

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра теплової та альтернативної енергетики

«На правах рукопису»
УДК 697:621.31

До захисту допущено
Завідувачка кафедри

_____ Ольга ЧЕРНОУСЕНКО
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«_____» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності
144«Теплоенергетика»

на тему: «Енергетична ефективність лікарні в м. Чернігів (комплексний)»

Виконала: студентка ІІ курсу, групи ТЕ-31мп

_____ Наталія ДОРОШКО _____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Науковий керівник старший викладач, кандидат техн. наук
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

_____ Надія БУЯК _____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант з _____ доцент, кандидат техн. наук, доцент
моделювання енергетичних _____
процесів і систем _____
(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

_____ Ірина СУХОДУБ _____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

Науковий керівник _____

Київ – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації «Енергетична ефективність лікарні в м. Чернігів» складається з 6 розділів, пояснювальна записка містить 131 сторінку основного тексту. Основний текст роботи містить 49 рисунків, 45 таблиць та 21 джерело у переліку посилань.

Метою магістерської дисертації є розрахувати енергопотребу та енергоспоживання будівлі для опалення, охолодження та показники енергоефективності відповідно до ДСТУ 9190 для існуючого (базового) та альтернативних сценаріїв модернізації; провести розрахунки в проектних програмних середовищах RETScreen, PV*SOL та TSol для моделювання підвищення енергоефективності закладу охорони здоров'я. Також проведення оцінки рівня теплого комфорту лікарні та визначення категорії будівлі щодо забезпечення комфортних умов.

Ключові слова: енергетична ефективність, енергозбереження, енергопотреба, енергоспоживання, економія, тепловий комфорт, моделювання, підвищення енергоефективності.

SUMMARY

The explanatory note to the master's thesis “Energy Efficiency of the Hospital in Chernihiv” consists of 6 chapters, the explanatory note contains 131 pages of the main text. The main text of the work contains 49 figures, 45 tables and 21 sources in the list of references.

The purpose of the master's thesis is to calculate the energy demand and energy consumption of the building for heating, cooling and energy efficiency indicators in accordance with DSTU 9190 for the existing (baseline) and alternative modernization scenarios; to conduct calculations in the design software environments RETScreen, PV*SOL and TSol to model the energy efficiency of a healthcare facility. Also, to assess the level of thermal comfort of the hospital and determine the category of the building to ensure comfortable conditions.

Keywords: energy efficiency, energy saving, energy demand, energy consumption, savings, thermal comfort, modeling, energy efficiency improvement.

Пояснювальна записка
до магістерської дисертації

на тему: Енергетична ефективність лікарні в м. Чернігів
(комплексний)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень, термінів.....	8
Вступ.. ..	9
1 Загальна характеристика об'єкту дослідження.. ..	10
1.1 Загальні відомості та призначення будівлі.	10
1.2 Аналіз фактичного річного споживання енергоносіїв.	12
1.3 Висновки за розділом 1.. ..	18
2 Розрахунок енергоспоживання та ефективності будівлі відповідно до ДСТУ 9190.. ..	19
2.1 Розрахунки для режиму опалення. Сумарна теплопередача трансмісією..	19
2.2 Розрахунки для режиму охолодження. Сумарна теплопередача трансмісією.. ..	42
2.3 Визначення класу енергоефективності будівлі.	49
2.4 Визначення альтернативного випадку.. ..	51
2.5 Висновки за розділом 2.. ..	56
3 Підвищення енергоефективності закладу охорони здоров'я.. ..	58
3.1 Енергетичне моделювання в програмному середовищі RETScreen.....	58
3.2 Проектування альтернативних джерел енергії в програмному середовищі PV*SOL premium.....	64
3.3 Проектування та вибір оптимальної геліосистеми в програмі TSol.....	69
3.4 Висновки за розділом 3.. ..	78
4 Оцінка рівня теплового комфорту лікарні та аналіз життєвого циклу.....	79
4.1 Аналіз температури внутрішнього повітря та вологості об'єкту.....	79
4.2 Розрахунок комфорту в палаті №8.	81
4.3 Екологічна та енергетична оцінка життєвого циклу утеплення будівлі....	86
4.4 Висновки за розділом 4.. ..	97
5 Стартап-проект по інтелектуальному управлінню енергоспоживання у лікарні.. ..	99
5.1 Загальний опис ідеї.....	99
5.2 Ключові види діяльності проекту.....	104
5.3 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту.. ..	111
5.4 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту.	113
5.5 Грошовий потік і оцінка вартості проекту.	115
5.6 Висновки за розділом 5.....	117
6 Охорона праці та пожежна безпека під час монтажу сонячної електричної станції.....	118
6.1 Загальна характеристика об'єкта, технічні характеристики серійного енергетичного устаткування та систем енергопостачання.....	118
6.2 Визначення обсягів і послідовності робіт у ході експлуатації або під час модернізації енергетичного об'єкту.....	119

						МД 24 144 62 02 ПЗ					
Змн.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата	Чернігівська лікарня №3			Стадія	Аркуш	Аркушів
Разробив	Дорошко								МДп	7	135
Перевірів	Буяк								КПІ ім. І.Сікорського, Кафедра ТАЕ, Гр. ТЕ-31мп		
Реценз.											
Н. Контр.	Боженко										
Затверд.	Черноусенко										

6.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях.....	120
6.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників....	121
6.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці.....	122
6.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників..	123
6.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків пожеж і вибухів.....	125
6.8 Висновки за розділом 6.	126
Висновки..	128
Список використаної літератури..	129
Додатки.....	132
Додаток А Список наукових праць.....	132
Додаток Д Перевірка магістерської дисертації на академічну добросовісність.....	133

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

СКОРОЧЕННЯ

ГВП – гаряче водопостачання;
ХВП – холодне водопостачання;
ІТП – індивідуальний теплопункт;
ДСТУ – державний стандарт України;
ДБН – державні будівельні норми;
СЕС – сонячна електростанція;
EPD – environmental Product Declaration;
ККД – коефіцієнт корисної дії.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Q – сумарна теплопередача;
 ϑ – внутрішня температура в будівлі в опалювальний період;
 ϑ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища;
 $EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні;
 t – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок.

ІНДЕКСИ

вік – вікно;
дв – двері;
ст – стіни.

ТЕРМІНИ

Енергетична ефективність — це раціональне споживання усіх енергетичних ресурсів шляхом меншого їх використання для забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві тією ж кількістю енергії.

ВСТУП

Проблема енергетичної ефективності є однією з найактуальніших у галузі будівництва та енергетики. З метою вирішення цієї проблеми був проведений енергетичний аудит у місті Чернігів, який був спрямований на підвищення рівня енергоефективності закладу охорони здоров'я.

Основною метою магістерської дисертації було розроблення комплексу енергозберігаючих заходів щодо підвищення енергетичної ефективності інженерних систем та джерел енергозабезпечення, а також проведення екологічної та енергетичної оцінки рівня теплового комфорту лікарні та визначення категорії будівлі щодо забезпечення комфортних умов.

У процесі роботи було розраховано енергопотребу та енергоспоживання будівлі для опалення, охолодження та показники енергоефективності відповідно до ДСТУ 9190 для існуючого (базового) та альтернативних сценаріїв модернізації.

У процесі роботи було розраховано в проектних програмних середовищах RETScreen, PV*SOL та TSol різні заходи для підвищення енергоефективності закладу охорони здоров'я.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості та призначення будівлі

Об'єктом дослідження є медичний заклад у м. Чернігові — багатoproфільний сучасний лікувально-профілактичний заклад, де створено всі необхідні умови для ефективного лікування пацієнтів (рис. 1.1). Рік будівництва — 1989. У лікарні працює 485 осіб, зокрема: лікарів — 80; середніх медичних працівників — 187.



Рисунок 1.1 – Чернігівська міська лікарня №3

В будівлі надаються лікувально – профілактичні послуги в галузі медицини. Використовуються передові технології для діагностики та лікування різних захворювань. У лікарні ви можете скористатися послугами таких відділень, як кардіологія, гастроентерологія, неврологія, гінекологія, стоматологія, офтальмологія та інші. Також працює лабораторія зі сучасним обладнанням, де проводяться різні аналізи та дослідження для більш точної діагностики.

Будівля має складну форму в плані та складається з чотирьох частин різної поверховості (рис. 1.2):

- будова А (головна) – має лікувальний корпус, який складається з шести поверхів;
- харчоблок – приєднана будівля до блоку А, який складається з двох поверхів;
- будова Б – має адміністративний корпус, який складається з чотирьох поверхів;

– будова В – має розміщене рентгенологічне відділення, яке складається з одного поверху.

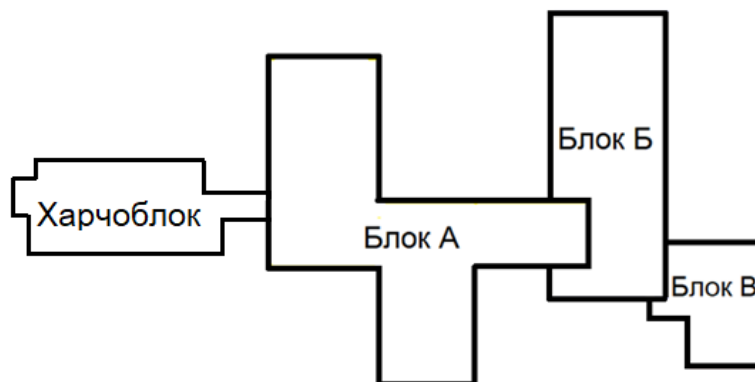


Рисунок 1.2 – Схематичне представлення закладу охорони здоров'я

Кліматичні умови розміщення:

- Кліматична зона – І [1];
- Розрахункова температура внутрішнього повітря – 22 °С [1];
- Розрахункова температура зовнішнього повітря – мінус 23 °С [1];
- Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період по населеному пункту в цілому – мінус 0,2 °С [1];
- Середня швидкість вітру в опалювальний період – 4,3 м/с [1];
- Тривалість опалювального періоду – 204 дні [1].

Наведемо дані про основні розмірні параметри будівлі (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні розмірні показники

Частина будівлі, К-сть пов.	Площа забудови, м ²	Загальний об'єм, м ³	Кондицій. площа, м ²	Кондицій. об'єм, м ³
Зона А	2 279	45 580	12 222	36 666
Зона Б	1 229	18 859	4 572	13 259
Зона В	575	2 070	496	1 547
Харчоблок	455	2 866	638	1 886
Всього	4 083	66 509	17 290	51 472

В будівлі надаються лікувально – профілактичні послуги в галузі медицини. Також застосовуються сучасні технології для діагностики та лікування різних захворювань. Тут пацієнти можуть отримати допомогу у відділеннях кардіології, гастроентерології, неврології, гінекології, стоматології, офтальмології та інших. Функціонує лабораторія з сучасним обладнанням, де проводяться різноманітні аналізи для точної діагностики. Узагальнимо режим роботи об'єкту та тривалість перебування людей (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Режим роботи опалення та графік перебування людей

Графік перебування людей, год/добу	Робочі дні	Субота	Неділя	Святкові дні
(Блок А)	Цілодобово	24	24	24
(Блок Б)	8 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	-	-	-
(Блок В)	8 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	-	-	-
Харчоблок	8 ⁰⁰ – 19 ⁰⁰	8 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	8 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	8 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰

Отже, адміністративний корпус і рентгенологічне відділення працюють щодня з восьмої ранку до шістнадцятої години, окрім суботи та неділі. Лікувальний корпус забезпечує роботу цілодобово. У закладі працює близько 500 осіб, кількість пацієнтів складає приблизно 250, а загальна кількість присутніх – 705 осіб.

1.2 Аналіз фактичного річного споживання енергоносіїв

Наведемо дані про споживання електроенергії за 2021-2023 роки в табл. 1.3 та покажемо візуально зміну споживання на рис. 1.3.

№	Місяць	2021		2022		2023	
		кВт·год	грн	кВт·год	грн	кВт·год	грн
1	Січень	53990,56	355258	69120,36	454812	62968,45	414332
2	Лютий	47346,75	311541	56241,9	370072	50915,7	335025
3	Березень	79334,58	522021	49714,8	327123	48184,8	317056
4	Квітень	38289,58	251945	41473,6	272897	46481,4	305848
5	Травень	53202,59	350073	28191,1	185497	65003,3	427722
6	Червень	40397,59	265816	27538,3	181202	45337,8	298323
7	Липень	48963,42	322179	35273,7	232101	85991,4	565823
8	Серпень	41364,06	272175	35424,6	233094	94666,2	622903

Продовження таблиці 1.3

9	Вересень	39147,57	257591	38065,5	250471	37550,7	247083
10	Жовтень	43554,23	286586	34693,5	228283	48146,7	316805
11	Листопад	51323,34	337707	49184,4	323633	52050,6	342493
12	Грудень	85 115	560056	99 394	654013	85 978	565735
Σ	Всього	622 029	4092948	564 316	3713199	723 275	4759151

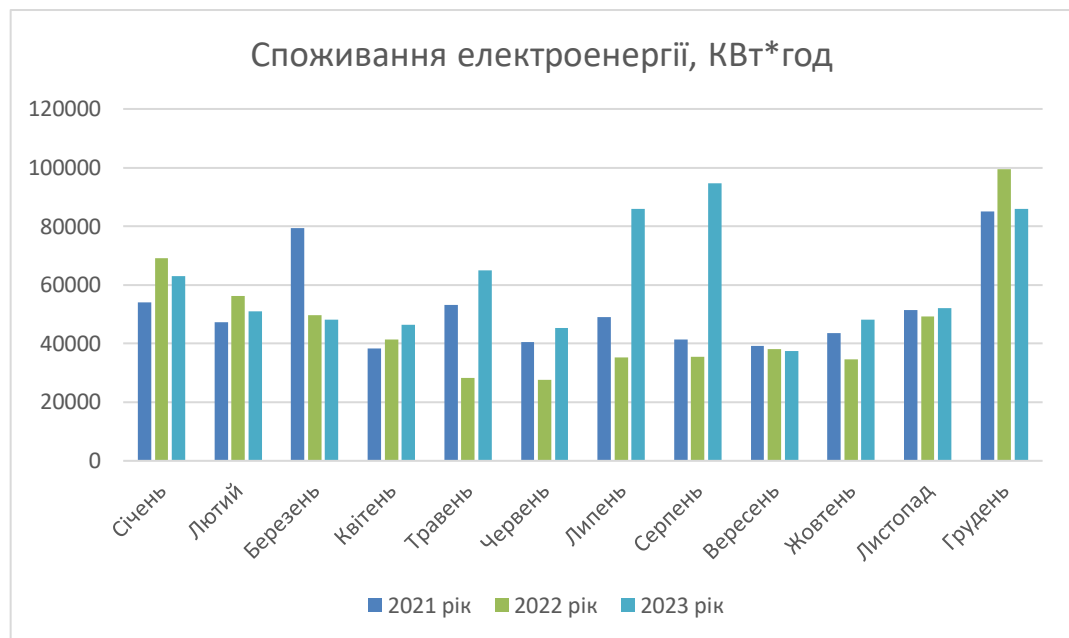


Рисунок 1.3 – Споживання електричної енергії за 2021-2023 роки

Споживання електроенергії в лікарні відбувається завдяки роботі систем освітлення, ліфтового обладнання та лабораторного устаткування. Як видно з рис. 1.3, протягом року це споживання є нерівномірним, що пояснюється зміною тривалості світлового дня та використанням різних додаткових електроприладів для діагностики й досліджень захворювань пацієнтів, а також застосуванням електрообігрівачів у палати під час опалювального сезону. Через нерівномірне прогрівання приміщень деякі з них використовують електрообігрівачі як додаткове джерело тепла, що призводить до значного збільшення споживання електроенергії взимку.

Загалом рівень споживання електроенергії є досить високим. Якщо розглядати показники за окремими роками, то найбільше споживання було зафіксовано у 2023 році, а найменше – у 2022-му.

Це пояснюється тим, що у 2020 році розпочалося поширення нової інфекції COVID-19, і медичний заклад був переповнений пацієнтами, самий спалах інфікованих припав на 2021 рік, коли всі палати були переповнені пацієнтами, тому вся медична техніка та обладнання працювали цілодобово в посиленому режимі.

Якщо розглянути проблематику 2023 року щодо високого електроспоживання в медичних закладах, то із початком військового вторгнення після 2022 року палати були переповнені пораненими військовослужбовцями. Лікарня надавала їм різні послуги з обстеження чи лікування цілодобово, аби надати різну медичну допомогу та врятувати життя.

Наведемо дані про споживання теплової енергії за 2021-2023 роки в табл. 1.4 та покажемо візуально зміну споживання на рис. 1.4.

№	Місяць	2021		2022		2023	
		Гкал	грн	Гкал	грн	Гкал	грн
1	Січень	608,222	2053959	600,546	2026201	548,127	1851024
2	Лютий	74,25	250742	75,537	254964	365,706	1234989
3	Березень	323,748	1093297	290,496	981221	408,204	1378491
4	Квітень	236,768	799566	402,976	1360593	343,49	1159999
5	Травень	73,748	249047	107,944	364513	180,765	610443
6	Червень		—		—		—
7	Липень		—		—		—
8	Серпень		—		—		—
9	Вересень		—		—		—
10	Жовтень		—		—		—
11	Листопад	52,326	176705	127,908	431918	117,606	397135
12	Грудень	676	2282852	593	2002561	500	1688500
Σ	Всього	2045	6905965	2198	7422646	2464	8320928



Рисунок 1.4 – Споживання теплової енергії за 2021-2023 роки

Теплову енергію використовують тільки для потреб опалення приміщень. Як ми можемо побачити з рисунку 1.4, споживання теплової енергії відбувається лише в опалювальний сезон з листопада по травень включно. З червня по жовтень включно за всі 3 роки споживання теплової енергії було нульовим, так як це неопалювальний сезон.

Якщо порівняти ці три роки, то ми бачимо, що найменше було спожито теплової енергії у 2021 році, тоді в 2022 році споживання дещо підвищилося, у 2023 році спостерігається найбільший показник споживання теплової енергії – 2464 Гкал.

Це зумовлено тим, що збільшилося навантаження на лікарню, через війну зросла кількість пацієнтів, що потребують лікування, у тому числі стаціонарного. Також, активніше використання палат і робочих приміщень, які потребують обігріву та забезпечення підвищених нормативних вимог умов комфорту щодо перебування людей із підвищеною чутливістю.

Також проблемним питанням дослідження нашого об'єкту є те, що будівля побудована в 80-их роках, не відповідає нормативним сучасним вимогам.

Наведемо дані про споживання холодного та гарячого водопостачання за 2021-2023 роки в табл. 1.5 та покажемо візуально зміну споживання холодної води на рис. 1.5 та зміну споживання гарячої води на рис. 1.6.

Таблиця 1.5 – Річне споживання холодної та гарячої води

Рік	ХВП		ГВП	
	м ³	грн	м ³	грн
2021	24 823	386246	4 964	828045
2022	23 470	365193	5 849	975672
2023	20 995	326682	7 626	1272093

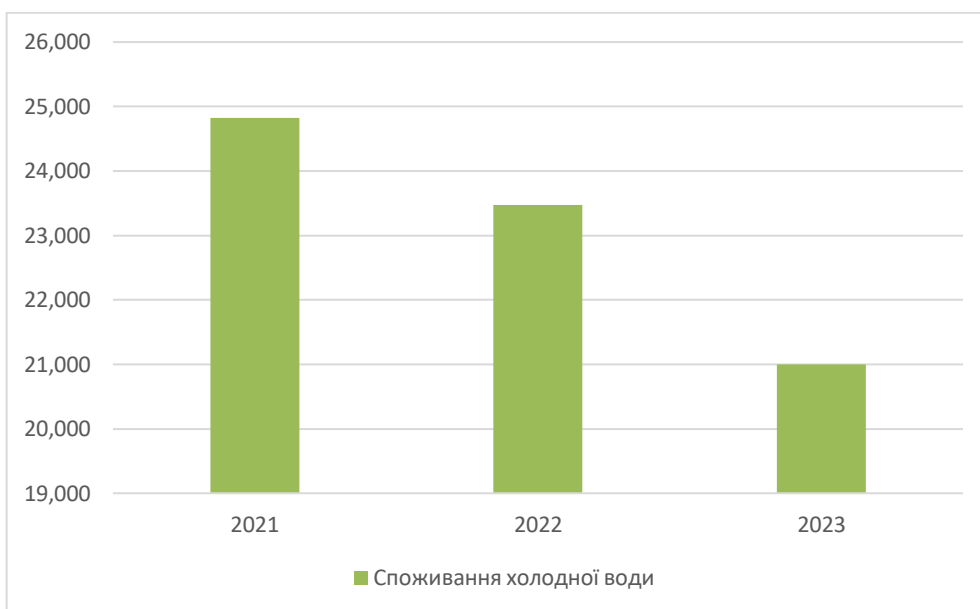


Рисунок 1.5 – Графік споживання холодної води

Як видно з рисунку 1.5, споживання холодної води з кожним роком зменшується. Це пояснюється тим, що через військові дії в країні були часті перебої з постачанням води, що змусило лікарню знизити її споживання незалежно від потреб, натомість в пріоритеті було забезпечення гарячим водопостачанням пацієнтів.

