими організаціями та постачальниками обладнання. Такий підхід дозволяє забезпечити прозорість реалізації проєкту та відповідність вимогам нормативної бази.

4.11 Економічна модель стартап-проєкту

Економічна модель стартап-проєкту базується на оцінці сукупних інвестиційних та експлуатаційних витрат, а також прогнозі економії енергоресурсів у довгостроковій перспективі. Основними статтями витрат є закупівля обладнання, монтажні роботи, проєктування та технічне обслуговування.

Доходна частина моделі формується за рахунок скорочення витрат на електроенергію та теплову енергію, зменшення аварійних простоїв та можливого залучення грантового фінансування. В умовах зростання тарифів на енергоресурси економічна привабливість проєкту суттєво зростає.

Розрахунки показують, що навіть за консервативного сценарію строк окупності стартап-проєкту перебуває в межах 6–8 років, що є прийнятним показником для об'єктів критичної інфраструктури.

4.12 Оцінка соціального ефекту та значення для національної безпеки

Соціальний ефект від реалізації стартап-проєкту проявляється у підвищенні рівня безпеки та якості медичного обслуговування військовослужбовців. Забезпечення

безперервної роботи госпіталю навіть в умовах кризових ситуацій є важливим елементом системи національної безпеки.

Крім того, проєкт сприяє розвитку кадрового потенціалу у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики, формує позитивний приклад для інших об'єктів критичної інфраструктури та підвищує загальний рівень енергетичної культури.

4.13 Масштабування стартап-проєкту та можливості тиражування

Однією з ключових переваг запропонованого стартапу є можливість масштабування та адаптації до інших військових та цивільних медичних закладів. Модульна архітектура системи дозволяє змінювати потужність генерації та накопичення залежно від потреб конкретного об'єкта.

Тиражування проєкту на інші госпіталі дозволить досягти значного сукупного ефекту на рівні держави, зменшити навантаження на енергетичну систему та підвищити стійкість медичної інфраструктури в цілому.

4.14 Відповідність нормативним вимогам та стандартам

Проєкт розроблений з урахуванням чинних будівельних, енергетичних та екологічних нормативів України, а також рекомендацій міжнародних стандартів у сфері енергоменеджменту та резервного електропостачання. Особливу увагу приділено вимогам до об'єктів критичної інфраструктури та медичних закладів.

Дотримання нормативних вимог забезпечує безпеку експлуатації системи, її довговічність та можливість офіційного введення в експлуатацію без додаткових обмежень.

4.15 Аналіз сценаріїв функціонування стартап-проєкту в умовах кризових та воєнних загроз

Особливістю військових госпіталів є необхідність функціонування в умовах підвищених ризиків, пов'язаних із воєнними діями, терористичними загрозами, аваріями на енергетичній інфраструктурі та порушенням логістичних ланцюгів постачання енергоресурсів. У зв'язку з цим стартап-проєкт розглядається не лише як енергоефективне рішення, але й як елемент системи кризового управління.

У першому сценарії (умовно нормальна експлуатація) госпіталь підключений до централізованих мереж електро- та теплопостачання. Відновлювані джерела енергії використовуються для покриття базового навантаження та зменшення витрат на енергоресурси. Система накопичення працює переважно у режимі балансування та резервування.

Другий сценарій передбачає часткові обмеження енергопостачання, що можуть виникати внаслідок аварій або дефіциту потужності в мережі. У цьому випадку система автоматично переходить у режим підвищеної автономності, забезпечуючи живлення критичних зон за рахунок власної генерації та накопиченої енергії.

Третій сценарій є найбільш критичним і передбачає повну втрату зовнішнього електропостачання на тривалий період. У такій ситуації стартап-проект виконує функцію автономного енергетичного комплексу, здатного підтримувати життєво важливі функції госпіталю протягом визначеного часу. Реалізація цього сценарію є ключовим аргументом на користь впровадження проекту.