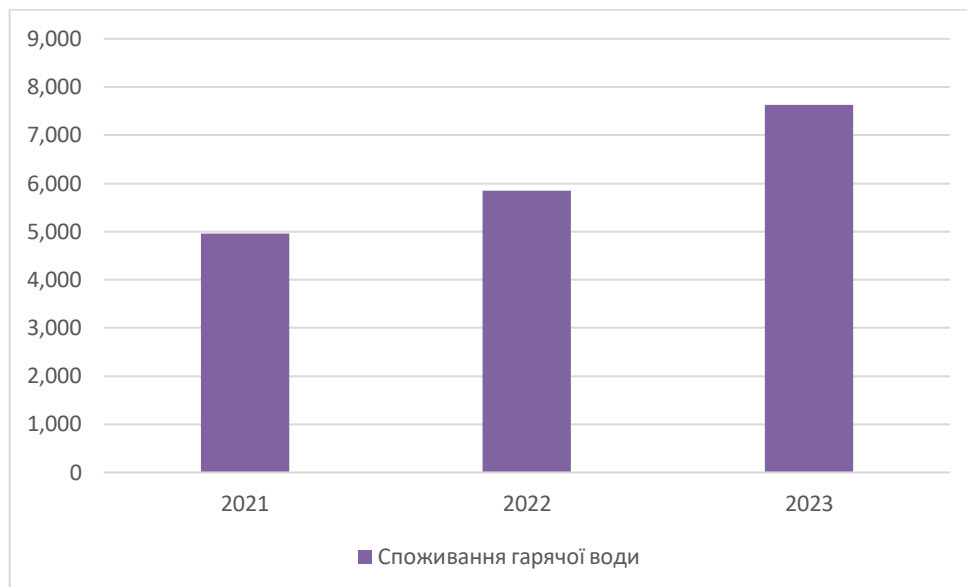


Рисунок 1.6 – Графік споживання гарячої води

З рисунку 1.6 бачимо, що гаряче водопостачання значно збільшувалося з кожним роком. Найнижчим показник є у 2021 році, а найвищим у 2023 році.

Через те, що як і в умовах пандемії так і в умовах військового стану, зростає потреба в частішій санітарній обробці приміщень, інструментів та рук медперсоналу, що вимагає більшого використання гарячої води.

Також, враховуючи ситуацію в країні, зростання кількості госпіталізованих пацієнтів, призводить до зростання потреби у гарячій воді для гігієнічних процедур, приготування їжі, прання.

Тарифи на енергоносії об'єкту продемонстровано в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Тарифи на енергоносії

Назва енергоносія	Тариф, грн
Теплопостачання, Гкал	3377
Електропостачання, кВт·год	6,58
ГВП, м ³	166,81
ХВП, м ³	15,56
Водовідведення	15,35

1.3 Висновки за розділом 1

Під час аналізу поточного стану об'єкту дослідження стає очевидним запровадження заходів вдосконалення енергетичної ефективності, що дозволить знизити споживання енергоносіїв і відповідно.

Із побудованих графіків, ми побачили, що з 2021 до 2023 року споживання теплової, електричної енергії та водоспоживання значно збільшилося. Загалом причиною цього є складна ситуація в країні, застаріле неефективне обладнання та інженерні системи через, які відбуваються значні втрати, а також недотримання нормативних вимог комфорту в приміщеннях для людей із підвищеною чутливістю.

Застосування спеціалізованих програмних забезпечень дасть змогу визначити оптимальні рішення, що враховують різні аспекти енергозбереження і сприятимуть зниженню споживання енергоресурсів будівлею, а також дотримання усіх нормативних вимог щодо комфорту.

2 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ВІДПОВІДНО ДО ДСТУ 9190

2.1 Розрахунки для режиму опалення. Сумарна теплопередача трансмісією

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\vartheta_{int,set,H} - \vartheta_e) \cdot t, \quad (2.1)$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією знайдемо за формулою

$$H_{tr,adj} = H_D + H_G + H_u + H_A, \quad (2.2)$$

Знайдемо узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища за формулою

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i, \quad (2.3)$$

де $b_{tr,x} = 1$ – поправочний коефіцієнт.

Підставимо значення у формулу 2.3.

$$\begin{aligned} H_D = & A_{\text{ст.Пн-Сх}} \frac{1}{R_{\text{ст.Пн-Сх}}} + A_{\text{ст.Пд-Сх}} \frac{1}{R_{\text{ст.Пд-Сх}}} + A_{\text{ст.Пд-Зх}} \frac{1}{R_{\text{ст.Пд-Зх}}} + \\ & + A_{\text{ст.Пн-Зх}} \frac{1}{R_{\text{ст.Пн-Зх}}} + A_{\text{в}} \frac{1}{R_{\text{в}}} + A_{\text{дах}} \frac{1}{R_{\text{дах}}} + A_{\text{дв}} \frac{1}{R_{\text{дв}}} = 1903,14 \frac{1}{0,77} + \\ & + 1655,1 \frac{1}{0,77} + 2006,2 \frac{1}{0,77} + 1670,8 \frac{1}{0,77} + \\ & + (503,9 + 321,3 + 520,1 + 337,3) \frac{1}{0,62} + 4083 \frac{1}{2,31} + \\ & + (6,4 + 16,3 + 11,6 + 24,1) \frac{1}{0,51} = 13992,2 \text{ Вт / К}, \end{aligned}$$

Знайдемо стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту за формулою

$$H_G = A \cdot U, \quad (2.4)$$

де A – площа підлоги: $A = 4083 \text{ м}^2$;

U – коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Порахуємо коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту:

– якщо $d_t < B'$ (неізолювана або посередньо ізолюваною підлога) за формулою 2.5,

– якщо $d_t > B'$ (добре ізолювана підлога) за формулою 2.6:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right), \quad (2.5)$$

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (2.6)$$

де d_t – еквівалентна товщина підлоги [м];

B' – характерний розмір підлоги, що дорівнює відношенню площі підлоги на половину периметра підлоги.

Знайдемо характерний розмір підлоги за формулою

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \quad (2.7)$$

де P – периметр підлоги за внутрішніми обмірами зовнішніх стін: $P = 521,38 \text{ м}$.

Тоді підставимо значення у формулу 2.7:

$$B' = \frac{4083}{0,5 \cdot 521,38} = 15,7,$$

Знайдемо еквівалентну товщину підлоги за формулою

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (2.8)$$

Підставимо всі значення у формулу 2.8:

$$d_t = 0,59 + 2 \cdot (0,17 + 5,78 + 0,043) = 12,6 \text{ м}$$

Отримали, що $d_t < B'$, тоді розрахунок коефіцієнта теплопередачі підлоги по ґрунту далі ведемо за формулою 2.5. Підставимо всі значення:

$$U = \frac{2 \cdot 2}{\pi \cdot 15,7 + 12,6} \ln \left(\frac{\pi \cdot 15,7}{12,6} + 1 \right) = 0,103 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

Порахуємо стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту підставивши отримані значення у формулу 2.4:

$$H_G = 4083 \cdot 0,103 = 420,8 \text{ Вт} / \text{К},$$

Підставимо отримані значення у формулу 2.2, знайдемо загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією:

$$H_{tr,adj} = 13992,2 + 420,8 = 14413 \text{ Вт} / \text{К},$$

Знайдемо теплопередачу трансмісією, за формулою 2.1, для січня місяця:

$$Q_{tr}^I = 14413 \cdot (22 - (-5,9)) \cdot 744 = 29178,92 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно.

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок теплопередачі трансмісією (опалювальний період)

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	$t, \text{ год}$	$H_{tr,adj}, \text{ Вт/К}$	$Q_{tr}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$
I	-5,9	744	14412,982	299178,92
II	-4,9	672		260540,60
III	-0,1	744		236984,02
IV	8	528		106540,77
X	6,9	336		73125,71

Продовження таблиці 2.1

XI	1	720		217924,29
XII	-3,5	744		273443,10
Разом				1467737,41

2.1.1 Сумарна теплопередача вентиляцією

Сумарну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\Theta_{int,set,H} - \Theta_e) \cdot t, \quad (2.9)$$

де t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за [2];

$H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К, що

розраховується наступним чином за формулою

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \left(\sum (b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}) \right), \quad (2.10)$$

де $\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює 0,33 Вт·год/м³·К;

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k -го елемента повітряного потоку зі значенням $b_{ve,k} \neq 1$, якщо температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища, для даного розрахунку приймаємо $b_{ve,k} = 1$;

$q_{ve,k,mn}$ – усереднена за часом витрата повітря, м³/люд :

$$q_{ve,k,mn} = N \cdot 0,08 = 1455 \cdot 0,08 = 116,4 \text{ м}^3 / \text{люд},$$

де N – кількість осіб у лікарні.

Витрата на 1 людину в лікарні – 80 л/люд (0,08 м³/люд). Тоді, підставимо значення в формулу 2.10, отримаємо:

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot 1 \cdot 116,4 = 38,4 \text{ Вт} / \text{К},$$

Наведемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою для січня місяця, підставивши значення у формулу 2.9:

$$Q_{ve}^I = 38,4 \cdot (22 - (-5,9)) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 797,3 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією (опалювальний період)

Місяць	θ_e , °C	t , год	$H_{ve,adj}$,Вт/К	Q_{ve} , кВт·год
I	-5,9	744	38,4	797,34
II	-4,9	672		694,37
III	-0,1	744		631,59
IV	8	528		283,94
X	6,9	336		194,89
XI	1	720		580,79
XII	-3,5	744		728,75
Разом				3911,66

2.1.2 Сумарна теплопередача для режиму опалення будівлі

Сумарну теплопередачу для кожної зони будівлі та для кожного місяця, кВт·год, визначається за формулою

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2.11)$$

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для січня місяця, за формулою 2.11:

$$Q_{ht}^I = 299178,92 + 797,3 = 299976,3 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Сумарна теплопередача для інших місяців знаходиться аналогічно. Для наочності зведемо розрахунок до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму опалення

Місяць	$Q_{tr}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{ve}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{ht}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
I	299178,92	797,34	299976,26
II	260540,60	694,37	261234,97
III	236984,02	631,59	237615,61
IV	106540,77	283,94	106824,71
X	73125,71	194,89	73320,59
XI	217924,29	580,79	218505,08
XII	273443,10	728,75	274171,85
Разом			1471649,08

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у будівлі, що розглядається, кВт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.12)$$

де $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела,

що включає теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, Вт/м², [2];

A_f – опалювальна площа будівлі, $A_f = 17290$ м²;

t – тривалість періоду використання, год/місяць.

Для закладів охорони здоров'я:

– метаболічна теплота від людей $\Phi_{int, Oc} = 2,7$ Вт/м²,

– освітлення $\Phi_{int, L} = 7$ Вт/м²,

– обладнання $\Phi_{int, A} = 6$ Вт/м²,

– графік використання: 168 год/тиждень.

Усереднений за часом тепловий потік, враховуючи графік використання, для вихідних даних:

$$\sum_k \Phi_{int,mn,k} = (2,7 + 7 + 6) \cdot 168 / 168 = 15,7 \text{ Вт/м}^2$$

Покажемо приклад розрахунку внутрішніх теплонадходжень для січня місяця, підставивши значення у формулу 2.12:

$$Q_{int}^I = (15,7 \cdot 17290) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 201961,03 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Сумарні внутрішні теплонадходження для інших місяців знаходяться аналогічно. Для наочності зведемо розрахунок до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок внутрішніх теплонадходжень в опалювальний період

Місяць	t , год	$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$, Вт/м ²	Q_{int} , кВт·год
I	744	15,7	201961,03
II	672		182416,42
III	744		201961,03
IV	528		143327,18
X	336		91208,21
XI	720		195446,16
XII	744		201961,03
Разом			1218281,06

2.1.3 Теплонадходження від сонця для режиму опалення

Теплонадходження від сонця до будівлі, що розглядається, для кожного місяця, кВт·год, розраховують за формулою

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.13)$$

де t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати [2];

$\Phi_{sol,mn,k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k -го джерела сонячного випромінювання, Вт.

Сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі, Вт, знаходяться за формулою

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k} \quad (2.14)$$

де $F_{sh,ob,k}$ – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k -ої поверхні;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м², визначається окремо для світлопрозорих та непрозорих поверхонь;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м², [2];

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:

$F_r = 1$ – для незатіненого горизонтального даху,

$F_r = 0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі, Вт.

За відсутності фактичних даних понижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,ob,k}$ необхідно розраховувати за формулою (враховуємо лише зовнішнє затінення, а

засоби рухомого затінення не враховуємо)

$$F_{sh} = F_{hor} F_{ov} F_{fin}, \quad (2.15)$$

де F_{hor} – частковий поправочний коефіцієнт затінення горизонту, визначають

F_{ov} – частковий поправочний коефіцієнт затінення для звисів,

F_{fin} – частковий поправочний коефіцієнт затінення для ребер,

Для користування таблицями 12, 13, 14-1 та 14-2 потрібно попередньо визначити архітектурно-будівельний кліматичний район для міста, де розташована будівля. Коефіцієнт затінення горизонту для поверхонь з орієнтацією (кут 40°) обирається:

– Пн-Сх: $F_{hor}=0,86$;

– Пд-Сх: $F_{hor}=0,52$;

– Пд-Зх: $F_{hor}=0,51$;

– Пн-Зх: $F_{hor}=0,86$.

Коефіцієнт затінення для звисів для поверхонь з орієнтацією (кут 40°), обирається:

– Пн-Сх: $F_{ov}=0,79$;

– Пд-Сх: $F_{ov}=0,88$;

– Пд-Зх: $F_{ov}=0,87$;

– Пн-Зх: $F_{ov}=0,79$.

Коефіцієнт затінення для ребер (розташування ребер – ліворуч) для поверхонь з орієнтацією (кут 40°), обирається:

– Пн-Сх: $F_{fin}=0,96$,

– Пд-Сх: $F_{fin}=0,97$,

– Пд-Зх: $F_{fin}=0,89$,

– Пн-Зх: $F_{fin}=0,87$.

Тоді, підставимо в формулу 2.15, отримаємо такі результати:

– Пн-Сх: $F_{sh}=F_{hor}F_{ov}F_{fin}=0,652$,

– Пд-Сх: $F_{sh}=F_{hor}F_{ov}F_{fin}=0,444$,

– Пд-Зх: $F_{sh}=F_{hor}F_{ov}F_{fin}=0,395$,

$$- \text{Пн-3х: } F_{sh}=F_{hor}F_{ov}F_{fin}=0,591.$$

Еквівалентна площа інсоляції заскленого елемента (вікна) знаходиться за формулою

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w.p.}, \quad (2.16)$$

де $F_{sh,gl}$ – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, у випадку їх відсутності приймаємо $F_{sh,gl} = 1$;

F_F – частка площі обрамлення;

за відсутності точних даних обираємо:

– $F_F = 0,3$ – для віконних та дверних блоків,

– $F_F = 0,2$ – для світлопрозорих фасадів будівлі;

$A_{w.p.}$ – загальна площа проекції заскленого елемента (наприклад, площа вікна), м^2 ;

g_{gl} – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента, що знаходиться за формулою

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (2.17)$$

де F_w – поправочний коефіцієнт для нерозсіючого скління, приймають $F_w = 0,9$;

g_n – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння[2].

Тоді підставимо значення у формулу 2.17:

$$g_{gl} = 0,9 \cdot 0,75 = 0,675$$

Тоді за формулою 2.16, знайдемо еквівалентну площу інсоляції вікон та засклених вхідних дверей:

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.ПнС} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 503,92 = 238,1 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.ПдС} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 321,3 = 151,8 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.ПдЗ} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 520,1 = 245,7 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.ПнЗ} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 337,3 = 159,4 \text{ м}^2.$$

Еквівалентна площа інсоляції непрозорого елемента будівлі знаходиться за формулою

$$A_{sol} = a_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.18)$$

де $a_{S,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, 2];

В нашому випадку:

- для даху $a_{S,c} = 0,9$;
- для стін $a_{S,c} = 0,6$.

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$,
приймають $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини (стіни, дах), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

A_c – площа проекції непрозорої частини (стіни, дах), м^2

Підставимо значення у формулу 2.18 та знайдемо еквівалентну площу інсоляції непрозорого елемента будівлі (стіни та дах):

$$A_{sol}^{Пн-Сх} = 0,45 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1903,1 = 63,77 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{Пд-Сх} = 0,6 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1655,09 = 55,46 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{Пд-Зх} = 0,6 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 2006,2 = 67,2 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{Пн-Зх} = 0,45 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1670,8 = 55,9 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{дах} = 0,9 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{2,31} \cdot 4083 = 68,4 \text{ м}^2.$$

Сонячна радіація, $I_{sol,k}$, або значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності $\text{Вт}/\text{м}^2$ [2] та зведена до табл. 2.5 нижче.

Таблиця 2.5 – Середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на вертикальну та горизонтальну поверхню для середніх умов хмарності (м. Чернігів).

Місяць	I_{sol} , Вт/м ² (м. Чернігів)				
	Пн-Сх	Пд-Сх	Пд-Зх	Пн-Зх	Горизонт
I	12	31	32	12	27
II	24	53	55	24	54
III	41	82	85	41	102
IV	52	93	89	51	148
V	77	108	103	73	203
VI	90	114	110	87	230

Продовження таблиці 2.5

VII	84	111	108	81	217
VIII	66	108	106	64	184
IX	40	87	88	40	123
X	20	57	56	20	65
XI	10	27	27	10	27
XII	9	21	22	9	18

Додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі $\Phi_{r,k}$ в загальному випадку визначається наступним чином, Вт:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.19)$$

де U_c – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

A_c – площа проекції елемента, м²;

h_r – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, Вт/(м²·К).

Знайти коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні можна за формулою

$$h_r = 5 \cdot \varepsilon, \quad (2.20)$$

де $\varepsilon = 0,7$ для стіни;

$\varepsilon = 0,5$ для вікон;

$\Delta\theta_{er}$ – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною

температурою атмосфери, для помірних широт приймають $\Delta\theta_{er} = 11$ К згідно з [2].

Розрахунок додаткового теплового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу для світлопрозорих поверхонь (вікна, заklenі вхідні двері) здійснюється за формулою 2.19:

$$\Phi_r^{\text{вік.ПнС}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,62} \cdot 503,9 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 961,1 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{вік.ПдС}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,62} \cdot 321,3 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 612,8 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{вік.ПдЗ}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,62} \cdot 520,1 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 991,9 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{вік.ПнЗ}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,62} \cdot 337,3 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 643,3 \text{ м}^2.$$

– для непрозорих конструкцій (двері, стіни, дах):

$$\Phi_r^{\text{дв.ПнС}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,51} \cdot 6,3 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 14,71 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_r^{\text{дв.ПдЗ}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,51} \cdot 16,3 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 37,8 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{ст.ПнС}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1903,1 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 4091,7 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_r^{\text{ст.ПдС}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1655,1 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 3558,4 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{ст.ПдЗ}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 2006,2 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 4313,4 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{ст.ПнЗ}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,77} \cdot 1670,7 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 3592,1 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_r^{\text{дах}} = 0,043 \cdot \frac{1}{2,31} \cdot 4083 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 2926,2 \text{ м}^2.$$

Визначимо сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі за

формулою, Вт (на прикладі одного місяця - січня):

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (2.21)$$

Підставимо значення в формулу 2.21, та визначимо сонячні теплонадходження для стін:

$$\Phi_{sol,mn,Пн-Сх} = 0,652 \cdot 63,8 \cdot 12 - 0,5 \cdot 4091,7 = -1546,8 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,Пд-Сх} = 0,444 \cdot 55,5 \cdot 31 - 0,5 \cdot 3558,4 = -1016,1 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,Пд-Зх} = 0,395 \cdot 67,2 \cdot 32 - 0,5 \cdot 4313,4 = -1398,9 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,Зх} = 0,59 \cdot 55,9 \cdot 12 - 0,5 \cdot 3592,1 = -1398,9 \text{ Вт},$$

Підставимо значення в формулу 2.21, та визначимо сонячні теплонадходження для вікна:

$$\Phi_{sol,mn,вік,Пн-Сх} = 0,65 \cdot 238,1 \cdot 12 - 0,5 \cdot 961,1 = 1383 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,вік,Пд-Сх} = 0,44 \cdot 151,8 \cdot 31 - 0,5 \cdot 612,8 = 1782,6 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,вік,Пд-Зх} = 0,395 \cdot 245,7 \cdot 32 - 0,5 \cdot 991,93 = 2609,3 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{sol,mn,вік,Пн-Зх} = 0,59 \cdot 159,4 \cdot 12 - 0,5 \cdot 159,4 = 808,8 \text{ Вт},$$

Підставимо значення в формулу 2.21, та визначимо сонячні теплонадходження для даху:

$$\Phi_{sol,mn,дах} = 1 \cdot 68,4 \cdot 27 - 1 \cdot 2926,2 = -1079,3 \text{ Вт}.$$

Разом за січень через усі елементи огороження:

$$\left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) = 447 \text{ Вт}$$

Тоді визначимо теплонадходження від сонця для січня місяця за формулою 2.13, кВт·год:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \cdot 10^{-3} = 447 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 332,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок теплових надходжень від сонця в опалювальний період

Місяць	t, год	$\Phi_{sol, \text{вік, дв}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{sol, \text{ст}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{sol, \text{дах}}, \text{ Вт}$	$\sum_k \Phi_{sol, mn, k}, \text{ Вт}$	$Q_{sol}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$
I	744	6795,42	-5269,15	-1079,26	447,01	332,58
II	672	13733,04	-3220,91	767,64	11279,77	7580,00
III	744	23151,67	-441,15	4051,01	26761,53	19910,58
IV	528	27066,56	724,19	7197,57	34988,32	18473,83
X	336	13082,67	-3394,62	1520,08	11208,12	3765,93
XI	720	5499,81	-5649,70	-1079,26	-1229,14	-884,98
XII	744	4320,80	-6004,80	-1694,89	-3378,88	-2513,89
Разом						46664,05

2.1.4 Сумарні теплонадходження

Сумарні теплові надходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця визначимо за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (2.22)$$

Зведемо результати розрахунку за даною формулою в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за опалювальний період

Місяць	t, год	$Q_{int}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{sol}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{gn}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$
I	744	201961,03	332,58	202293,61
II	672	182416,42	7580,00	189996,42
III	744	201961,03	19910,58	221871,61
IV	528	143327,18	18473,83	161801,02
X	336	91208,21	3765,93	94974,14
XI	720	195446,16	-884,98	194561,18
XII	744	201961,03	-2513,89	199447,14

Разом		1218281,06	46664,05	1264945,11
-------	--	------------	----------	------------

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{H,gn}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, H , та числового параметра α_H , який залежить від інерції будівлі.

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі січня місяця. Знайдемо безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення за формулою

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}, \quad (2.23)$$

Підставимо значення у формулу 2.23:

$$\gamma_H^I = \frac{202293}{299976,3} = 0,67.$$

Так як $\gamma_H^I > 0$ та $\gamma_H^I \neq 1$ скористаємося наступною формулою

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{1 - \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \quad (2.24)$$

де α_H – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі τ_H , визначений за формулою

$$\alpha_H = \alpha_{H,O} + \frac{\tau}{\tau_{H,O}}, \quad (2.25)$$

де $\alpha_{H,O}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 за [2];

$\tau_{H,O}$ – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год за ДСТУ 9190:2022 [2];

τ – часова константа зони будівлі, год.

Знайдемо часову константу зони будівлі за формулою

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.26)$$

де $H_{tr,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К, розраховане вище;

$H_{ve,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К, розраховане вище;

$H_{ve,extra,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції від нічного та/або природного охолодження, Вт/К, для режиму опалення приймають $H_{ve,extra,adj} = 0$;

c_m – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год/К

Знаходиться внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі за формулою

$$c_m = C \cdot A_f, \quad (2.27)$$

де C – внутрішня теплоємність будівлі, [], для розрахунку обираємо $C = 80$ Вт·год/(м²·К);

A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

Тоді підставимо значення у формулу 2.27, знайдемо внутрішню теплоємність будівлі:

$$c_m = 80 \cdot 17290 = 1383200 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{К},$$

Тоді, підставляючи значення у формулу 2.26, отримаємо:

$$\tau = \frac{1383200}{14412,9 + 38,41 + 0} = 95,71 \text{ год.}$$

Тоді знайдемо безрозмірний числовий параметр за формулою 2.25:

$$\alpha_H = 1 + \frac{95,71}{15} = 7,38.$$

Підставимо отримані значення у формулу 2.24:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - 0,67^{7,38}}{1 - 0,67^{7,38+1}} = 0,982$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців опалювального періоду наведені у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця

Місяць	γ_H	C_m , Вт·Год/К	τ , год	α_H	$\eta_{H,gn}$
I	0,67	1383200	95,71	7,38	0,982
II	0,73				0,972
III	0,93				0,909
IV	1,51				0,649
X	1,30				0,743
XI	0,89				0,925
XII	0,73				0,972

2.1.5 Енергопотреба для опалення будівлі

Для визначення сумарної енергопотреби на опалення скористаємося формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} + \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \quad (2.28)$$

де $Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт·год, визначені вище;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень, визначений вище;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, кВт·год, визначені вище.

Результати розрахунків енергопотреби на опалення зведені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Енергопотреба на опалення

Місяць	$Q_{H,ht}$, кВт·год	$\eta_{H,gn}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	$Q_{H,nd}$, кВт·год
I	299976,26	0,982	202293,61	498536,60
II	261234,97	0,972	189996,42	445922,99
III	237615,61	0,909	221871,61	439207,58
IV	106824,71	0,649	161801,02	211901,14
X	73320,59	0,743	94974,14	143845,99

Продовження таблиці 2.9

XI	218505,08	0,925	194561,18	398511,67
XII	274171,85	0,972	199447,14	468040,32
Разом				2605966,29

2.1.6 Енергоспоживання для опалення будівлі

Енергоспоживання визначається як енергопотреба плюс втрати теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні, розподіленні та тепловіддачі.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,em,ls,i} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) Q_{H,em,out}, \quad (2.29)$$

де $Q_{H,em,out} = Q_{H,nd,i}$ – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт год;

f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, визначається [2],

В нашому випадку $f_{hydr} = 1,03$.

f_{im} – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення,

$f_{im} = 1$ для постійного теплового режиму;

f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку використовується тільки для променевих систем опалення, тож $f_{rad} = 1$;

η_{em} – загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи.

Визначається загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи за формулою

$$\eta_{em} = \frac{1}{\left[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb}) \right]}, \quad (2.30)$$

де η_{ctr} – складова, яка враховує регулювання температури в приміщенні, визначається, в нашому випадку $\eta_{ctr} = 0,86$ для регулювання за усередненої температури повітря приміщень [2];

η_{emb} – складова, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень, використовується для вбудованих систем опалення, тож $\eta_{emb} = 1$;

η_{str} – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні, визначається, як середнє значення "температурного напору" та "питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій" за формулою

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} \quad (2.31)$$

де η_{str1}, η_{str2} – обираються за ДСТУ 9190:2022 [2].

Підставимо значення у формулу 2.31:

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} = \frac{0,95 + 0,95}{2} = 0,95$$

Підставимо значення у формулу 2.30:

$$\eta_{em} = \frac{1}{\left[4 - (0,86 + 1 + 0,95) \right]} = 0,84$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня за формулою 2.29:

$$Q_{H,em,ls,i}^I = \left(\frac{1,03 \cdot 1 \cdot 1}{0,84} - 1 \right) 498596,6 = 112519,7$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i}, \quad (2.32)$$

де k – коефіцієнт для розрахунку утилізованої частини додаткової енергії впродовж i -го місяця, показує, що частину додаткової енергії можна утилізувати безпосередньо в підсистемі тепловіддачі як теплоту;

$W_{H,em,aux,i}$ – додаткова енергія впродовж i -го місяця, Вт·год, розраховується за наявності додаткових джерел енергії, для розглянутого випадку $W_{H,em,aux,i} = 0$;

$Q_{H,em,ls,nrvd,i}$ – неутилізовані тепловтрати для підсистеми тепловіддачі впродовж i -го місяця, Вт·год, приймають $Q_{H,em,ls,nrvd,i} = Q_{H,em,ls,i}$;

$Q_{H,em,ls,rvd,i}$ – утилізовані тепловтрати підсистем тепловіддачі впродовж i -го місяця, Вт·год, приймають $Q_{H,em,ls,rvd,i} = 0$.

Знайдемо енергію входу для підсистеми тепловіддачі для січня місяця, підставивши значення у формулу 2.32:

$$Q_{H,em,in,i}^I = 498563,6 + 112519,7 = 611083,3$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в табл. 2.10.

Загальні тепловтрати підсистеми розподілення, Вт·год, визначаються помісячно за формулою

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_i) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (2.33)$$

де $\psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го трубопроводу, Вт/(м·К);

$\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж i -го місяця, °С;

θ_i – температура навколишнього середовища, °С;

L_j – довжина трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$ – час опалення впродовж i -го місяця, год.

У випадку, коли підсистема частково або повністю розміщена у неопалюваних приміщеннях необхідно було б проводити розрахунок тепловтрат за формулою вище.

Для розглянутої будівлі тепловтрати підсистеми розподілення (трубопроводів опалення) можна вважати утилізаційними, тому що підсистема розташована в опалюваному приміщенні.

Енергію входу для підсистеми розподілення розраховується за формулою

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i}, \quad (2.34)$$

де $Q_{H,dis,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год;

$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ – неутилізовані тепловтрати для підсистеми розподілення впродовж i -го місяця, Вт·год.

Для розглянутого випадку $Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = 0$. Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в табл. 2.10.

Загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва) теплоти визначаються помісячно за формулою, Вт·год

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gn}) / \eta_{H,gn}, \quad (2.35)$$

де $Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистем генерування упродовж i -го місяця, Вт·год,

$$Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i};$$

$\eta_{H,gen}$ – ефективність підсистеми генерування теплоти, [2];

$\eta_{H,gen}=0,86$ для розглянутої у прикладі будівлі, де централізоване теплопостачання.

Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня підставивши значення у формулу 2.35:

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 611056,3 \cdot (1 - 0,93) / 0,93 = 45993,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці.

Таблиця 2.10 – Енергоспоживання для опалення

Місяць	$Q_{H,em,out,}$ кВт·год	$Q_{H,em,ls,}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in,}$ кВт·год	$Q_{H,gen,ls,}$ кВт·год	$Q_{H,use,}$ кВт·год
I	498536,60	112519,71	611056,31	611056,31	45993,49	657049,80
II	445922,99	100644,82	546567,80	546567,80	41139,51	587707,32
III	439207,58	99129,15	538336,73	538336,73	40519,97	578856,70
IV	211901,14	47826,09	259727,23	259727,23	19549,36	279276,59
X	143845,99	32466,04	176312,03	176312,03	13270,80	189582,83
XI	398511,67	89944,08	488455,76	488455,76	36765,49	525221,24
XII	468040,32	105636,70	573677,03	573677,03	43179,99	616857,02
Разом						3434551,49

2.2 Розрахунки для режиму охолодження. Сумарна теплопередача трансмісією

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт·год, для охолодження розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\Theta_{int,set,C} - \Theta_e) \cdot t, \quad (2.36)$$

Для міста Чернігів тривалість періоду охолодження становить 706 год.

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі трансмісією за формулою для червня місяця, підставивши значення у формулу 2.36:

$$Q_{tr}^{VI} = 14412,98(22 - 17,6) \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 13317,6$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно. Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок теплопередачі трансмісією (режиму опалення)

Місяць	Θ_e , °C	t , год	$H_{tr,adj}$, Вт/К	Q_{tr} , кВт·год
VI	17,6	210	14412,98	13317,60
VII	19,2	279		11259,42
VIII	18,1	217		12197,71
Разом				36774,72

2.2.1 Сумарна теплопередача вентиляцією

Сумарну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.37)$$

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією для червня місяця, за формулою 2.37:

$$Q_{ve}^{VI} = 38,4 \cdot (22 - 17,6) \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 35,49 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

Місяць	θ_e , °C	t , год	$H_{ve,adj}$, Вт/К	Q_{tr} ,кВт·год
VI	17,6	210	38,4	35,49
VII	19,2	279		30,01
VIII	18,1	217		32,51
Разом				98,01

2.2.2 Сумарна теплопередача для охолодження

Сумарна теплопередача для режиму охолодження визначається так само як для режиму опалення за формулою 2.11.

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для червня місяця:

$$Q_{ht}^{VI} = 13317,6 + 35,5 = 13353,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сумарна теплопередача для липня та серпня знаходиться аналогічно. Результати розрахунку для трьох місяців зведені до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму охолодження

Місяць	Q_{tr} , кВт·год	Q_{ve} , кВт·год	Q_{ht} , кВт·год
VI	13317,60	35,49	13353,09
VII	11259,42	30,01	11289,43
VIII	12197,71	32,51	12230,22
Разом	36774,72	98,01	36872,73

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення. Приклад розрахунку внутрішніх теплонадходжень для червня місяця:

$$Q_{int}^{VI} = 15,7 \cdot 17290 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 57005,1 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Узагальнимо по всіх місяцях теплонадходження від внутрішніх теплових джерел для періоду охолодження в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Розрахунок внутрішніх теплонадходжень в період охолодження

Місяць	t , год	$\Sigma \Phi_{int,mn,kk}$, Вт/м ²	Q_{int} , кВт·год
VI	210	15,7	57005,13
VII	279		75735,39
VIII	217		58905,30
Разом			191645,82

2.2.3 Теплонадходження від сонця в період охолодження

Теплонадходження від сонця для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення.

Відрізнятимуться лише значення понижувальних коефіцієнтів затінення F_{sh} .

Сонячна радіація, $I_{sol,k}$, [2]. Приклад розрахунку сонячних теплонадходжень для червня місяця, кВт·год:

$$Q_{sol}^{VI} = 57623,13 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 12100,9 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок теплонадходжень від сонця в період охолодження

Місяць	t , год	$\Phi_{sol, \text{вік, дв,}}$ Вт	$\Phi_{sol, \text{ст,}}$ Вт	$\Phi_{sol, \text{дах,}}$ Вт	$\sum_k \Phi_{sol, mn, k}$, Вт	Q_{sol} , кВт·год
VI	210	40246,26	4570,22	12806,66	57623,13	12100,86
VII	279	38286,26	3995,20	11917,41	54198,87	15121,48
VIII	217	33328,82	2557,12	9660,10	45546,03	9883,49
Разом						37105,8

2.2.4 Сумарні теплонадходження

Сумарні теплові надходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця періоду охолодження визначаються за тими ж формулами, що й для опалення. Результати розрахунку зведені в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за період охолодження

Місяць	t , год	Q_{int} , кВт·год	Q_{sol} , кВт·год	Q_{gn} , кВт·год
VI	210	57005,13	12100,86	69105,99
VII	279	75735,39	15121,48	90856,87
VIII	217	58905,30	9883,49	68788,79
Разом		191645,82	37105,83	228751,65

Безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження $\eta_{c,ls}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, γ_c , та числового параметра a_c , який залежить від інерції будівлі.

Безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти, рахується за

формулою

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}, \quad (2.38)$$

Підставимо значення і проведемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі червня місяця:

$$\gamma_C^{VI} = \frac{228751,7}{36872,7} = 6,2$$

Так як $\gamma_C^{VI} > 0, \gamma_C^{VI} \neq 1$ та $Q_{C,ht} > 0$ скористаємося наступною формулою

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-\alpha_C}}{1 - \gamma_C^{-(\alpha_C+1)}}, \quad (2.39)$$

де α_C – безрозмірний числовий параметр, що визначається за формулою

$$\alpha_C = \alpha_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} \quad (2.40)$$

де $\alpha_{C,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 [2];

$\tau_{C,0}$ – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год;

τ – часова константа зони будівлі, $\tau = 95,71$.

Розрахуємо безрозмірний числовий параметр за формулою 2.40:

$$\alpha_C = 1 + \frac{95,7}{15} = 7,4.$$

Підставимо отримані значення у формулу 2.39. Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців періоду охолодження наведені у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця періоду охолодження

Місяць	γ_c	C_m , Вт·год /К	τ , год	α_c	$\eta_{c,ls}$
VI	5,18	1383200	95,7	7,4	1,000
VII	8,05				1,000
VIII	5,62				1,000

2.2.5 Енергопотреба для охолодження будівлі

Сумарна енергопотреба для охолодження визначається формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}, \quad (2.41)$$

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця, підставивши значення у формулу 2.41:

$$Q_{C,nd}^{VI} = 13353,1 + 1 \cdot 69105,99 = 82459,02 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунків енергопотреби для охолодження зведені у таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Енергопотреба на охолодження

Місяць	$Q_{C,ht}$, кВт·год	$\eta_{C,ls}$, кВт·год	$Q_{C,gn}$, кВт·год	$Q_{C,nd}$, кВт·год
VI	13353,09	1,00	69105,99	82459,02
VII	11289,43	1,00	90856,87	102146,30
VIII	12230,22	1,00	68788,79	81018,98
Разом				265624,29

2.2.6 Енергоспоживання для охолодження будівлі

Енергоспоживання визначається як енергопотреба плюс втрати теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні, розподіленні та тепловіддачі.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})), \quad (2.42)$$

Покажемо приклад розрахунку за формулою для червня місяця, підставивши значення у формулу 2.42:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 82459 \cdot ((1-1) + (1-0,87) + (1-0,9)) = 18965,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергія входу для підсистеми розподілення визначається за формулою, кВт·год

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.43)$$

де $Q_{C,dis,out}$ – енергія виходу підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год.

Підставимо значення у формулу 2.43:

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 82459 + 18965,6 = 101424,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергія виходу для підсистеми генерування (виробництва) визначається за формулою, кВт·год

$$Q_{C,gen,out} = \frac{Q_{C,dis,in}}{\eta_{C,ac}}, \quad (2.44)$$

де $Q_{C,dis,in}$ – енергія входу для підсистеми розподілення, визначена;

$\eta_{C,ac}$ – ефективність автоматичного управління/регулювання, обирається в залежності від класу ефективності системи, для системи класу D $\eta_{C,ac} = 0,82$.

Покажемо розрахунок за формулою 2.44 для червня місяця:

$$Q_{C,gen,out} = \frac{101424,6}{0,82} = 123688,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва), кВт·год, за формулою

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen}, \quad (2.45)$$

Розрахуємо загальні тепловтрати підсистеми генерування для червня, за формулою 2.45:

$$Q_{C,gen,ls}^{VI} = 123688, (1 - 2,25) / 2,25 = -68715,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}, \quad (2.46)$$

Визначимо енергоспоживання для червня за формулою 2.46:

$$Q_{C,use}^{VI} = 123688,5 - 68715,9 = 54972,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у табл. 2.19.

Таблиця 2.19 – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	$Q_{C,em,in} = Q_{C,dis,out},$ кВт·год	$Q_{C,dis,ls},$ кВт·год	$Q_{C,dis,in},$ кВт·год	$Q_{C,gen,out},$ кВт·год	$Q_{C,gen,ls},$ кВт·год	$Q_{C,use},$ кВт·год
VI	82459,02	18965,57	101424,59	123688,53	-68715,85	54972,68
VII	102146,30	23493,65	125639,95	153219,45	-85121,92	68097,53
VIII	81018,98	18634,36	99653,34	121528,46	-67515,81	54012,65
Разом						177082,86

2.3 Визначення класу енергоефективності будівлі

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за даними, наведеними у табл. 2.20 Наказу №261 [4], в залежності від показника Δ_{EP} , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та

охолодженні, EP_{use} , кВт·год/м², [кВт·год/м³] та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Показник Δ_{EP} визначається за формулою, %:

$$\Delta_{EP} = \left[(EP_{use} - EP_p) / EP_p \right] \cdot 100, \quad (2.47)$$

де EP_{use} – загальне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні, кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Знаходиться загальне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні за формулою

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (2.48)$$

де $EP_{H,use}$, $EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні відповідно, кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Для розглянутої будівлі:

$$EP_{H,use} = \frac{3434551,5}{51472} = 66,73 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3,$$

$$EP_{C,use} = \frac{177082,9}{51472} = 3,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Підставимо значення у формулу 2.48:

$$EP_{use} = 66,73 + 3,44 = 70,17 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Відповідно до Додатку до Наказу №260 для закладу охорони здоров'я, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м³, EP_p – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні, що дорівнює 30 [5].

Розрахуємо показник ΔEP , підставивши значення у формулу 2.47:

$$\Delta_{EP} = \left[\frac{(70,17 - 30)}{30} \right] \cdot 100 = 133,89\%.$$

За допомогою таблиці 1 Наказу №261 визначимо клас енергоефективності даної будівлі. Значення показника ΔEP в 133,89 % вказує на клас енергетичної ефективності «G» [4].

2.4 Визначення альтернативного випадку

Робимо утеплення даху, вікон, дверей, стін згідно норм, додаємо регулювання температури повітря та змінюємо гідравлічне налагодження системи.

Енергоспоживання визначається як енергопотреба плюс втрати теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні,

розподіленні та тепловіддачі.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,em,ls,i} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) Q_{H,em,out}, \quad (2.49)$$

де η_{em} – загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи, визначається за формулою

$$\eta_{em} = \frac{1}{\left[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb}) \right]}, \quad (2.50)$$

де η_{str} – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні, визначається, як середнє значення "температурного напору" та "питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій" за формулою

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2}, \quad (2.51)$$

де η_{str1}, η_{str2} – обираються за [2].

Підставимо значення у формулу 2.51:

$$\eta_{str} = \frac{0,95 + 0,95}{2} = 0,95$$

Підставимо значення у формулу 2.50:

$$\eta_{em} = \frac{1}{\left[4 - (0,89 + 1 + 0,95) \right]} = 0,86$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня за формулою 2.49:

$$Q_{H,em,ls,i}^I = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{0,86} - 1 \right) 219509,9 = 35121,6$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i}, \quad (2.52)$$

Визначимо енергію входу для підсистеми тепловіддачі для січня місяця, підставивши значення у формулу 2.52:

$$Q_{H,em,in,i}^I = 219509,9 + 35121,6 = 254631,4$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 2.20.

Загальні тепловтрати підсистеми розподілення визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_i) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (2.53)$$

У випадку, коли підсистема частково або повністю розміщена у неопалюваних приміщеннях необхідно було б проводити розрахунок тепловтрат за формулою вище.

Для розглянутої будівлі тепловтрати підсистеми розподілення (трубопроводів опалення) можна вважати утилізаційними, тому що підсистема розташована в опалюваному приміщенні.

Енергію входу для підсистеми розподілення розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i}, \quad (2.54)$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в табл. 2.20.

Загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва) теплоти визначаються помісячно за формулою, Вт·год

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gn}) / \eta_{H,gn}, \quad (2.55)$$

Для розглянутої у прикладі будівлі, де централізоване теплопостачання $\eta_{H,gen} = 0,93$. Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня за формулою 2.55:

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 254631,4 \cdot (1 - 0,93) / 0,93 = 19165,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці.

Таблиця 2.20 – Енергоспоживання для опалення

Місяць	$Q_{H,em,out}$, кВт·год	$Q_{H,em,ls}$, кВт·год	$Q_{H,em,in}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in}$, кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{H,use}$, кВт·год
I	219509,85	35121,58	254631,43	254631,43	19165,81	273797,24
II	191160,89	30585,74	221746,63	221746,63	16690,61	238437,24
III	173877,34	27820,37	201697,72	201697,72	15181,55	216879,27
IV	78169,93	12507,19	90677,12	90677,12	6825,16	97502,28
X	53653,00	8584,48	62237,48	62237,48	4684,54	66922,02
XI	159893,04	25582,89	185475,93	185475,93	13960,55	199436,49
XII	200627,60	32100,42	232728,02	232728,02	17517,16	250245,18
Разом						1343219,71

Енергоспоживання визначається як енергопотреба плюс втрати теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні, розподіленні та тепловіддачі.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})), \quad (2.56)$$

Покажемо приклад розрахунку за формулою для червня місяця, за формулою 2.56:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 71565,7 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 16460,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Енергія входу для підсистеми розподілення визначається за формулою, кВт·год

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.57)$$

Підставимо значення у формулу 2.57:

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 71565,7 + 16460,1 = 88025,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергія виходу для підсистеми генерування (виробництва) визначається за формулою, кВт·год

$$Q_{C,gen,out} = \frac{Q_{C,dis,in}}{\eta_{C,ac}}, \quad (2.58)$$

Покажемо розрахунок за формулою 2.58, для червня місяця:

$$Q_{C,gen,out} = \frac{88025,9}{0,82} = 107348,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва), кВт·год, за формулою:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen}, \quad (2.59)$$

Розрахуємо загальні тепловтрати підсистеми генерування для червня, за формулою 2.59:

$$Q_{C,gen,ls}^{VI} = 107348,6 (1 - 2,25) / 2,25 = -59638,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}, \quad (2.60)$$

Порахуємо енергоспоживання для червня за формулою 2.60:

$$Q_{C,use}^{VI} = 107348,6 - 59638,1 = 47710,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у табл. 2.21.