4.16 Інтеграція стартап-проекту в систему цивільного та військового енергоменеджменту

Запропонований стартап-проект не є ізольованим технічним рішенням, а інтегрується в ширшу систему управління енергоресурсами на рівні військової медицини та держави в цілому. Реалізація таких проектів дозволяє формувати децентралізовану модель енергопостачання, що є більш стійкою до зовнішніх впливів.

Інтеграція передбачає використання єдиних підходів до обліку, моніторингу та аналізу енергоспоживання, що дозволяє порівнювати ефективність різних об'єктів та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Дані, отримані в рамках функціонування системи енергоменеджменту госпіталю, можуть використовуватися для формування звітності на рівні Міністерства оборони та інших уповноважених органів.

Таким чином, стартап-проект виступає пілотним майданчиком для впровадження сучасних підходів до управління енергетичними ресурсами в секторі безпеки та оборони.

4.17 Довгостроковий прогноз розвитку та модернізації системи

Однією з переваг запропонованого стартап-проекту є його орієнтація на довгострокову перспективу. Проектна концепція передбачає можливість подальшого розширення потужностей, оновлення обладнання та інтеграції нових технологій без необхідності кардинальної реконструкції системи.

У середньостроковій перспективі можливе нарощування потужності сонячної електростанції, встановлення додаткових модулів системи накопичення енергії та розширення функціоналу системи енергоменеджменту. У довгостроковій перспективі розглядається інтеграція водневих технологій, мікрогазових установок або інших інноваційних рішень.

Такий підхід забезпечує адаптивність системи до змін у технологічному середовищі, тарифній політиці та нормативній базі, що є важливою умовою сталого розвитку об'єкта.

4.18 Оцінка інноваційності та науково-практичної значущості стартапу

Запропонований стартап-проект має високий рівень інноваційності, оскільки поєднує технічні, організаційні та управлінські рішення в єдину комплексну систему. Інноваційність полягає не лише у використанні відновлюваних джерел енергії, але й у підході до забезпечення автономності об'єкта критичної інфраструктури.

Науково-практична значущість проекту полягає у можливості використання отриманих результатів як основи для подальших досліджень у сфері енергоефективності, автономних енергетичних систем та енергетичної безпеки. Матеріали проекту можуть бути використані при розробці методичних рекомендацій, стандартів та навчальних програм.

4.19 Етичні та правові аспекти реалізації стартап-проекту

Реалізація стартап-проекту у військовому госпіталі потребує врахування етичних та правових аспектів, пов'язаних із безпекою пацієнтів, персоналу та збереженням конфіденційної інформації. Усі технічні рішення повинні відповідати вимогам чинного законодавства України та міжнародним нормам.

Особливу увагу слід приділяти забезпеченню кібербезпеки системи енергоменеджменту, оскільки цифровізація управління створює потенційні ризики несанкціонованого втручання. Впровадження сучасних засобів захисту інформації є обов'язковою умовою реалізації проекту.

4.20 Практичні рекомендації щодо впровадження стартап-проекту

На основі проведеного аналізу сформульовано низку практичних рекомендацій щодо впровадження стартап-проекту. По-перше, реалізацію доцільно розпочинати з детального енергоаудиту об'єкта та уточнення профілів споживання енергії. По-друге, необхідно забезпечити поетапне впровадження з урахуванням пріоритетності критичних зон.

По-третє, важливим є питання підготовки персоналу та створення системи технічної підтримки, що забезпечить стабільну роботу обладнання протягом усього життєвого циклу. По-четверте, доцільно передбачити механізми постійного моніторингу та аналізу ефективності системи з можливістю її подальшої оптимізації.

4.21 Узагальнюючі висновки до стартап-проєкту

У результаті виконання розділу 4 розроблено та обґрунтовано стартап-проєкт «Інтеграція відновлюваних джерел енергії та систем автономності у військовому госпіталі», який відповідає сучасним викликам у сфері енергетичної безпеки та сталого розвитку.