Таблиця 2.21 – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	$Q_{C,em,in} = Q_{C,dis,out},$ кВт·год	$Q_{C,dis,ls},$ кВт·год	$Q_{C,dis,in},$ кВт·год	$Q_{C,gen,out},$ кВт·год	$Q_{C,gen,ls},$ кВт·год	$Q_{C,use},$ кВт·год
VI	71565,74	16460,12	88025,86	107348,61	- 59638,12	47710,49
VII	92052,55	21172,09	113224,64	138078,83	- 76710,46	61368,37
VIII	71546,05	16455,59	88001,64	107319,07	- 59621,71	47697,36
Разом						156776,23

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за даними, наведеними у таблиці 1 Наказу №261, в залежності від показника Δ_{EP} , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_{use} , кВт·год/м², [кВт·год/м³] та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт·год/м², [кВт·год/м³] [4].

Показник Δ_{EP} визначається за формулою 2.47, %, а $EP_{H,use}$, $EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні відповідно, кВт·год/м², [кВт·год/м³]. Визначимо за формулою 2.48.

Для розглянутої будівлі:

$$EP_{H,use} = \frac{1343219,7}{51472} = 26,1 \text{ кВт год} / \text{м}^2,$$

$$EP_{C,use} = \frac{156776,2}{51472} = 3,05 \text{ кВт год} / \text{м}^3.$$

Підставимо значення у формулу:

$$EP_{use} = 26,1 + 3,05 = 29,14 \text{ кВт год} / \text{м}^3.$$

Відповідно до Додатку до Наказу №260 для закладу охорони здоров'я, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м³ [5]. Розрахуємо показник Δ_{EP} , підставивши значення у формулу 2.47:

$$\Delta_{EP} = \left[\frac{(29,14 - 30)}{30} \right] \cdot 100 = -2,86\%.$$

За допомогою таблиці 1 Наказу №261 визначимо класу енергоефективності

даної будівлі. Значення показника ΔEP в -2,86% вказує на клас енергетичної ефективності «С» [5].

2.5 Висновки за розділом 2

В цьому розділі розраховували енергопотребу та енергоспоживання будівлі для опалення, охолодження, та показники енергоефективності відповідно до ДСТУ 9190 для існуючого (базового) та альтернативних сценаріїв модернізації. В ході цієї роботи досліджувався заклад охорони здоров'я в місті Чернігів. Пропонується модернізувати систему шляхом встановлення термостатичних клапанів, та проведенням гідравлічного балансування системи опалення (установка балансувальних клапанів) та заміни приладів опалення на Радіатори Kermi FTV 22 500x1500. Вартість заходу 12100000 грн, економія 594654 кВт·год/рік. Термін окупності - 7 років.

До утеплення даху, вікон, дверей, стін згідно норм, а також регулювання температури повітря та зміни гідравлічне налагодження системи значення показник ΔEP становило 133,89 %, тобто клас «G». Після утеплення огорожувальних конструкцій та додавання системи регулювання, показник ΔEP став -2,86%, тобто клас «С». Можемо вважати, що утеплення призвели до бажаного результату.

3 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

3.1 Енергетичне моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програма RETScreen - це інструмент для проведення попереднього аналізу економічної доцільності проектів з енергоефективності та енергозбереження.

RETScreen дозволяє проводити різноманітний аналіз, включаючи енергетичний аналіз, аналіз собівартості, аналіз емісії парникових газів, фінансовий аналіз, аналіз ризиків та чутливості системи. Вона використовується для визначення фінансової доцільності та рентабельності проектів, спрямованих на використання відновлюваної енергії або одночасне генерування електричної та теплової енергії.

Ця програма може також застосовуватися для оцінки енергозатрат виробництва, розрахунку витрат на протязі терміну служби обладнання та зниження викидів парникових газів для різних видів енергозберігаючих технологій та технологій з використанням відновлюваної енергії (RET). RETScreen включає бази даних про продукцію, кошти і погоду, а також посібник для користувача, роблячи її всеосяжним інструментом для моделювання та аналізу проектів з використанням екологічно чистої енергії.

В рамках розрахунків в програмі RETScreen будуть аналізуватися два сценарії: базовий / baseline та запропонований / proposed.

Початковий робочий лист енергоефективного проекту (рис. 3.1) включає дані інформативного характеру, які введено користувачем (клітинки сірого кольору) та дані обрані користувачем для запуску відповідної моделі розрахунку проекту з меню вибору (клітинки жовтого кольору). Скріншоти з цього листа будуть розміщені нижче.

В даній програмі будемо впроваджувати модернізацію ІТП та встановлення вентиляції з рекуперацією, бо в нашому об'єкті присутня тільки природня вентиляція. Щодо ІТП, то відсутність автоматичного регулювання температури подачі і неможливість регулювати витрату теплоносія призводить до неефективної

роботи системи. Таким чином, установка індивідуального теплопункту з автоматичним регулюванням температури принесе хороший енергозберігаючий ефект. Таке рішення дозволяє адаптувати постачання тепла до будівлі відповідно до фактичного споживання залежно від температури на вулиці.

Автоматичне управління (регулятор) ІТП повинно дозволяти програмувати зниження температури на вихідні або святкові дні (або згідно з іншим необхідним робочим графіком).

Project information
[See project database](#)

Project name	Health care facility in Chernihiv
Project location	
Prepared for	Yatsenko
Prepared by	Ovada
Project type	Energy efficiency measures
Facility type	Other
Analysis type	Method 1
Heating value reference	Higher heating value (HHV)
Show settings	☒
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Ukraine
Units	Metric units

Site reference conditions
[Select climate data location](#)

Climate data location	Cernigov
Show data	☒

Рисунок 3.1 - Інформація по об'єкту

Далі необхідно вказати ціну за кожен використовуваний вид палива (грн/кВт або грн/м³), температуру опалення, діапазон зміни температури без людей (приймаємо +3°C), це означає, що протягом неробочого часу перепад температури для опалення приміщень буде на 3 °C нижче, а температура для кондиціювання на 3 °C вище, вносимо в програму і продемонструємо на рис. 3.2.

Fuels & schedules				Show data	
Fuel		Fuel type 1		Fuel type 2	
Fuel type		Electricity		Natural gas - kWh	
Fuel consumption - unit		MWh		kWh	
Fuel rate - unit		UAH/kWh		UAH/kWh	
Fuel rate		6,580		2,900	
Schedule		Unit		Schedule 1	Schedule 2
Description				24/7	
Temperature - space heating		°C		20,0	Occupied
Temperature - space cooling		°C		24,0	
Temperature - unoccupied		+/-°C			
Occupancy rate - daily				h/d	
Monday				24	
Tuesday				24	
Wednesday				24	
Thursday				24	
Friday				24	
Saturday				24	
Sunday				24	
Occupancy rate - annual		h/yr		8 760	
		%		100%	
Heating/cooling changeover temperature		°C	12,9		
Length of heating season		d	204		
Length of cooling season		d	161		

Рисунок 3.2 – Ціна на паливо та температурні графіки

Заповнюємо пункт «Опалювальна система» (рис. 3.3) на основі інформації про об'єкт дослідження, де «Базовий випадок» – існуючий стан будівлі, а «Запропонований випадок» – стан будівлі після впровадження усіх запропонованих енергозберігаючих заходів. Вносимо інформацію щодо виду палива і сезонної ефективності.

Оскільки система опалення модернізувалася, вносимо дані щодо нової сезонної ефективності та ціни цього впровадження.

Heating system		Description	
1 2 3 4 5			
		Base case	Proposed case
Fuel type		Fuel type 2	Fuel type 2
Fuel		Natural gas - kWh	Natural gas - kWh
Seasonal efficiency	%	75	90
Incremental initial costs	UAH		3 380 000
Incremental O&M savings	UAH		0

Рисунок 3.3 - Характеристики опалювальної системи

Наступним кроком є заповнення «Оболонки будівлі», рис.3.4.

Building envelope

1

2

3

4

5

Description

		Base case				Proposed case				
Building north	°	45				45				☒ Base case = proposed case
Schedule		Schedule 1				Schedule 1				
Description		24/7				24/7				
		Base case				Proposed case				Incremental initial costs
Building envelope		North	East	South	West	North	East	South	West	
Walls						☒ Base case = proposed case				
Area	m ²	1 903,135	1 655,09	2 006,22	1 670,75	1903,135	1655,09	2006,22	1670,75	
R-value	m ² - °C/W	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	UAH 0
☒ Window						☒ Base case = proposed case				
Area	m ²	503,92	344,42	520,08	337,31	503,92	344,42	520,08	337,31	
R-value	m ² - °C/W	0,66	0,66	0,53	0,53	0,66	0,66	0,53	0,53	UAH 0
Solar heat gain coefficient		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
☒ Solar shading - season of use						☒ Base case = proposed case				
Solar shading - winter	%	9	8	7	8	9	8	7	8	
Solar shading - summer	%	8	9	19	10	8	9	19	10	
☒ Doors						☒ Base case = proposed case				
Area	m ²	3,345	16,31	11,55	24,14	3,345	16,31	11,55	24,14	
R-value	m ² - °C/W	0,45	0,4	0,4	0,4	0,45	0,4	0,4	0,4	UAH 0
☒ Roof						☒ Base case = proposed case				
Area	m ²	4 083				4083				
R-value	m ² - °C/W	2,31				2,31				UAH 0
☒ Floor						☒ Base case = proposed case				
Area	m ²	4 083				4083				
R-value	m ² - °C/W	5,78				5,78				UAH 0
☐ Wall - below-grade										
☐ Floor - below-grade										

[Next](#)
[Next](#)

Рисунок 3.4 - Характеристика оболонки будівлі

Після цього впишемо дані щодо інфільтрації, рис. 3.5.

Building envelope

1

2

3

4

5

Description

		Base case		Proposed case		
Natural air infiltration						Incremental initial costs
Method		Air change rate				\$
Volume	m ³	51 472		51 472		
Air change rate	ac/h	0,6		0,6		
Natural air infiltration	L/s	8578,7		8578,7		
Incremental initial costs	UAH			0		
Incremental O&M savings	UAH					
Number of building envelope units		1		1		
System selection		Heating & cooling		Heating & cooling		
Heating system		Heating system 1		Heating system 1		
Heating system description						
Heating	MWh	805		805		0,0%
Cooling system		Cooling system 1		Cooling system 1		
Cooling system description						
Cooling	MWh	718		718		0,0%

[Back](#)
[Back](#)

Рисунок 3.5 - Заповнення інфільтраційних даних щодо будівлі

Далі заповнюємо пункт «Вентиляція», в рядку «Потік» – в комірці розмірності обираємо м³/год. Оскільки впроваджується захід щодо вентиляції в будівлі, вносимо нові дані щодо рекупераційної складової та вартість самого заходу, рис. 3.6.

Ventilation

1

2

3

4

5

Description

Method

1

2

		Base case	Proposed case	
		Schedule 1	Schedule 1	
Schedule		Schedule 1	Schedule 1	
Description		24/7	24/7	
Flow	m ³ /h	51 472	51 472	
Fresh air	%	100	100	
System reheat		No	Yes	
System selection		Heating	Heating	
Fan control		Constant	Constant	
Ventilation control		Constant	Constant	
Intake air damper leakage		Leaky	Leaky	
Heat recovery efficiency	%	0	85	
Incremental initial costs	UAH		95 500 000	
Incremental O&M savings	UAH			
Number of ventilation units		1	1	
Heating system		Heating system 1	Heating system 1	
Heating system description				
Heating	MWh	851	154	81,9%

Рисунок 3.6 - Вентиляція

Результуюча таблиця, після внесення усіх необхідних даних, що наведені вище, представлена на рис. 3.7.

Facility characteristics								
Show data								
Show:	Heating	Cooling	Electricity	Incremental initial costs	Fuel cost savings	Incremental O&M savings	Simple payback	Include measure?
Fuel saved	GJ	GJ	GJ	UAH	UAH	UAH	yr	
Heating system	1 174	-	-	3 380 000	945 424	0	3,6	☒
Cooling system								
Building envelope	267	0	-	0	214 707	0	0,0	☒
Ventilation	2 520	0	-	95 500 000	2 029 824	0	47,0	☒
Lights	-	-	0	0	0	0	-	☒
Electrical equipment	-	-	0	0	0	0	-	☒
Hot water								
Pumps								
Fans								
Motors								
Process electricity								
Process heat								
Process steam								
Steam losses								
Heat recovery								
Compressed air								
Refrigeration								
Other								
Total	3 960	0	0	98 880 000	3 189 955	0	31,00	

Рисунок 3.7 - Характеристика об'єкту

Зведені результати, що показують рівень ефективності запропонованих заходів показано в таблиці «Енергетичний аналіз проведеної роботи» на рис. 3.8, яка розраховується програмою автоматично.

Summary Show data									
Fuel				Base case		Proposed case		Fuel cost savings	
Fuel type	Fuel consumption - unit	Fuel rate	Fuel consumption	Fuel cost	Fuel consumption	Fuel cost	Fuel saved	Fuel cost savings	
Electricity	MWh	UAH 6 580,000	377,5	UAH 2 484 030	377,5	UAH 2 484 030	0,0	UAH -	
Natural gas	kWh	UAH 2,900	1 956 048,8	UAH 5 672 541	856 064,4	UAH 2 482 587	1 099 984,4	UAH 3 189 955	
Total				UAH 8 156 572		UAH 4 966 617		UAH 3 189 955	
Project verification									
Fuel type	Fuel consumption - unit	Fuel consumption - historical	Fuel consumption - Base case	Fuel consumption - variance					
Electricity	MWh	422,0	377,5	-12%					
Natural gas	kWh	2 278 335,0	1 956 048,8	-16%					
Energy									
	Heating GJ	Cooling GJ	Electricity GJ	Total GJ					
Energy - base case	5 281	3 038	1 359	9 678					
Energy - proposed case	2 774	3 038	1 359	7 171					
Energy saved	2 508	0	0	2 508					
Energy saved - %	47,5%	0,0%	0,0%	25,9%					
Benchmark									
Energy unit	GJ								
Reference unit	m²								

Рисунок 3.8 - Енергетичний аналіз проведеної роботи

На рис. 3.9 в розділі «Фінансовий аналіз» вводимо лише «Строк реалізації проекту» – приблизно 35 років, цього буде достатньо, щоб побачити графік в нормальному вигляді.

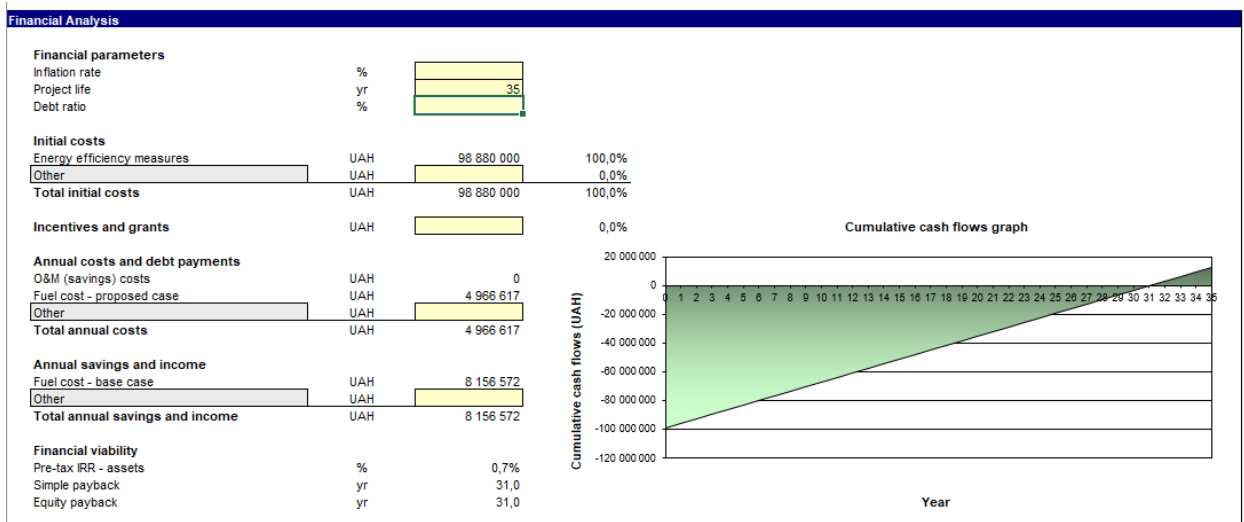


Рисунок 3.9 - Фінансовий аналіз

Під час виконання роботи в програмі RETScreen, у вигляді проведення дослідження, щодо енергетичної ефективності впроваджених заходів були зроблені певні висновки. Заходи, що розраховувалися в даній роботі включають в себе модернізацію ІТП та встановлення вентиляції з рекуперацією.

3.2 Проектування альтернативних джерел енергії в програмному середовищі PV*SOL premium

Проектувати системи альтернативних джерел енергії зручно робити в програмному середовищі PV*SOL Premium (для моделювання фотоелектростанції)

Візуалізація в 3D-режимі надає детальну інформацію про затінення в панелей/колекторів в різний час доби і року, а отже, про можливі скорочення надходжень сонячної радіації.

Програма PV*SOL premium, що є промисловим стандартом для програм проектування фотоелектричних систем, може використовуватися для проектування та моделювання всіх типів сучасних фотоелектричних систем. Це може бути як невелика система на даху з кількома модулями, так і система середнього розміру на дахах промислових підприємств та великі сонячні електростанції для генерації електроенергії в мережу.

Пропонується на даху будівлі встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотреби будівлі та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку, рис. 3.10.



Рисунок 3.10 - Вигляд згори на дахову СЕС

Встановлювати ряди панелей необхідно паралельно корпусу, щоб заощадити місце та з нахилом 15° на південно-східну сторону.

На початку моделювання вся поверхня даху була заповнена максимальною кількістю модулів. Так як програма дозволяє аналізувати затінення, при подальшій

роботі, всі модулі, які мали рівень затінення більше 10%, були видалені вручну, рис. 3.11.

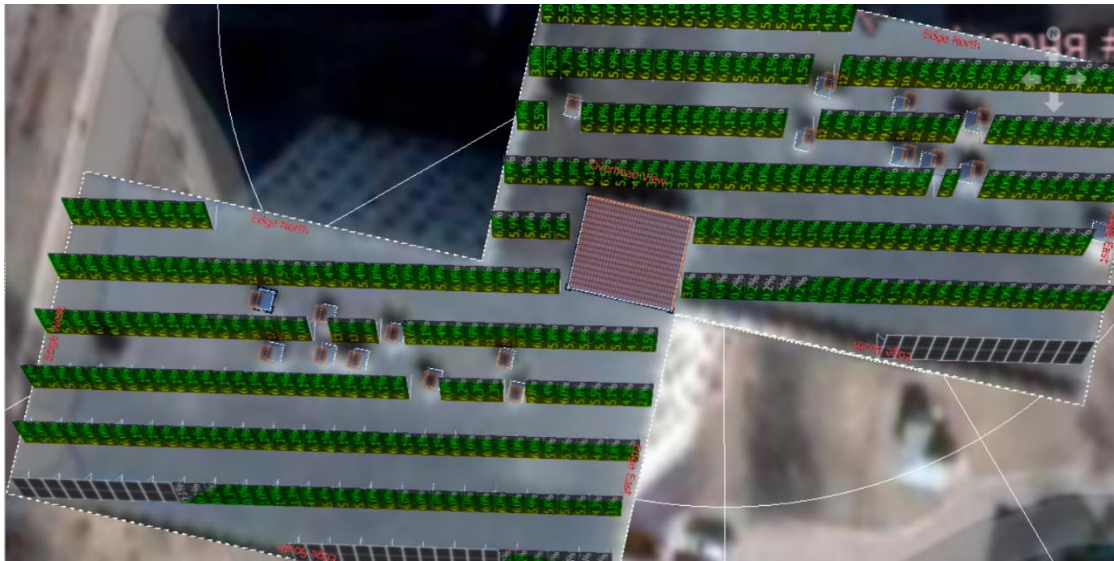


Рисунок 3.11 - Розрахунок затінення панелей розміщених на південь

Підключення до панелей до інверторів проводилося з урахуванням сторін світу на які направлені сонячні панелі.

При проектуванні сонячної електростанції було обрано сонячну панель моделі JAM72D00 350-/PR 350W mono, зображену на рисунку 3.4. Ця фотоелектрична панель, вироблена світовою компанією Ja Solar, є модулем із подвійним склом, який використовує технологію PERC для досягнення високої потужності. Вона забезпечує збільшену генерацію енергії в умовах низької освітленості, має кращу температурну стабільність, високу надійність і довговічність протягом усього періоду експлуатації. Панель також вирізняється високою потужністю на одиницю площі та ККД модуля, що становить 18 %.

При виборі інверторів для системи задавалася така кількість стрінгів на MPP-трекерах та кількість послідовно з'єднаних панелей, щоб всі перевірки за струмом і напругою виконувалися.

Для побудови об'єкту використовувалася сторінка 3D дизайну та проектування. А саме завантаження існуючої карти для створення будівлі. Продемонструємо «розфарбуванням» панелей по стрінгам та MPP-трекерам, на рис. 3.12



Рисунок 3.12 - Підключення панелей до MPP Trackers

В залежності від рівня затінення, всі панелі, які мали рівень затінення більше 10 % були прибрані, через не достатній рівень ефективності. Зобразимо схему підключення панелей до інвертора, рис. 3.13.

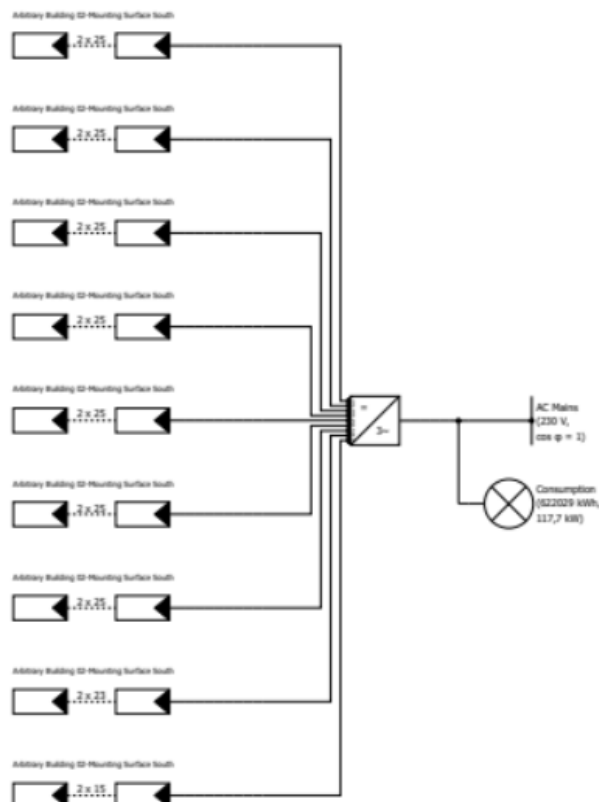


Рисунок 3.13 - Схема підключення панелей до інвертора

Продемонструємо помісячну генерацію та використання енергії на діаграмі, рис. 3.14. Кількість сонячної енергії, яка генерується сонячними панелями за місяць

позначена жовтим кольором, кількість цієї енергії яка витрачається на покриття потреб будівлі – сірим, а надлишок, який можна віддавати в мережу по «зеленому тарифу» або акумулювати – блакитним. Надлишок енергії, яку виробляє сонячний масив явно помітно влітку, коли рівень сонячної радіації високий, а потреба в електричній енергії порівняно низька.

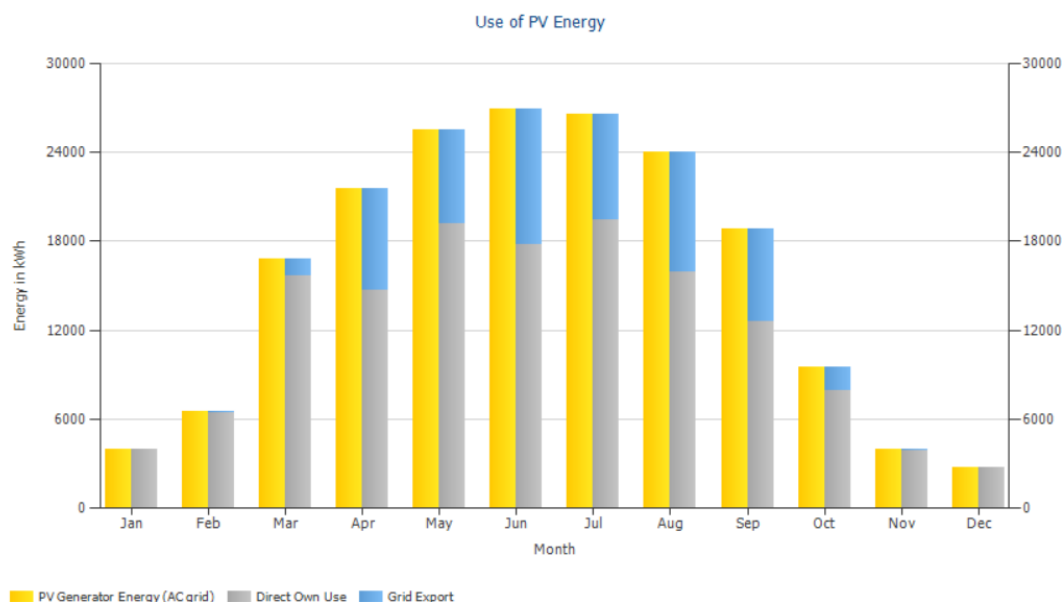


Рисунок 3.14 - Результати моделювання: помісячна генерація та використання енергії

На рисунку 3.14 представлена помісячна генерація енергії та використання цієї енергії для власних потреб. Встановлено що в мережу експортується 46606 КВт · год/рік в той час на власні потреби витрачається 140429 КВт · год/рік.

Після зобразимо рівень помісячного покриття потреби в електричній енергії за допомогою сонячного масиву та від мережі, рис. 3.15.

На рисунку видно, що у весняно-літній період виробництво сонячної енергії досягає свого максимуму, тоді як в осінньо-зимовий період воно є найнижчим, що обумовлено тривалістю світлового дня. Це також впливає на відмінності у споживанні електроенергії між цими періодами. На гістограмі загальне споживання електроенергії будівлею позначене сірим кольором, частка, забезпечена змодельованим сонячним масивом, виділена жовтим кольором, а частина, що покривається централізованим електропостачанням, – блакитним.

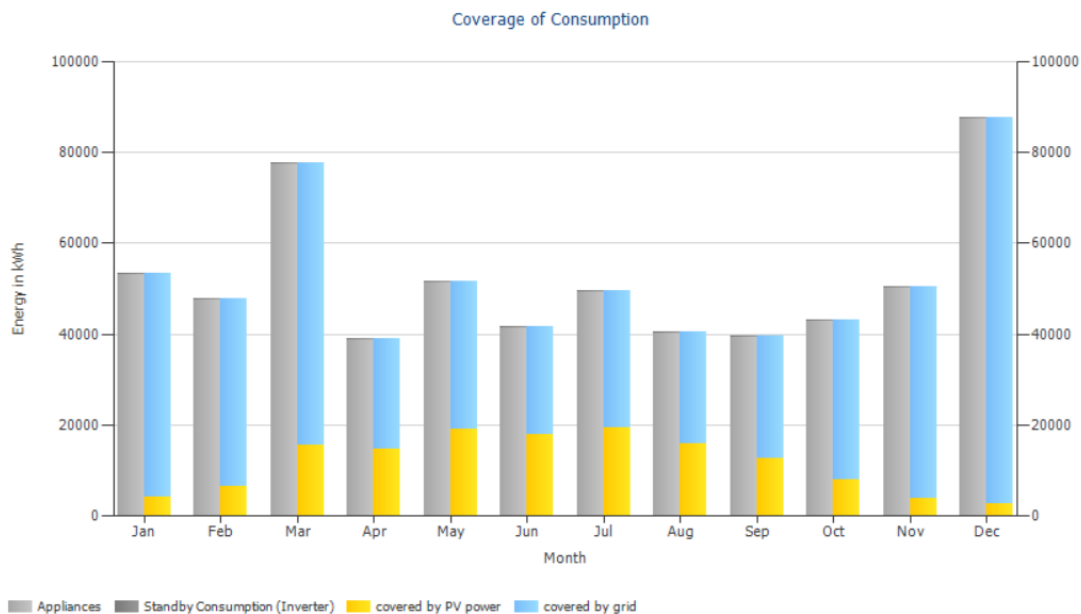


Рисунок 3.15 - Результати моделювання: помісячне електроспоживання

Частка сумарного електроспоживання покритого від сонячних панелей становить 140429 КВт · год/рік, а від мережі 481612 КВт · год/рік, що становить 22,6%, 75,1% відповідно.

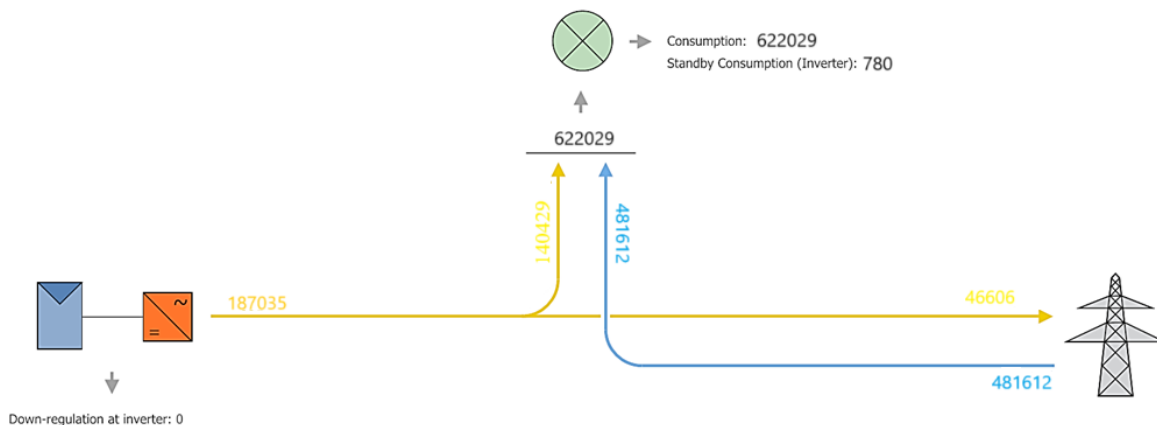


Рисунок 3.16 - Результати моделювання: схема потоків енергії

На графіку, представленому на рисунку 3.16, зображено помісячний розподіл покриття потреби в електроенергії за рахунок сонячного масиву та централізованої мережі. Із рисунка видно, що найбільший обсяг сонячної енергії виробляється у весняно-літній період, тоді як найменший – в осінньо-зимовий, що пов'язано з тривалістю світлового дня. Через це також значно змінюється споживання електроенергії в різні сезони. На гістограмі сірим кольором позначено загальне

споживання електроенергії будівлею, жовтим – частину, забезпечену змодельованим сонячним масивом, а блакитним – частину, покриту централізованим електропостачанням.

Звісно мережева сонячна електростанція не зможе покрити весь графік погодинного навантаження лікарні, але покриття у межах 50-60% цілком можливе. Для повного покриття потреби пропонується на зекономлені кошти закупити акумуляторні батареї та гібридні інвертори.

Отже, станція підібрана для повного ефективного заповнення площі даху.

3.3 Проектування та вибір оптимальної геліосистеми в програмі TSol

TSOL – це програма динамічного моделювання сонячних теплових систем. До таких систем можуть відноситися як системи нагріву побутової води, опалення, так і системи нагріву басейнів чи для отримання технологічної теплоти. Програма дозволяє визначитися з оптимальною конструкцією сонячної теплової системи, підібравши основні її елементи (масиви колекторів, баки-накопичувачі та додаткові нагрівачі) та визначити енергетичну та економічну доцільність впровадження даної системи.

Програма дозволяє провести динамічне річне моделювання системи ГВП з сонячними колекторами, розраховує температури та теплоспоживання, з кроком від однієї до шести хвилин. За результатами моделювання визначаються такі системні параметри, як ККД та частка сонячної енергії на ГВП. Параметри результатів моделювання, такі як генерація теплової енергії і температура колекторів, можуть бути відображені.

Споживання гарячої води для об'єкту можна задаємо через пункт «Hot water consumption / Споживання гарячої води». Споживання гарячої води становить 5908 м³, це 40% від всього споживання води.

Внесемо в програму наші дані щодо споживання води, рис. 3.17.

☐ DHW recirculation loop used

Consumption (based on operating times)

☐ Average daily consumption 16,19 m³

☒ Annual consumption 5908 m³

Annual requirement: 306 353 kWh

Maximum hourly requirement: 101,38 kWh

Temperatures

Desired DHW temperature: 55 °C

☐ Calculate cold water temperature based on climate data

Cold water temperature in February: 5 °C

Cold water temperature in August: 15 °C

Consumption profile

Hospital

Select

Parameters

Рисунок 3.17 - Дані по споживанню гарячої води

Для задання профілю споживання гарячої води було обрано найбільш близький графік до будівлі навчального корпусу, з тих що пропонує програма. Варто зазначати, що власний графік в даній програмі задати неможливо. Погодинне споживання води протягом робочого дня та помісячне протягом року за вибраним графіком представлено, рис. 3.18.

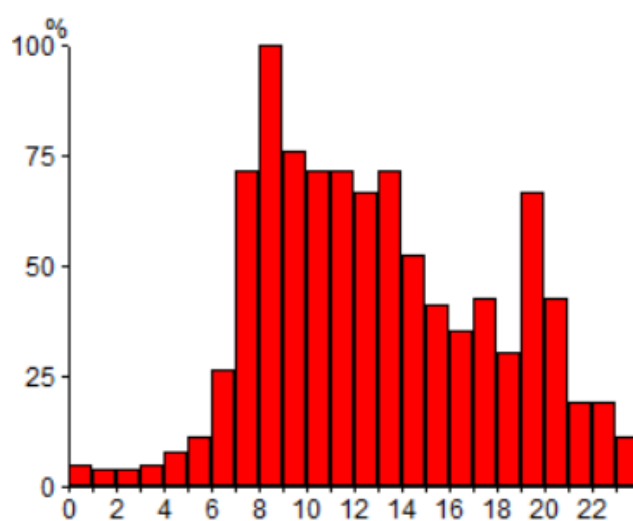


Рисунок 3.18 - Споживання по буднях в програмі TSol

Відповідно до вимог української нормативної бази необхідна температура гарячої води в системі гарячого водопостачання була задана на рівні 55°C, холодної води влітку – 15°C, холодної води взимку – 5°C.

Для встановлення сонячних колекторів на дах об'єкта, спочатку необхідно знайти найбільш ефективний варіант. Будемо обирати між плоскими та вакуумними колекторами з коефіцієнтами заміщення 35%, 55% та 75%. Необхідні скріншоти з розрахунками найбільш ефективного колектора наведені нижче.

Розрахунок плоского колектору при коефіцієнті заміщення 35%. показав, що встановлена потужність колекторів складає 96,87 кВт, загальна площа сонячних колекторів – 190,61 м², потреба в енергії на ГВП замінена сонячними колекторами – 95 644,83 кВт·год, а енергія отримана від додаткового нагрівача 197 028 кВт·год. Фактичне покриття від сонячних колекторів вийшло 32,7%, рис. 3.19. Далі аналогічно для коефіцієнтів 55% та 75%.

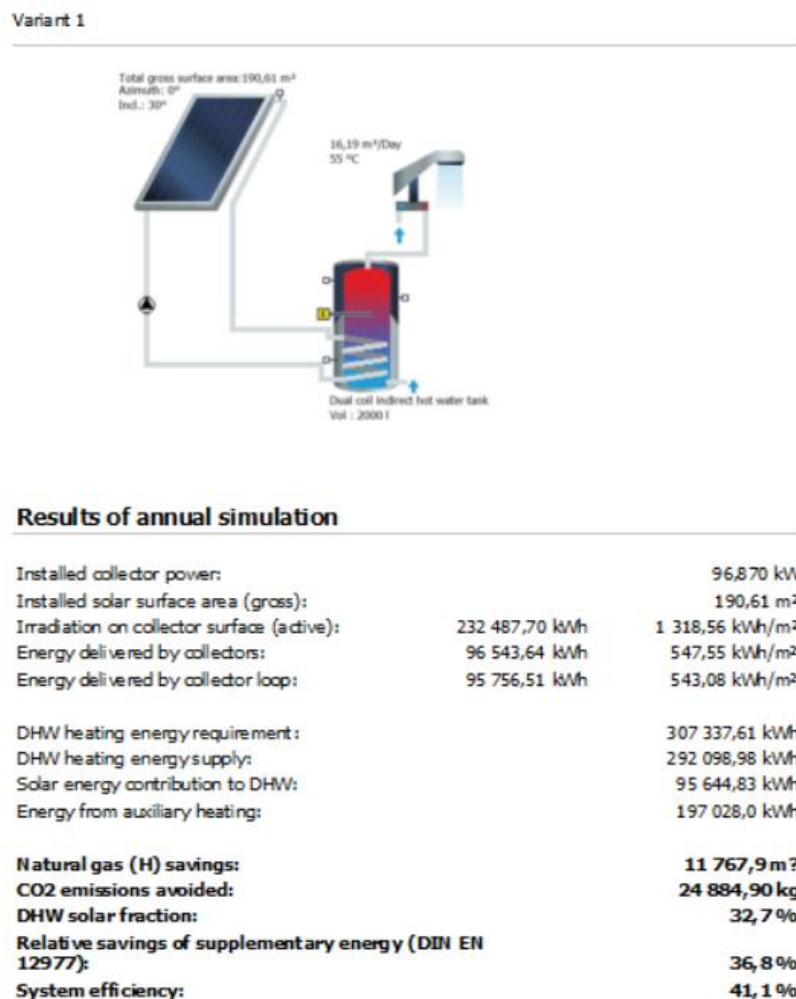


Рисунок 3.19 - Основні результати моделювання при 35%

Розрахунок колектору при коефіцієнті заміщення 55%, рис. 3.20.

Variart 2



Results of annual simulation

Installed collector power:		150,410 kW
Installed solar surface area (gross):		295,94 m²
Irradiation on collector surface (active):	360 967,74 kWh	1 318,56 kWh/m²
Energy delivered by collectors:	110 950,39 kWh	405,28 kWh/m²
Energy delivered by collector loop:	109 654,24 kWh	400,55 kWh/m²
DHW heating energy requirement:		307 337,61 kWh
DHW heating energy supply:		292 498,58 kWh
Solar energy contribution to DHW:		109 498,14 kWh
Energy from auxiliary heating:		183 610,0 kWh
Natural gas (H) savings:		13 472,4 m³
CO2 emissions avoided:		28 489,26 kg
DHW solar fraction:		37,4 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		41,1 %
System efficiency:		30,3 %

Рисунок 3.20 - Основні результати моделювання при 55%

Розрахунок колектору при коефіцієнті заміщення 75%, рис. 3.21.



Results of annual simulation

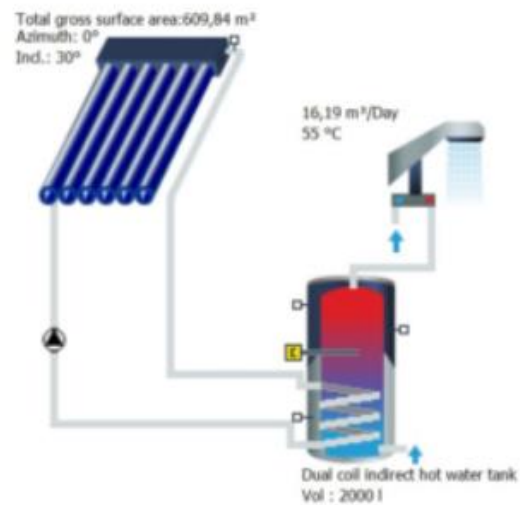
Installed collector power:		215,410 kW
Installed solar surface area (gross):		423,85 m ²
Irradiation on collector surface (active):	516 979,22 kWh	1 318,56 kWh/m ²
Energy delivered by collectors:	119 422,24 kWh	304,59 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop:	117 453,38 kWh	299,57 kWh/m ²
DHW heating energy supply:		293 030,95 kWh
Solar energy contribution to DHW:		117 274,91 kWh
Energy from auxiliary heating:		176 388,0 kWh
Natural gas (H) savings:		14 429,2 m³
CO₂ emissions avoided:		30 512,62 kg
DHW solar fraction:		39,9 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		43,5 %
System efficiency:		22,7 %

Рисунок 3.21 - Основні результати моделювання при 75%

Після чого проведемо розрахунки вакуумного колектору при коефіцієнтах заміщення 35%, 55% та 75%.

Розрахунок колектору при коефіцієнті заміщення 35%, рис. 3.22.

Variant 1



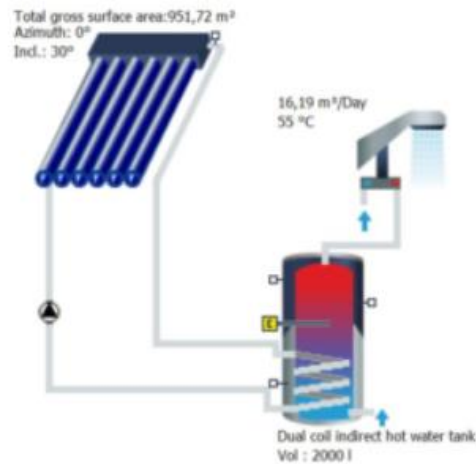
Results of annual simulation

Installed collector power:		258,860 kW
Installed solar surface area (gross):		609,84 m²
Irradiation on collector surface (active):	555 217,33 kWh	1 318,56 kWh/m²
Energy delivered by collectors:	155 509,84 kWh	369,31 kWh/m²
Energy delivered by collector loop:	151 653,39 kWh	360,15 kWh/m²
DHW heating energy supply:		294 316,22 kWh
Solar energy contribution to DHW:		151 356,85 kWh
Energy from auxiliary heating:		143 717,0 kWh
Natural gas (H) savings:		18 622,6 m³
CO2 emissions avoided:		39 380,07 kg
DHW solar fraction:		51,3 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		53,9 %
System efficiency:		27,3 %

Рисунок 3.22 - Основні результати моделювання при 35%

З рисунку бачимо, що встановлена потужність колекторів складає 258,86 кВт, загальна площа сонячних колекторів – 609,84 м², потреба в енергії на ГВП заміщена сонячними колекторами – 155509,84 кВт·год, а енергія отримана від додаткового нагрівача 151653,39 кВт·год. Далі аналогічно для коефіцієнтів 55% та 75%.

Розрахунок колектору при коефіцієнті заміщення 55%, рис. 3.23.

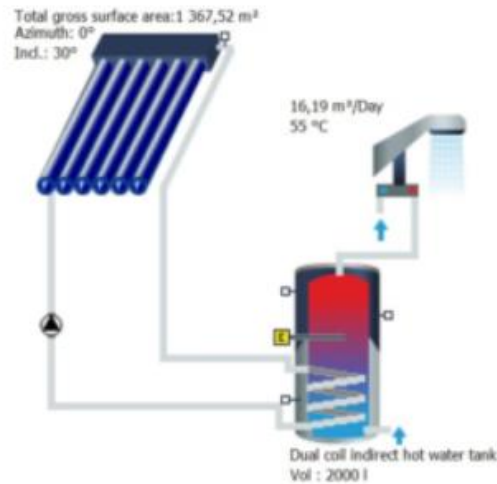


Results of annual simulation

Installed collector power:		403,980 kW
Installed solar surface area (gross):		951,72 m ²
Irradiation on collector surface (active):	866 475,53 kWh	1 318,56 kWh/m ²
Energy delivered by collectors:	168 278,73 kWh	256,08 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop:	161 944,44 kWh	246,44 kWh/m ²
DHW heating energy supply:		294 662,98 kWh
Solar energy contribution to DHW:		161 604,06 kWh
Energy from auxiliary heating:		133 858,0 kWh
Natural gas (H) savings:		19 883,4 m³
CO2 emissions avoided:		42 046,20 kg
DHW solar fraction:		54,7 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		57,1 %
System efficiency:		18,7 %

Рисунок 3.23 - Основні результати моделювання при 55%

Розрахунок колектору при коефіцієнті заміщення 75%, рис. 3.24.