Проєкт поєднує технічну ефективність, економічну доцільність та стратегічну важливість для системи військової медицини. Його реалізація дозволяє забезпечити енергетичну незалежність госпіталю, підвищити надійність медичного обслуговування та створити передумови для масштабування аналогічних рішень на національному рівні.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі було проведено комплексне обґрунтування та розробку стартап-проєкту «Інтеграція відновлюваних джерел енергії та систем автономності у військовому госпіталі».

Це формує стратегічну значущість та інноваційність. Запропонована ідея стартапу виходить за межі простої енергомодернізації. Це створення гібридної інтелектуальної екосистеми, яка поєднує генерацію (СЕС), трансформацію (теплові насоси), акумулювання (СНЕ) та цифрове управління енергією. Новизна проєкту полягає у синергії цих технологій для забезпечення життєдіяльності об'єкта критичної інфраструктури в режимі 24/7, що повністю відповідає стандартам НАТО щодо енергетичної безпеки медичних закладів.

Виконує техніко-економічну ефективність. Прогнозоване зниження витрат на паливно-енергетичні ресурси на 35–55% дозволяє окупити початкові інвестиції протягом 5–7 років. Перехід від повної залежності від зношених централізованих мереж до автономного живлення гарантує стабільну роботу реанімаційних та операційних зон навіть у випадку повних блекаутів.

Проведений SWOT-аналіз виявив, що головними перевагами проєкту є висока автономність та стійкість до кризових явищ. Попри існуючі слабкі сторони (високий поріг входу та потреба у фахівцях), проєкт має потужні можливості для масштабування на рівні всієї країни.

Для нівелювання загроз, зокрема воєнних ризиків та фінансової нестабільності, запропоновано стратегію:

- Залучення міжнародних грантових коштів та донорських програм (ЄС/США).
- Впровадження автоматизації та аутсорсингу для обслуговування складних систем.

- Дублювання критичних вузлів системи для підвищення живучості інфраструктури.

Як наслідок, це ринкові перспективи та бізнес-модель. Основним замовником виступає держава в особі Міністерства оборони України, проте універсальність технічних рішень дозволяє адаптувати цей досвід для цивільних лікарень та інших стратегічних об'єктів.

Розроблений стартап-проект є життєздатним, інвестиційно привабливим та критично необхідним в умовах воєнного стану та енергетичного переходу. Його реалізація дозволить не лише оптимізувати бюджетні видатки, а й вийти на новий рівень безпеки медичного обслуговування військовослужбовців.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі проведено комплексне, багаторівневе дослідження енергетичної інфраструктури військового госпіталю та обґрунтовано необхідність його модернізації із використанням відновлюваних джерел енергії. Аналіз сучасного стану енергосистеми показав, що більшість проблем пов'язана з високою енергоємністю будівель, значними тепловтратами, застарілими інженерними мережами, нестачею автоматизації та слабким рівнем енергетичного менеджменту. Особливо критичним чинником є необхідність цілодобової безперебійної роботи госпіталю як об'єкта, що належить до системи оборони та має підвищені вимоги щодо надійності, автономності в умовах надзвичайних ситуацій і стійкості до зовнішніх впливів.

Проведений огляд тенденцій розвитку енергетичної галузі, національної нормативно-правової бази, світового досвіду та технологічних інновацій довів: сучасні вимоги до енергоефективності вимагають переходу від традиційних систем енергопостачання до гібридних, інтегрованих рішень, які поєднують відновлювані джерела енергії, автоматизовані системи керування попитом, інтелектуальні технології моніторингу та високий рівень цифровізації. Особливо це актуально для медичних закладів критичної інфраструктури, де будь-який збій у електропостачанні може призвести до загрози життю пацієнтів.