Results of annual simulation

Installed collector power:		580,470 kW
Installed solar surface area (gross):		1367,52 m²
Irradiation on collector surface (active):	1 245 032,80 kWh	1 318,56 kWh/m²
Energy delivered by collectors:	177 766,82 kWh	188,26 kWh/m²
Energy delivered by collector loop:	168 363,22 kWh	178,31 kWh/m²
DHW heating energy supply:		294 885,23 kWh
Solar energy contribution to DHW:		167 996,31 kWh
Energy from auxiliary heating:		127 706,0 kWh
Natural gas (H) savings:		20 669,9 m³
CO2 emissions avoided:		43 709,33 kg
DHW solar fraction:		56,8 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		59,1 %
System efficiency:		13,5 %

Рисунок 3.24 - Основні результати моделювання при 75%

Отже, провівши моделювання колекторів ми можемо зробити порівняння сонячних систем при заміщенні 75%, 55% та 35% та обрати який нам найбільше підійде, рис. 3.25.



Number of collectors	132,0	206,0	296,0
Total gross surface area	609,84 m ²	951,72 m ²	1 367,52 m ²
Manufacturer	Viessmann Werke GmbH & Co KG	Viessmann Werke GmbH & Co KG	Viessmann Werke GmbH & Co KG
Type	Vitosol 200-T SP2A-24	Vitosol 200-T SP2A-24	Vitosol 200-T SP2A-24
Inclination (Tilt Angle)	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Orientation	180,0 °	180,0 °	180,0 °
Tank 1			
Type	Dual coil indirect hot water tank incl. heating element (60 kW)	Dual coil indirect hot water tank incl. heating element (60 kW)	Dual coil indirect hot water tank incl. heating element (60 kW)
Manufacturer	Standard	Standard	Standard
Name	Dual coil indirect hot water tank	Dual coil indirect hot water tank	Dual coil indirect hot water tank
Volume	2 m ³	2 m ³	2 m ³
Results			
Irradiation on collector area - total	555 217 kWh	866 476 kWh	1 245 033 kWh
Irradiation on collector area - specific	1 318,56 kWh/m ²	1 318,56 kWh/m ²	1 318,56 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop	151 653 kWh	161 944 kWh	168 363 kWh
Specific energy delivered by collector loop	360,15 kWh/m ²	246,44 kWh/m ²	178,31 kWh/m ²
Energy from auxiliary heating	143 717 kWh	133 858 kWh	127 706 kWh
System efficiency	27,26 %	18,65 %	13,49 %
Total solar fraction	51,29 %	54,70 %	56,81 %
DHW heating energy supply	294 316 kWh	294 663 kWh	294 885 kWh
DHW solar fraction	51,29 %	54,70 %	56,81 %
Solar energy contribution to DHW	151 357 kWh	161 604 kWh	167 996 kWh
Fuel savings	Natural gas (H)	Natural gas (H)	Natural gas (H)
CO2 emissions avoided	39 380,1 kg	42 046,2 kg	43 709,3 kg

Рисунок 3.25 - Результати порівняння сонячних систем при заміщенні 75%, 55% та 35%

Після проведення дослідження з встановленням плоских та вакуумних колекторів та співставлення фактичного до запланованого коефіцієнту заміщення обираємо вакуумний колектор з коефіцієнтом заміщення 35%.

Отже, обираємо сонячний колектор типу Vitosol 200-T SP2A-24 в кількості 132 штук. Загальна площа, що буде займати система складе 609,84 м².

3.4 Висновки за розділом 3

У ході роботи з програмою RETScreen, що включала дослідження енергоефективності впроваджених заходів, було зроблено низку висновків. Розраховані заходи в межах цієї роботи передбачали модернізацію ІТП, вартістю 3380000 грн, економія впровадження була розрахована програмою і становить 366695 кВт·год/рік. Встановлення вентиляції з рекуперацією, вартістю 95500000 грн, економія впровадження була розрахована програмою і становить 793332 кВт·год/рік. Загальний період окупності заходів склав 31 рік, що пояснюється тривалим терміном окупності вентиляційної установки. Дані, внесені до програми щодо будівлі та запропонованих заходів, можна вважати коректними, оскільки результати періодів окупності в RETScreen та програмі Е-аудит відрізняються несуттєво. Щодо моделювання СЕС, було обрано 780 шт, вартістю 6875000 грн та терміном окупності 3,5 роки. Звісно мережева сонячна електростанція не зможе покрити весь графік погодинного навантаження лікарні, але покриття у межах 50-60% цілком можливе. Для повного покриття потреби пропонується на зекономлені кошти закупити акумуляторні батареї та гібридні інвертори. Станція підібрана для повного ефективного заповнення площі даху. Вся регенерація може бути передана іншим об'єктам комунальної власності лікарні, які розташовані поруч. Для такого варіанту не потрібно отримувати ліцензію на продаж електричної енергії під «зелений тариф». Після проведення дослідження з встановленням плоских та вакуумних колекторів та співставлення фактичного до запланованого коефіцієнту заміщення обираємо вакуумний колектор з коефіцієнтом заміщення 35%. З енергетичного балансу системи на рисунку бачимо, що до колекторів надходить 555 217 кВт·год активної сонячної енергії, з них після врахування втрат в трубопроводі, безпосередньо до системи ГВП надходить 151 653 кВт·год, а для забезпечення необхідної кількості теплової енергії додатково з централізованої мережі надходить 151 357 кВт·год.

Отже, обираємо сонячний колектор типу Vitosol 200-T SP2A-24 в кількості 132 штук. Загальна площа, що буде займати система складе 609,84 м².

4 ОЦІНКА РІВНЯ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТУ ЛІКАРНІ ТА АНАЛІЗ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

4.1 Аналіз температури внутрішнього повітря та вологості об'єкту

Для аналізу забезпечення нормативних значень щодо температури повітря у приміщенні і вологості встановлено датчики температури та вологості у палатах та кабінеті лікаря з 21.02 – 28.02.2024, інтервал реєстрації даних для палати №6 та кабінету №102 - 30 хв, для палати №8 - 15 хв. Для фіксування температури в приміщеннях використані автономні електронні накопичувачі-реєстратори температури ТЕРМОХРОН DS1922 (контактні температурні регістри корпусного виконання MicroCAN з автономним живленням від літієвої батареї). Дані щодо зміни температури та вологості представлені на рис. 4.1, 4.2.

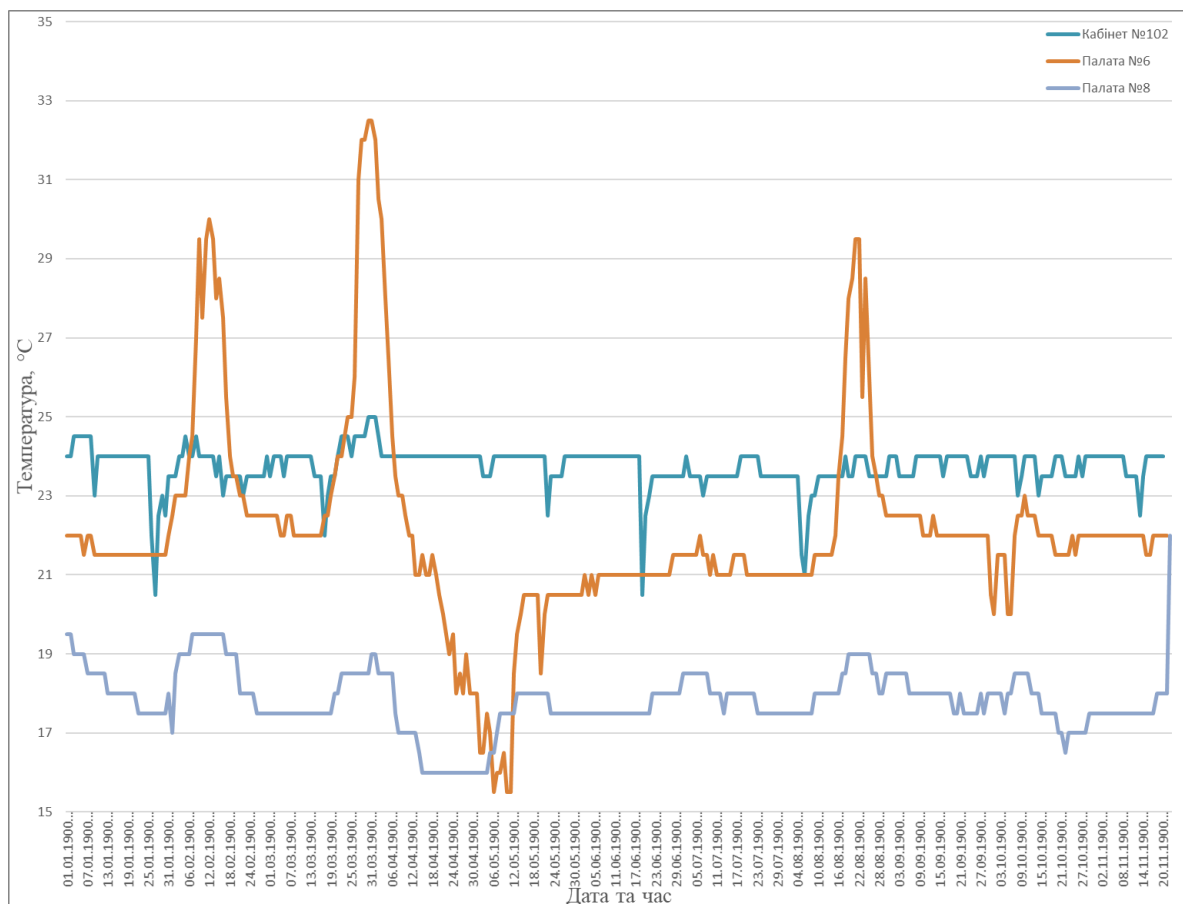


Рисунок 4.1 – Зміни температури внутрішнього повітря в палаті №6, №8 та кабінеті №102

На основі аналізу встановлено, що середнє значення температури 22,1°C, 17,8°C та 23,75°C для палати №6, №8 та кабінету відповідно; максимальнє значення температури 32,5°C, 25°C та 25°C для палати №6, №8 та кабінету відповідно; мінімальнє значення температури 15,5°C, 16°C та 20,5°C для палати №6, №8 та кабінету відповідно. Мінімальні значення для палати №8 припадають на нічні години, а для палати №6, де характерні суттєві відхилення від нормативних значень припадають на ранкові години з 8:00 до 10:30. Максимальні значення температур пояснюються надходженням сонячного випромінювання.

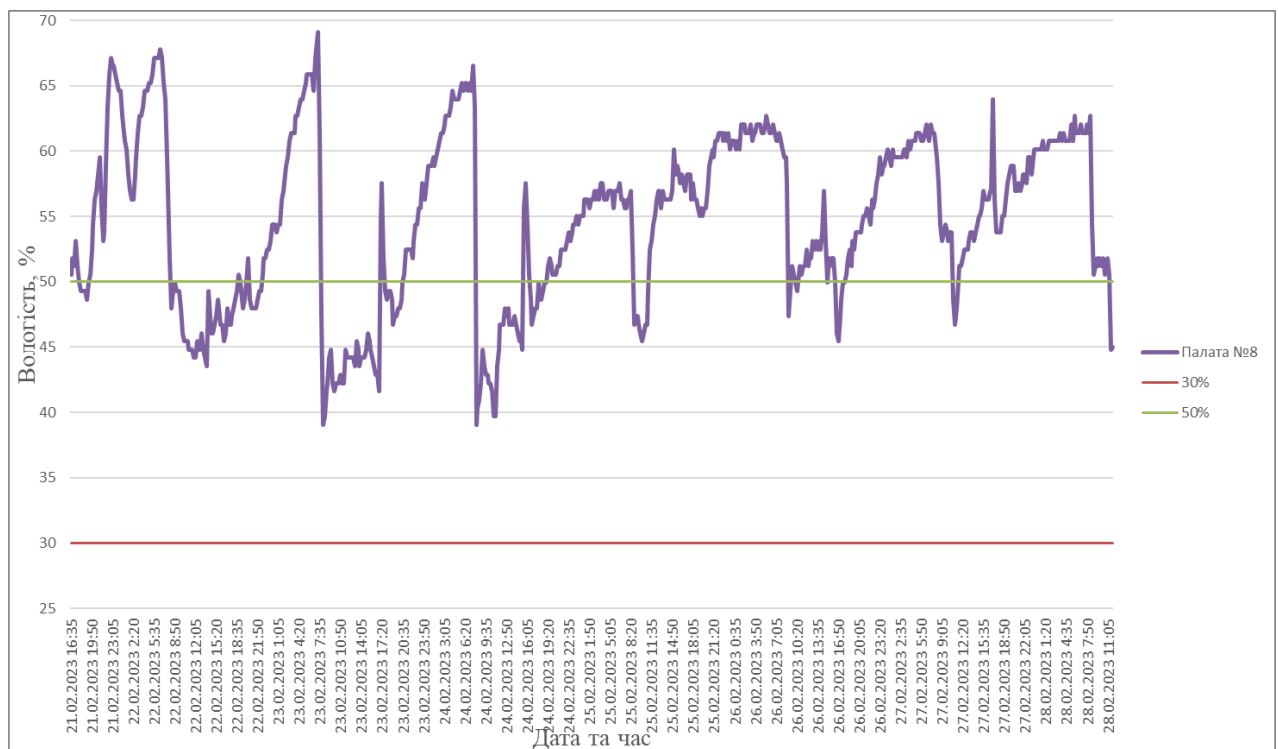


Рисунок 4.2 – Зміни вологості в палаті №8

Датчик вологості встановлено в палаті №8, встановлено мінімальнє значення вологості 25,6 %, максимальнє 69 %, а середнє 54,6 %. Відповідно до підвищених оптимальних вимог діапазон вологості становить 30-50%, а оптимальних 25 – 60%. Оскільки лікарня належить по категорії А щодо забезпечення комфортних умов, то там слід дотримуватися підвищених оптимальних вимог, які наведено у таблиці нижче. У табл. 4.1 продемонстровано нормативні діапазони відносної вологості повітря для кімнат з підвищеними оптимальними вимогами до мікроклімату [6].

Таблиця 4.1 - Умови мікроклімату будівлі

Умови мікроклімату	Відносна вологість повітря, %
Підвищені оптимальні	30-50
Оптимальні умови	25-60
Допустимі	25-70
Обмежено допустимі	Менше 20 та більше 70

Отже, аналіз температур та вологості показав значні відхилення від нормативних значень, впровадження заходів з енергоефективності дозволить підвищити рівень термічного опору огорожувальних конструкцій і середню радіаційну температуру в приміщенні, особливо для кутової кімнати, де характерний найвищі відхилення. Подальші дослідження полягатимуть в оцінці показників теплового комфорту та використанні відновлювальних джерел енергії.

4.2 Розрахунок комфорту в палаті №8

Підвищення енергоефективності громадських будівель та забезпечення комфортних умов стають ключовим завданням в умовах сталого розвитку. На прикладі Лікарні буде проілюстровано вплив підвищення термічного опору огорожень згідно з сучасними вимогами.

Термічний опір огорожень відповідає стандартам, які були встановлені у 80-х роках. Для оцінки зміни рівня комфорту взята модель із двома зовнішніми стінами, палати №8, що на 2 поверсі. Рівень теплового комфорту оцінюється за критерієм PMV, що базується на суб'єктивних та об'єктивних параметрах мікроклімату. PMV визначається методом енергетичного балансу між людським тілом і оточуючим середовищем.

Хоча модель розроблена Фангером і показник PMV ґрунтується на численних експериментах, важливий механізм терморегуляції людини не врахований у даному контексті розрахунку теплообміну.

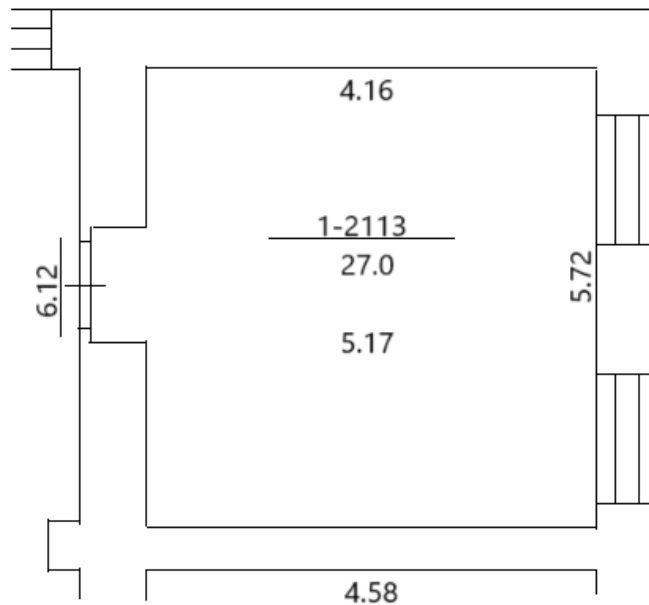


Рисунок 4.3 – Палата №8

У таблиці 4.2 представлені характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища.

Таблиця 4.2 – Характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища

Температура повітря довкілля T_o , К	273
Відносна вологість довкілля φ_o , %	78
Відносна вологість повітря в кімнаті, φ_v , %	54,6
Атмосферний тиск, Па	101325
Середня потужність надходження сонячної радіації на вертикальну поверхню Вт/м ²	30

Також враховувалася швидкість обміну речовин, що становила 60 Вт/м², оскільки в даній кімнаті основний стан людини - сидячий та розслаблений, що є типовим для лікарні. Термічний опір типових комбінацій одягу вибирався для сорочки, брюк та взуття і складав відповідно 0,155 м²К/Вт, використовуючи дані, отримані відповідно до. Активність та тип одягу людини представлено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Активність та тип одягу людини

Термічний опір одягу, $\text{m}^2\text{K}/\text{Вт}$	0,155
Швидкість обміну речовин, $\text{Вт}/\text{m}^2$	60
Активність присутніх, $\text{Вт}/\text{m}^2$	0
Кратність повітрообміну, год^{-1}	1

Розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року до та після термомодернізації здійснювався у Mathcad. Сучасні вимоги щодо показників термічного опору огорожі представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення опору огорожувальних конструкцій [7]

Тип огорожувальної конструкції	Нормативний термічний опір огорожувальних конструкцій, R , $\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	
	Вимоги України	Вимоги Швеції
Зовнішні стіни	3,3	5,56
Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	6,67
Світлопрозорі конструкції	0,75	0,83
Двері зовнішні	0,6	0,83
Суміщене перекриття	5,35	7,69

Розраховували показники теплового комфорту за моделлю та отримали середні радіаційні температури:

$T_{r1} = 20,797\text{ }^{\circ}\text{C}$ – середня радіаційна температура на протязі року до термомодернізації;

$T_{r2} = 21,495\text{ }^{\circ}\text{C}$ – середня радіаційна температура на протязі року після термомодернізації за нормативним термічним опором України.

$T_{r2} = 21,531\text{ }^{\circ}\text{C}$ – середня радіаційна температура на протязі року після термомодернізації за нормативним термічним опором Швеції.

Продемонструємо на графіку зміну середньої радіаційної температури при підвищенні термічного опору до сучасних вимог на рис. 4.4.

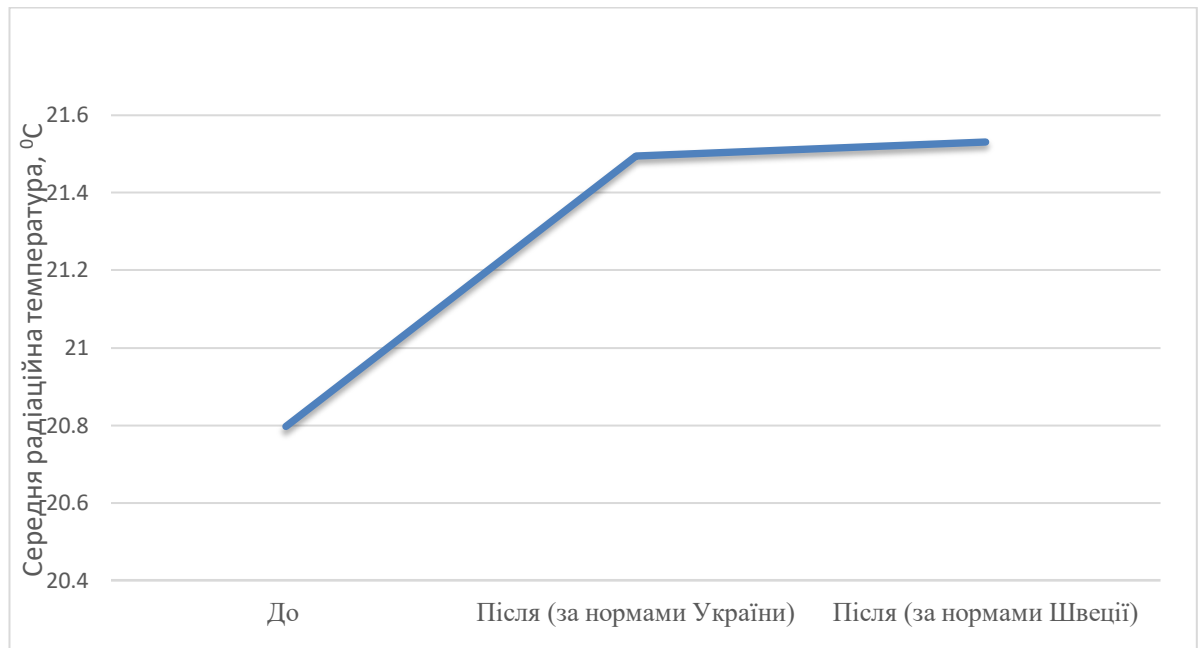


Рисунок 4.4 – Зміна середньої радіаційної температури при підвищенні термічного опору до сучасних вимог

Значення PMV для опалювального періоду до термомодернізації розрахуємо за допомогою онлайн калькулятора що представлений на рис. 4.5.

Calculation of PMV and PPD

60	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 232 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
22	Ta (C), Ambient air temperature (10-30)
20.797	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	v (m/s), Relative air velocity (0.1 to 1 m/s)
54.6	rh (%), Relative humidity
1.0	Icl (clo), basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

PMV and PPD

PMV -0.41 -3 cold to +3 hot

PPD 8.5 (%)

CALCULATION READY!

Рисунок 4.5 – Онлайн калькулятор PMV та PPD до термомодернізації

Значення PMV для опалювального періоду після термомодернізації за нормативними вимогами для України розрахуємо за допомогою онлайн калькулятора що представлений на рис. 4.6.

Calculation of PMV and PPD

60	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 232 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
22	Ta (C), Ambient air temperature (10-30)
21.495	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	v (m/s), Relative air velocity (0.1 to 1 m/s)
54.6	rh (%), Relative humidity
1.0	Icl (clo), basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

PMV and PPD

PMV -3 cold to +3 hot

PPD (%)

CALCULATION READY!

Рисунок 4.6 – Онлайн калькулятор PMV та PPD після термомодернізації за нормативними вимогами України

Значення PMV для опалювального періоду після термомодернізації за нормативними вимогами для Швеції розрахуємо за допомогою онлайн калькулятора що представлений на рисунку 4.7.

Calculation of PMV and PPD

60	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 232 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
22	Ta (C), Ambient air temperature (10-30)
21.531	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	v (m/s), Relative air velocity (0.1 to 1 m/s)
54.6	rh (%), Relative humidity
1.0	Icl (clo), basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

PMV and PPD

PMV -3 cold to +3 hot

PPD (%)

CALCULATION READY!

Рисунок 4.7 – Онлайн калькулятор PMV та PPD після термомодернізації за нормативними вимогами Швеції

Виявлено, що PMV коливається від -0,4 до -0,3. Зміна термічного опору огорожень сприяє підвищенню PMV та поліпшенню теплового комфорту для людини на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Зміна PMV до та після термомодернізації

Отже, можна зробити висновок, що після проведення термомодернізації лікарні, щодо забезпечення комфортних умов, підніметься з другої на першу, що суттєво підвищить продуктивність праці персоналу та перебування пацієнтів. PMV підвищилося, відчуття людей і комфортного перебування в палаті №8 покращилося.

4.3 Екологічна та енергетична оцінка життєвого циклу утеплення будівлі

Будь-які процеси зміни навколишнього середовища повинні проходити без шкоди для нього, особливо з точки зору екології. Вимоги щодо екологічності та охорони природи необхідно виконувати як для нових створюваних об'єктів, так і для існуючих елементів довкілля, а також під час будівництва і подальшої експлуатації об'єкта як кінцевого продукту.

Життєвий цикл об'єкта будівництва охоплює послідовні та взаємопов'язані етапи від видобутку ресурсів і використання матеріалів до їх остаточного повернення в природу. Оцінка життєвого циклу об'єкта будівництва включає збір, зіставлення і аналіз даних про вхідні та вихідні потоки матеріалів і енергії, а також потенційний вплив на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу. Фаза оцінювання впливу життєвого циклу спрямована на визначення обсягу та оцінку значущості можливих екологічних наслідків на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта [8].

Екологічний підхід включає принципи мінімізації використання ресурсів і зменшення викидів на кожному етапі життєвого циклу. Аналіз життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) є одним з основних інструментів екологічної оцінки промислових процесів. Цей метод охоплює кількісний аналіз матеріальних і енергетичних потоків, а також впливу на довкілля, що виникає в результаті певного процесу, продукції або промислової діяльності.

Назва LCA підкреслює, що аналіз включає весь життєвий цикл — від видобутку та обробки сировини до виробництва, транспортування, розповсюдження, використання, обслуговування та переробки або утилізації відходів [8].

Екологічна оцінка життєвого циклу є необхідною через те, що різні будівельні матеріали і вироби чинять різний вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу. Цей вплив зумовлений багатьма факторами, серед яких транспортування, виробництво, експлуатація, утилізація та інші аспекти.

Відповідно до ДБН А.2.2-3: 2022 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [9] до складу основних техніко-економічних показників об'єктів будівництва невикористаного призначення додано нові показники що враховують світові тенденції щодо переходу до створення будівель з майже нульовим споживанням енергії та викиду вуглецю. Що в свою чергу передбачає використання методики оцінки життєвого циклу, врахування не тільки експлуатаційних але й приведених витрат та викидів парникових газів. До таких показників відносять викиди вуглецю і приєднані витрати енергії, пов'язані із

спорудженням об'єкта; частка матеріалів в об'єкті, які можуть бути використані повторно, інші показники в залежності від особливостей об'єкта (за необхідності, що встановлено у завданні на проектування).

Приклади використання таких показників представлено в ДСТУ 9171:2021 «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проектування споруд» [10].

Автори пропонують враховувати приєднані витрати CO₂ і наводять приклади з європейських EPD (ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION) [11].

Декларації екологічних продуктів (Environmental Product Declaration, EPD) є прозорою, перевіреною та порівнюваною інформацією про вплив продуктів на довкілля продовж свого життєвого циклу.

Міжнародна система EPD – це глобальна програма екологічних декларацій. Зараз онлайн-база EPD-даних містить понад 1 100 декларацій для широкого спектру категорій товарів у 45 країнах.

По суті EPD – це екологічна сертифікація, яка кількісно визначає та перевіряє життєвий цикл продуктів та товарів. EPD допомагає клієнтам, що орієнтовані на екологічність, приймати найкращі рішення під час вибору товарів чи послуг від різних постачальників. Наприклад, деякі компанії вже впровадили EPD для всіх своїх основних продуктів, намагаючись покращити свої показники сталого розвитку та продемонструвати клієнтам свою турботу про навколишнє середовище [11].

Етапи життєвого циклу детально представлено на рисунку 4.9 а і б. До етапів життєвого циклу відноситься стадія до експлуатації, стадія експлуатації та після завершення експлуатації та ліквідації будівлі.



Рисунок 4.9а - Потокова діаграма життєвого циклу



Рисунок 4.9б – Етапи життєвого циклу

В даному розділі оцінимо витрати енергії: операційне енергоспоживання, а також пов'язані з встановленням ізоляції, зниження викидів CO₂ та споживання енергії, а також приведені викиди CO₂.

Для даного розрахунку використовуємо матеріали Isover мінеральну вату товщиною 150мм, теплопровідністю 0,044 Вт/м·К.

Вплив на оточуюче середовище при виготовленні даного матеріалу, його встановленні та ліквідації прописані в EPD [11], що представлено на рис. 4.10.

ПАРАМЕТРИ		Продукт Етап	Етап процесу будівництва		Кінець життєвого циклу				D Повторне використання відновлення, переробка
		A1/A2/A3	A4 Транспорт	Установка AC	C1 Деконструкція/ знесення	C2 Транспорт	C3 Переробка відходів	C4 Утилізація	
	Потенціал глобального потепління кг CO ₂ еквівалент/FU	7.69E-01	1.86E-02	2.08E-02	0	1.41E-03	0	1.53E-02	MND
	Руйнування озонового шару кг CFC еквівалент/FU	9.20E-08	2.84E-18	2.56E-09	0	2.16E-19	0	8.55E-17	MND
	Потенціал окислення кг SO ₂ еквівалент/FU	2.90E-03	7.76E-05	7.47E-05	0	5.81E-06	0	8.73E-05	MND
	Потенціал евтрофікації кг PO еквівалент/FU	1.76E-03	1.90E-05	3.87E-05	0	1.42E-06	0	9.90E-06	MND
	Фотохімічне утворення озону кг Етену еквівалент/FU	2.67E-04	2.84E-06	6.51E-06	0	2.13E-07	0	7.19E-06	MND
	Потенціал абіотичного виснаження невикопних ресурсів кг Sb екв/FU	4.49E-05	2.46E-10	8.98E-07	0	1.87E-11	0	5.21E-09	MND
	Потенціал абіотичного виснаження викопних ресурсів MJ/FU	1.19E+01	2.58E-01	3.14E-01	0	1.96E-02	0	2.04E-01	MND

Рисунок 4.10 - Вплив на довкілля обраного теплоізоляційного матеріалу на різних етапах життєвого циклу

В даній роботі враховуватимемо потенціал глобального потепління, а саме кілограми CO₂ еквіваленту, тому враховуючи площу зовнішніх стін та товщину

теплоізоляційного матеріалу, коефіцієнт перерахунку для якого становить 1,5 розраховуємо потенціал глобального потепління (GWP) [10] розраховуємо за формулою

$$GWP = \sum GWP \cdot Q_s, \quad (4.1)$$

де n – кількість елементів будівлі, які оцінюються;

Q_s – обсяг елементів оцінки, що стосуються будівлі (об'єм матеріалів, кількість виробів тощо).

Підставимо значення у формулу (4.1):

$$GWP = 7,69 \cdot 10^{-1} \cdot 7165 \cdot 1,5 = 8,26 \cdot 10^3 \text{ кг CO}_2 \text{ -еквіваленту}$$

Аналогічно порахуємо інші, узагальнимо результати в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Потенціал глобального потепління для обраного теплоізоляційного матеріалу на різних етапах життєвого циклу.

Параметр	Продукт Етап	Етап процесу будівництва		Кінець життєвого циклу			
	A1/ A2/ A3	A4 Транспорт	Установка AC	C1 Деконструкція	C2 Транспорт	C3 Переробка відходів	C4 Утилізація
$GWP, \text{ кг}$	$8,26 \cdot 10^3$	$1,99 \cdot 10^2$	$2,23 \cdot 10^2$	0	15,1	0	$1,64 \cdot 10^2$

Дані щодо споживання ресурсів при виготовленні даного матеріалу, його встановленні та ліквідації прописані в EPD, що представлено на рис. 4.11.

ПАРАМЕТРИ		Продукт Етап	Етап процесу будівництва		Кінець життєвого циклу				D Повторне використання відновлення, переробка
		A1/A2/A3	A4 Транспорт	Установка АС	C1 Деконструкція/ знесення	C2 Транспорт	C3 Переробка відходів	C4 Утилізація	
	Використання відновлювальної первинної енергії, за винятком відновлювальних первинних енергетичних ресурсів, які використовуються як сировина- MJ/FU	8.07E+00	5.93E-03	1.62E-01	0	4.51E-04	0	2.68E-02	MND
	Використання відновлювальної первинної енергії, за винятком відновлювальних первинних енергетичних ресурсів, які використовуються як сировина- MJ/FU	7.97E-01	0	1.59E-02	0	0	0	0	MND
Загальне використання відновлювальних первинних енергетичних ресурсів (первинна енергія та енергетичні ресурси, що використ. як сировина) MJ/FU		9.66E+00	5.93E-03	1.78E-01	0	4.51E-04	0	2.68E-02	MND
	Використання невідновлювальної первинної енергії, за винятком невідновлювальної первинної енергії	1.26E+01	2.59E-01	3.29E-01	0	1.97E-02	0	2.11E-01	MND
	Використання невідновлювальної первинної енергії, за винятком невідновлювальної первинної енергії	7.89E-01	0	1.58E-02	0	0	0	0	MND
Загальне використання невідновлювальних первинних енергетичних ресурсів (первинна енергія та первинні енергетичні ресурси, що використовуються як сировина) MJ/FU		1.34E+01	2.59E-01	3.45E-01	0	1.97E-02	0	2.11E-01	MND

Рисунок 4.11 - Споживання ресурсів при підвищенні теплоізоляційних властивостей оболонки будівлі

Для даного випадку враховується сумарні споживання відновлювальних первинних енергоресурсів та сумарне споживання невідновлювальних первинних енергоресурсів. Алгоритм розрахунку аналогічний як для GWP, результати представлені у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Загальне використання первинних енергетичних ресурсів при підвищенні теплоізоляційних властивостей оболонки будівлі

Параметр	Продукт Етап	Етап процесу будівництва		Кінець життєвого циклу			
	A1/ A2/ A3	A4 Транспорт	Установка АС	C1 Деконструкція	C2 Транспорт	C3 Переробка відходів	C4 Утилізація
Загальне використання відновлювальних первинних енергетичних ресурсів	$1,04 \cdot 10^5$	63,7	$1,91 \cdot 10^3$	0	4,85	0	$2,88 \cdot 10^2$

Продовження таблиці 4.6

Загальне використання невідновлювальних первинних енергетичних ресурсів	$1,44 \cdot 10^5$	$2,78 \cdot 10^3$	$3,71 \cdot 10^3$	0	$2,12 \cdot 10^2$	0	$2,27 \cdot 10^3$
---	-------------------	-------------------	-------------------	---	-------------------	---	-------------------

Дані щодо операційних витрат після термомодернізації В6 визначаємо на основі попереднього аналізу і значень енергоспоживання до та після термомодернізації. Для визначення GWP використовуються дані щодо енергоспоживання та коефіцієнти відповідно до стандарту [12].

Проведемо оцінку викидів CO₂ та споживання енергії для проекту встановлення теплоізоляції будівлі, на основі даних EPD, результати занесемо в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати оцінки викидів CO₂ та споживання енергії для проекту встановлення теплоізоляції будівлі

	В5 Ремонт	В6 Операційні витрати(до/після термомодернізації)		Кінець життєвого циклу		Всього за життєвий цикл	
				C2 Транспорт	C4 Утилізація	до	після
GWP, кг CO ₂	8682	$2,8 \cdot 10^7$	$1,95 \cdot 10^7$	15,1	$1,64 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^7$	$1,95 \cdot 10^7$
Загальне використання відновлювальних первинних енергетичних ресурсів	$1,06 \cdot 10^5$	–	–	4,85	$2,88 \cdot 10^2$	-	-

Продовження таблиці 4.7

Загальне використання невідновлювальних первинних енергетичних ресурсів	$1,5 \cdot 10^5$	$5,04 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$	$2,12 \cdot 10^2$	$2,27 \cdot 10^3$	-	-
Всього енергії, МДж	$2,56 \cdot 10^5$	$5,04 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$	216,85	2558	$5,04 \cdot 10^8$	$3,54 \cdot 10^8$

На рис. 4.12 представлено споживання енергії та емісія CO₂ на етапі B5 ремонт. Викиди CO₂ на даному етапі становлять 8682 кг, що становить 0,045% від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі B5 дорівнює 256000 МДж, що становить 0,07% від викидів протягом всього життєвого циклу.

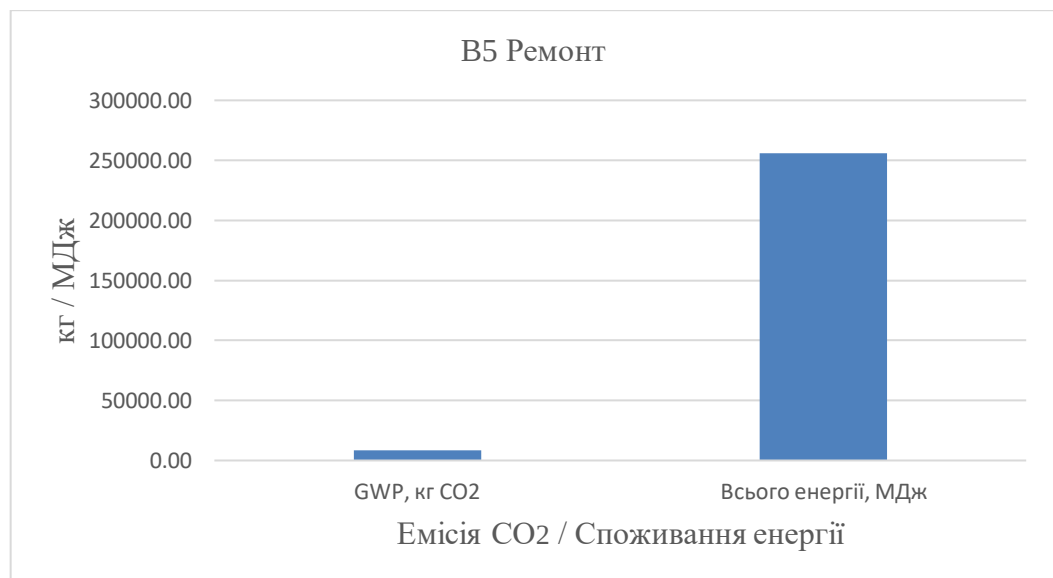


Рисунок 4.12 - Споживання енергії та емісія CO₂ на етапі B5 ремонт

На рис. 4.13 представлено споживання енергії та емісія CO₂ на етапі B6 Операційні витрати (до/після термомодернізації). Викиди CO₂ на даному етапі становлять $2,8 \cdot 10^7$ кг, що становить 99 % від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі B6 дорівнює $3,5 \cdot 10^8$ МДж, що становить 98,8 % від викидів протягом всього життєвого циклу.

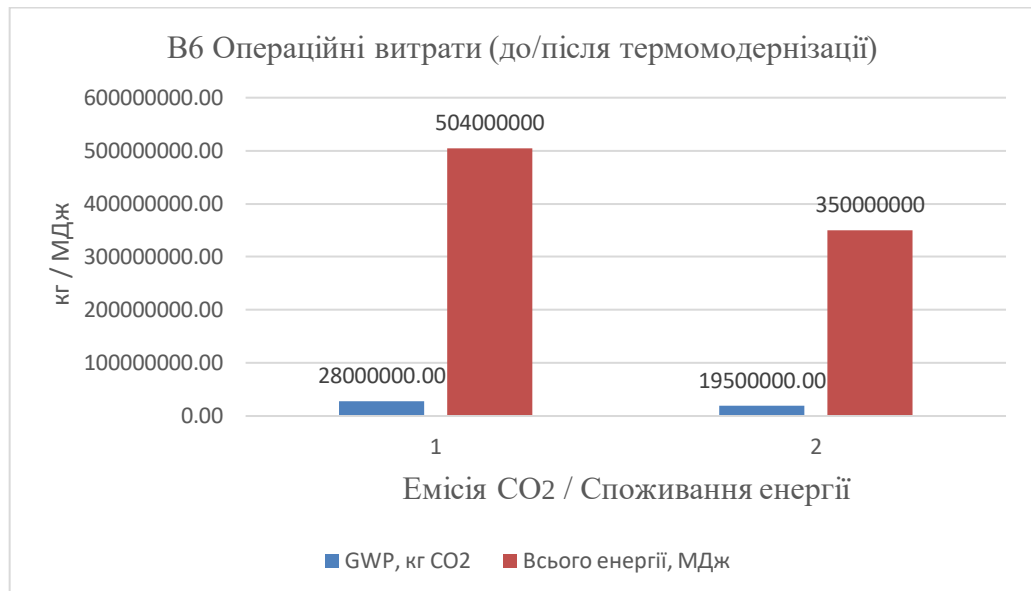


Рисунок 4.13 - Споживання енергії та емісія CO₂ на етапі B6 Операційні витрати (до/після термомодернізації)

На рис. 4.14 представлено споживання енергії та емісія CO₂ на етапі C2 транспорт. Викиди CO₂ на даному етапі становлять 15,10 кг, що становить $7,7 \cdot 10^{-5}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу.

Споживання енергії на етапі B6 дорівнює 216,85 МДж, що становить $6,1 \cdot 10^{-5}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу.

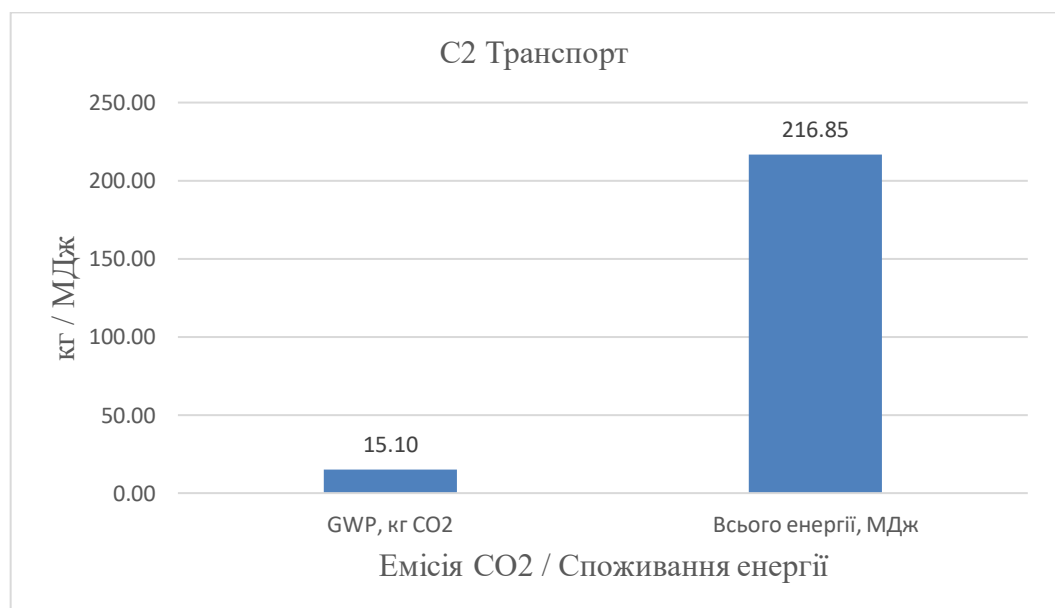


Рисунок 4.14 - Споживання енергії та емісія CO₂ на етапі C2 транспорт

На рис. 4.15 представлено споживання енергії та емісія CO₂ на етапі С4 утилізація. Викиди CO₂ на даному етапі становлять 164 кг, що становить $8,4 \cdot 10^{-4} \%$ від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі С4 дорівнює 2558 МДж, що становить $7,2 \cdot 10^{-4} \%$ від викидів протягом всього життєвого циклу.