В ході виконання роботи проаналізовано особливості енергоспоживання військового госпіталю. Дані за 2022–2024 роки свідчать про стале зростання використання електричної енергії, значну сезонну нерівномірність та високу залежність від зовнішніх мереж. Аналіз параметрів теплової енергії виявив суттєві втрати через неефективність системи опалення, відсутність погодного регулювання та низьку ізоляцію будівель. Додатково розглянуто особливості водопостачання й ГВП, комплексний стан інженерних систем, роботу котельні та трансформаторної підстанції. Усе це продемонструвало системну проблему — госпіталь споживає

більше енергоресурсів, ніж технічно необхідно, що прямо впливає на фінансові, логістичні та експлуатаційні витрати.

У роботі доведено, що традиційна модель енергопостачання більше не може забезпечувати стабільність і безпеку об'єктів оборонного сектору. Саме тому інтеграція ВДЕ — сонячних електростанцій, систем накопичення енергії, теплових насосів, сонячних колекторів, рекупераційних вентиляційних систем — є не просто інструментом економії, а стратегічною необхідністю. Переваги переходу до відновлюваної енергетики включають: підвищення енергонезалежності, зменшення впливу зовнішніх загроз, адаптивність до кризових ситуацій, зниження експлуатаційних витрат, покращення екологічних показників, підвищення надійності живлення критичних медичних систем.

Окремим результатом дослідження стало розроблення стартап-проекту, що передбачає комплексну модернізацію енергетичної системи госпіталю. У стартапі сформовано ідеологію переходу від централізованої системи енергозабезпечення до гібридної енергетичної архітектури, що включає модульну СЕС, резервні акумулюючі системи, інтелектуальний енергоменеджмент, ІТП з погодним регулюванням, автоматизацію головних мереж та цифрову систему аналізу енергоспоживання в реальному часі. Проведений SWOT-аналіз довів переваги такої ініціативи, зокрема високу енергетичну автономність, зменшення вразливості госпіталю до аварій в мережі, перспективу інтеграції з європейськими стандартами критичної інфраструктури та загальну економічну вигоду.

Економічний розділ продемонстрував, що впроваджені заходи забезпечують значну економію ресурсів. При цьому ефективність заходів доведена як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Введення СЕС дозволяє покривати частину денного навантаження, зменшувати тиск на електромережу та стабілізувати напругу, а теплові насоси здатні суттєво скоротити споживання газу та теплової енергії. Системи накопичення енергії забезпечують безперервність

роботи операційних залів, реанімацій, лабораторій та інших критичних блоків навіть у випадку повного відключення електроенергії.

Таким чином, отримані результати дозволяють сформулювати такі ключові висновки:

1. Енергетична інфраструктура військового госпіталю потребує глибокої модернізації, оскільки її поточний стан не відповідає сучасним вимогам надійності, енергоефективності та автономності.
2. Впровадження ВДЕ є доцільним, економічно ефективним та стратегічно важливим напрямом, який забезпечує стійкість функціонування госпіталю у воєнний та післявоєнний періоди.
3. Система енергетичного менеджменту, розроблена в роботі, дозволяє здійснювати прогнозування, моніторинг та оптимізацію споживання, що забезпечує зниження витрат не лише за рахунок модернізації обладнання, а й за рахунок зміни підходів до управління енергоресурсами.
4. Стартап-проект демонструє можливість масштабування моделі на інші військові та цивільні медичні заклади, створюючи універсальний енергоефективний стандарт.
5. Інтеграція цифрових систем управління підвищує надійність, швидкість реакції у аварійних ситуаціях та контроль над енергетичними потоками.
6. Проект повністю відповідає державним пріоритетам щодо енергетичної безпеки, декарбонізації та переходу до сталої енергетики.
7. Комплекс заходів забезпечує економію ПЕР на рівні 35–55%, підвищує надійність енергопостачання та зменшує ризики втрат працездатності обладнання, що критично важливо для медичних установ у період війни.

Отже, модернізація енергетичної інфраструктури військового госпіталю з використанням відновлюваних джерел енергії є не лише технічно обґрунтованим,

а й стратегічно необхідним кроком, що забезпечує сталий розвиток, надійність та енергетичну безпеку критично важливих об'єктів медичної сфери України. Отримані результати роботи мають практичне значення, можуть бути імплементовані в реальні проєкти госпіталів і військових частин та становлять цінну основу для подальших досліджень і вдосконалення моделей енергоефективності у секторі оборони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: концепції, структура та перспективи розвитку в Україні // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. — К.: ІЕД НАНУ, 2012. — С. 7–28.
2. Романченко О.С., Денисюк С.П. Методологія оптимізації режимів споживання електроенергії в мікромережах (Microgrid) // Матеріали XXVI міжнародної науково-практичної конференції «Інновації в енергетиці». — Львів: ЛЕЕІ, 2021. — С. 145–153.
3. Лісовий М.В., Тищенко О.М. Відновлювані джерела енергії в системах критичної інфраструктури: технічні рішення та практичні підходи // Вісник Національного технічного університету «КПІ». — К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2020. — С. 33–45.
4. Ковальчук І.В., Горобець С.В. Автономні системи енергопостачання для медичних закладів: досвід впровадження // Енергетика: економіка, технології, екологія. — №4(68). — К., 2021. — С. 19–29.
5. Савчук С.В. Система енергетичного менеджменту бюджетних установ: теорія, практика, нормативна база. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2019. — 136 с.
6. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Solutions for Critical Infrastructure // Abu Dhabi: IRENA Report Series, 2021. — P. 12–48.
7. NATO Energy Security Centre of Excellence. Energy Resilience Principles for Military Medical Facilities // Technical Report. — Vilnius: ENSEC COE, 2020. — P. 5–39.
8. European Commission. Green Energy and Efficiency Guidelines for Healthcare Facilities // Brussels: EC Publications, 2020. — P. 22–61.
9. Schneider Electric. Smart Hospital Infrastructure: Energy Monitoring and Automation // Corporate White Paper. — Paris, 2022. — P. 4–27.

- 10.Siemens Energy. Integrated Energy Systems for Medical Institutions // Technical documentation series. — Berlin, 2021. — P. 10–38.
- 11.BloombergNEF. Global Energy Storage Systems: Market Outlook 2023 // BNEF Analytical Report. — London, 2023. — P. 6–44.
- 12.U.S. Department of Energy. Energy Resilience for Public Hospitals: Standards and Methods // Washington: DOE Guidelines, 2022. — P. 15–72.
- 13.ABB. Моделювання та оптимізація електроживлення медичних об'єктів // ABB Engineering Papers. — Цюрих, 2020. — С. 3–14.
- 14.ДБН В.2.5-39:2021 Інженерне обладнання будівель і споруд. Електропостачання. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2021. — 104 с.
- 15.ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020. — 48 с.
- 16.Міненерго України. Огляд стану енергетичної інфраструктури об'єктів критичної інфраструктури України (аналітичний звіт). — Київ, 2023. — 52 с.
- 17.Левченко Р.М., Оніщенко Т.І. Енергоефективність теплопостачання медичних закладів: методи та технології // Теплоенергетика і енергоефективність. — Харків: УкрЕНІ, 2020. — С. 41–55.
- 18.USAID. Resilient Facilities: Renewable Energy for Healthcare // USAID Technical Papers. — Washington, 2023. — P. 18–66.
- 19.EBRD. Green Financing for Public Healthcare Energy Modernization // EBRD Guidance Notes. — London, 2022. — P. 7–31.
- 20.Українська асоціація відновлюваної енергетики (УАВЕ). Аналітичний огляд розвитку ВДЕ в Україні у 2023 році. — Київ, 2023. — 56 с.