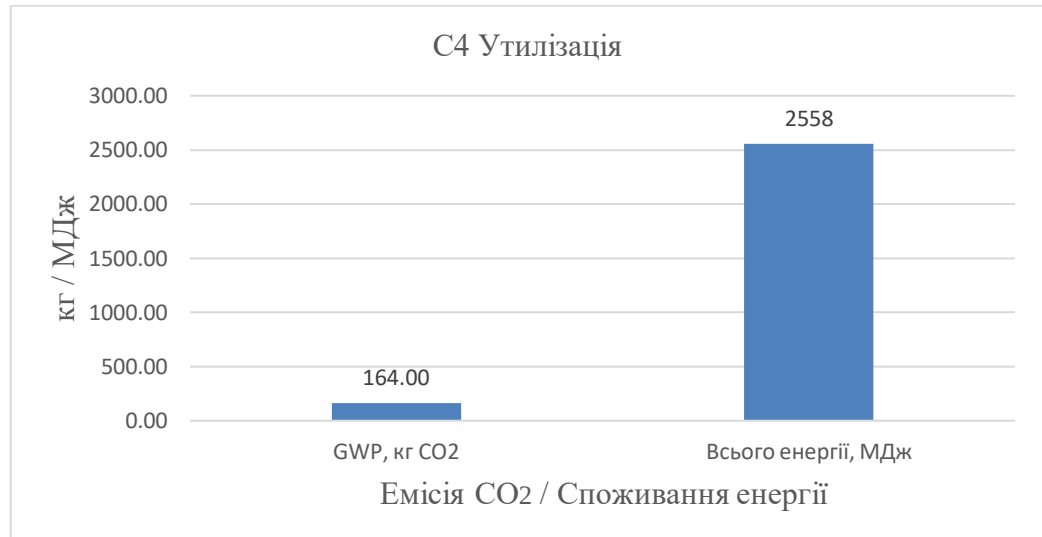


Рисунок 4.15 - Споживання енергії та емісія CO₂ на етапі С4 утилізація

На рис. 4.16 - 4.17 представлено споживання енергії та емісія CO₂ на всіх етапах життєвого циклу.

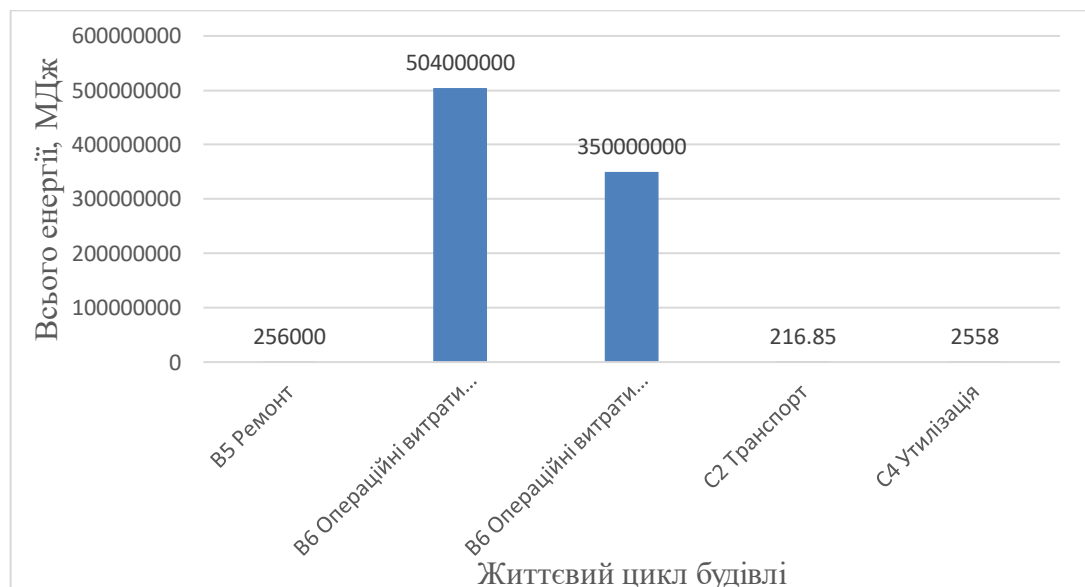


Рисунок 4.16 - Споживання енергії за весь життєвий цикл будівлі

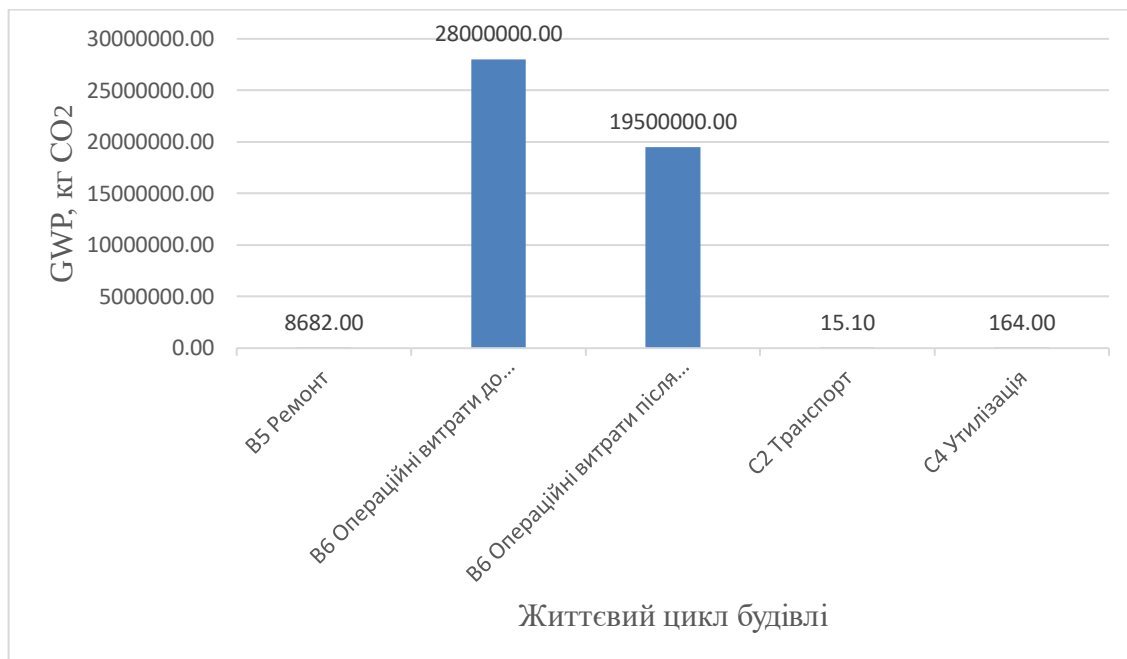


Рисунок 4.17 - Емісія CO₂ за весь життєвий цикл будівлі

Встановлено що в результаті термомодернізації викиди CO₂ протягом життєвого циклу зменшуються на 67,6% в порівнянні з базовим варіантом не утепленим. Операційні витрати відрізняються до та після утеплення на 69,4%.

4.4 Висновки за розділом 4

В даному розділі проведено аналіз витрат енергії та викидів CO₂ для життєвого циклу проекту встановлення теплової ізоляції. Особливістю даної методики є те, що враховано викиди приєднаного CO₂, приєднаний CO₂ це той що міститься в матеріалах. Вимоги щодо врахування приєднаного CO₂ обумовлені європейськими тенденціями щодо створення зелених будівель і будівель майже з нульовим споживанням енергії для яких характерно зростання частки приєднаних викидів CO₂ і витрат енергії в порівнянні з операційними.

На етапі B5 ремонт викиди CO₂ становлять 8682 кг, що становить 0,045% від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі B5 дорівнює 256000 МДж, що становить 0,07% від викидів протягом всього життєвого циклу.

На етапі В6 Операційні витрати (до/після термомодернізації) викиди CO_2 становлять $2,8 \cdot 10^7$ кг, що становить 99 % від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі В6 дорівнює $3,5 \cdot 10^8$ МДж, що становить 98,8 % від викидів протягом всього життєвого циклу.

На етапі С2 транспорт викиди CO_2 становлять 15,10кг, що становить $7,7 \cdot 10^{-5}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі В6 дорівнює 216,85 МДж, що становить $6,1 \cdot 10^{-5}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу.

Викиди CO_2 на С4 утилізація становлять 164 кг, що становить $8,4 \cdot 10^{-4}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу. Споживання енергії на етапі С4 дорівнює 2558 МДж, що становить $7,2 \cdot 10^{-4}$ % від викидів протягом всього життєвого циклу.

Таким чином, встановлено що в результаті термомодернізації викиди CO_2 протягом життєвого циклу зменшуються на 67,6% в порівнянні з базовим варіантом не утепленим. Операційні витрати відрізняються до та після утеплення на 69,4%.

5 СТАРТАП-ПРОЄКТ ПО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОМУ УПРАВЛІННЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У ЛІКАРНІ

5.1 Загальний опис ідеї

Лікарні — це заклади, які працюють цілодобово та забезпечують комфортні умови для пацієнтів та медичного персоналу. Для підтримки необхідного рівня комфорту використовуються системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та освітлення. Проте більшість із цих систем працюють за застарілими або неадаптованими методами, які не враховують поточні умови, завантаженість приміщень або фактичні потреби користувачів. Ці будівлі споживають великі обсяги енергії через постійне функціонування інженерних систем (опалення, вентиляції, освітлення). Відсутність адаптивних систем управління призводить до перевитрати енергоресурсів, що збільшує фінансові витрати та погіршує екологічні показники.

Для вирішення низки цих проблем було створено стартап, який являє собою розробку інтелектуальної системи управління енергоспоживанням, зокрема, для медичних закладів. Основною інновацією є інтеграція IoT-рішень і аналіз даних для автоматизації кліматичних систем лікарні з урахуванням як об'єктивних, так і суб'єктивних параметрів комфорту, включаючи рівень заповненості приміщень, параметри повітря та зовнішні кліматичні умови [6].

Цей стартап, надає такі переваги:

Зниження витрат на енергоресурси:

1. Система буде автоматично регулювати роботу опалення, вентиляції та освітлення на основі поточних умов, що дозволить уникнути марного витрачання енергії. Приміщення, де немає людей, не будуть опалюватися або освітлюватися.
2. Покращення комфорту для пацієнтів та персоналу:
 - Інтелектуальні термостати та сенсори забезпечать підтримку комфортної температури і рівня вентиляції в залежності від присутності людей, кліматичних умов і параметрів приміщення. Це забезпечить оптимальний мікроклімат у кожному окремому приміщенні.

– Покращення умови для пацієнтів, що важливо для їхнього одужання, а також підвищить продуктивність і задоволеність роботою серед медичного персоналу.

3. Екологічний ефект:

Скорочення споживання енергії дозволить суттєво знизити викиди CO₂ та інших шкідливих речовин. Лікарня, впровадивши цю систему, зможе зменшити свій екологічний слід, що сприятиме загальним цілям сталого розвитку та покращенню екологічної ситуації у регіоні.

4. Автоматизація процесів:

Система працюватиме в автоматичному режимі, збираючи дані з сенсорів і роблячи відповідні налаштування без втручання людей. Це спростить управління енергетичними ресурсами, зменшить кількість людських помилок та підвищить ефективність використання систем.

5. Перспектива масштабування:

Система, розроблена для лікарень, може бути легко адаптована для інших громадських закладів, таких як школи, офіси, університети. Це відкриває можливості для подальшого розвитку стартапу та розширення бізнесу на нові сегменти ринку.

6. Аналітичні інструменти для управління енергією:

Окрім безпосереднього регулювання кліматичних систем, програмне забезпечення буде збирати та аналізувати дані про споживання енергії, надаючи керівництву лікарні звіти та прогнози щодо оптимізації витрат. Це дозволить приймати рішення на основі фактичних даних і знаходити додаткові можливості для економії.

Канва бізнес-моделі.

1. Сегменти клієнтів:

– Державні лікарні: Державні медичні заклади, які прагнуть зменшити витрати на енергію та підвищити комфорт для пацієнтів і персоналу. Державні лікарні часто мають обмежені бюджети, тому рішення, що дозволяє значно скоротити енергоспоживання, буде привабливим.

- Приватні лікарні та клініки: Приватні заклади охорони здоров'я зосереджені на підвищенні якості послуг для пацієнтів і підвищенні енергетичної ефективності. Вони зацікавлені у зниженні витрат та поліпшенні комфорту для своїх клієнтів.

- Медичні заклади спеціального призначення: Реабілітаційні центри, спеціалізовані клініки та санаторії, які мають специфічні вимоги до мікроклімату через стан здоров'я пацієнтів.

- Інші великі заклади з високим енергоспоживанням: Крім лікарень, система може бути адаптована для інших великих будівель (освітні заклади, університети, офіси), що відкриває додаткові можливості на ринку.

2. Пропозиція цінності:

- Економія енергії: Зниження витрат на електроенергію та опалення завдяки автоматизованій системі, що адаптується до реальних умов в приміщеннях.

- Підвищення комфорту: Система гарантує підтримку оптимальної температури та якості повітря в кожному приміщенні лікарні, враховуючи індивідуальні потреби пацієнтів і персоналу.

- Автоматизація процесів: Повна автоматизація управління кліматичними системами з мінімальним втручанням з боку персоналу, що дозволяє знизити ймовірність людських помилок.

- Екологічність: Система сприяє зниженню викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин за рахунок оптимізації використання енергоресурсів.

- Аналітичні дані: Надання керівництву медичних закладів доступу до детальних даних про енергоспоживання для кращого управління ресурсами та прийняття рішень на основі фактів.

3. Канали збуту:

- Прямі продажі: Контакти з керівниками лікарень, підготовка комерційних пропозицій для закладів охорони здоров'я та участь у тендерах.

- Тендерні закупівлі: Участь у державних і приватних тендерах на впровадження систем енергоефективності в лікарнях.

- Ліцензування ПЗ: Продаж ліцензій на програмне забезпечення для медичних закладів, які мають власні ІТ-ресурси та можуть самостійно здійснити інтеграцію системи.

- Партнерські угоди з інженерними компаніями: Укладання угод із компаніями, що займаються монтажем та налаштуванням кліматичних систем, які зможуть впроваджувати систему в лікарнях і надавати супровідні послуги.

4. Взаємовідносини з клієнтами:

- Технічна підтримка: Постійна підтримка клієнтів після впровадження рішення. Включає технічне обслуговування, налаштування системи та її оновлення. Важливим елементом є забезпечення швидкого реагування на технічні запити та консультації для персоналу лікарні.

- Довгострокове обслуговування: Регулярне обслуговування та оновлення системи для підтримання її ефективної роботи. Це включає планові огляди, оновлення програмного забезпечення та оновлення системи на основі нових даних і технологій.

- Персоналізовані рішення: Надання індивідуальних налаштувань для кожного клієнта з урахуванням особливостей їхньої лікарні та потреб.

- Зворотний зв'язок: Активний збір відгуків від клієнтів для покращення системи, адаптації до нових вимог та виявлення можливих проблем на ранніх етапах.

5. Ключові ресурси:

- Розробники програмного забезпечення: Команда програмістів, яка відповідає за розробку та вдосконалення алгоритмів управління кліматичними системами на основі штучного інтелекту та IoT.

- Інженери з енергоефективності та теплотехніки: Спеціалісти, що займаються розробкою алгоритмів для оптимізації енергоспоживання та систем вентиляції.

- Інженери-монтажники: Команда, яка забезпечує інсталяцію сенсорів, контролерів та інших компонентів системи на об'єктах замовників.

- Експерти з аналізу даних: Фахівці, які аналізують зібрані дані про енергоспоживання та допомагають оптимізувати роботу системи.

6. Ключові партнери:

- Постачальники обладнання: Компанії, що постачають датчики температури, вологості, CO₂, контролери для систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

- Лікарні та медичні установи: Як кінцеві користувачі, медичні установи є ключовими партнерами для тестування та впровадження системи, а також джерелом даних для вдосконалення рішення.

- Постачальники програмного забезпечення для інтеграції: Партнери, що надають сумісні з нашою системою інтерфейси для автоматизації роботи з іншими інженерними системами (освітлення, системи безпеки).

- Інженерні та будівельні компанії: Компанії, що спеціалізуються на будівництві лікарень та великих об'єктів, можуть допомагати в інтеграції нашої системи на нових об'єктах під час будівництва чи реконструкції.

7. Ключові види діяльності:

- Розробка та вдосконалення програмного забезпечення: Розробка алгоритмів для збору та обробки даних, які дозволяють автоматично управляти кліматичними системами.

- Інсталяція обладнання: Встановлення сенсорів, контролерів, програмного забезпечення та підключення їх до існуючих інженерних мереж у лікарні.

- Тестування та налагодження системи: Перевірка працездатності системи в реальних умовах експлуатації, налагодження автоматизованого управління.

- Аналітика та оптимізація: Аналіз даних про споживання енергії в лікарні та коригування роботи системи для досягнення максимальної енергоефективності.

- Технічне обслуговування та підтримка клієнтів: Постійне обслуговування впроваджених систем, надання консультацій, оновлення ПЗ, ремонт або заміна компонентів.

8. Структура витрат:

- Розробка програмного забезпечення: Витрати на оплату праці програмістів, інженерів та експертів з аналізу даних.

- Закупівля обладнання: Закупівля необхідних датчиків, контролерів та інших компонентів системи для кожного проекту.

- Інсталяція та налагодження: Витрати на монтаж обладнання та підключення до інженерних мереж.

- Маркетинг та просування: Реклама, участь у галузевих виставках, підготовка комерційних пропозицій для лікарень та інших установ.

- Обслуговування та підтримка: Витрати на постійне обслуговування

5.2 Ключові види діяльності проекту

Розробка системи управління кліматом з використанням інтелектуальних алгоритмів та IoT-рішень для автоматизації процесів у лікарнях.

Опис інновації:

Запропонована система управління кліматом використовує інтелектуальні алгоритми та IoT-рішення для автоматичного регулювання температури, вентиляції та освітлення в лікарнях. Вона збирає дані про параметри середовища (температура, вологість, CO₂) і враховує суб'єктивні потреби користувачів, такі як активність та кількість людей у приміщенні, що дозволяє адаптувати роботу систем у реальному часі. Використання штучного інтелекту дозволяє прогнозувати енергоспоживання та оптимізувати роботу кліматичних систем, знижуючи витрати на енергію, а автоматичне управління освітленням і персоналізація клімату підвищують комфорт для пацієнтів і персоналу.

Детальний опис інновації:

1. Розробка алгоритмів: Команда розробить спеціальні алгоритми на основі методів машинного навчання для управління кліматичними системами, що дозволить автоматично адаптувати роботу обладнання до реальних умов і потреб.

2. Інтеграція IoT-рішень: Система буде працювати на основі інтернету речей (IoT), що забезпечить можливість віддаленого моніторингу і керування всіма процесами через спеціальні мобільні або веб-додатки.

3. Тестування та впровадження: Після розробки алгоритмів і встановлення необхідного обладнання (сенсорів, контролерів), система буде піддана ретельному тестуванню в умовах реальної експлуатації в одній з лікарень. Це дозволить виявити та усунути можливі недоліки.

Переваги інновації:

1. Покращення комфорту: Система забезпечує створення індивідуальних параметрів комфорту в кожному приміщенні лікарні, виходячи з потреб пацієнтів та медичного персоналу. Це не тільки сприяє покращенню умов перебування, але й підвищує ефективність лікування та роботи.

2. Енергоефективність: Завдяки автоматичній оптимізації систем вентиляції, опалення та освітлення, лікарня може значно скоротити споживання енергії.

3. Персоналізований підхід: Інтелектуальна система дозволяє враховувати індивідуальні потреби в кожному окремому приміщенні. Це забезпечить оптимальну роботу систем для різних приміщень, залежно від їх завантаженості та вимог до клімату.

4. Екологічна відповідальність: Оптимізація енергоспоживання сприятиме зменшенню викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що важливо для лікарень, які прагнуть відповідати екологічним стандартам та зменшувати свій екологічний слід.

Система інтелектуального управління енергоспоживанням для лікарень, що використовує інноваційні підходи до аналізу та регулювання параметрів клімату, дозволить значно підвищити енергоефективність і комфортність закладів охорони

здоров'я. Використання сучасних технологій IoT та штучного інтелекту забезпечить гнучкість і надійність роботи системи, а також можливість масштабування на інші типи будівель.

Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї:

Проведено детальний аналіз наукових публікацій та досліджень, присвячених управлінню енергоспоживанням у будівлях, зокрема в закладах охорони здоров'я. З'ясовано, що більшість рішень орієнтовані на традиційні методи регулювання систем опалення, вентиляції та освітлення без урахування індивідуальних потреб користувачів. Деякі дослідження розглядають використання параметрів якості повітря та температури, але мало уваги приділяється персоналізованим рішенням. Наша інновація використовує IoT і ексергетичну модель комфорту для створення динамічного управління, що враховує як об'єктивні, так і суб'єктивні параметри.

Потенціал і комерційні перспективи:

Аналіз показує, що ринок готовий до впровадження інноваційних рішень для управління енергоспоживанням. Використання IoT, автоматизації та персоналізації кліматичних систем відповідає сучасним тенденціям у сфері енергоефективності. Наша система може бути впроваджена в медичних закладах та інших будівлях з високим рівнем енергоспоживання, що створює можливості для масштабування та отримання конкурентних переваг.

Загалом, висновки підтверджують високий науково-технічний рівень розробки системи інтелектуального управління енергоспоживанням. Ідея є унікальною, має потенціал для патентування та високі комерційні перспективи.

Таблиця 5.1 – Основні бізнес-процеси проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь опрацювання бізнес-процесу	
		є реалізованим	буде реалізованим
1	2	3	4
Розробка алгоритмів	Визначення вимог	+	+

Продовження таблиці 5.1

	Проектування архітектури	+	+
	Розробка алгоритмів	+	+
Виготовлення прототипу	Проектування прототипу	+	-
	Виготовлення прототипу	+	-
	Тестування прототипу	-	-
Тестування	Функціональне тестування	+	+
	Тестування в реальних умовах	+	+
	Валідація	+	+
Впровадження програматора	Планування впровадження	-	+
	Виробництво та постачання	+	+
	Маркетинг та продажі	+	+

Ціннісна пропозиція – сукупність переваг, які проект може запропонувати споживачу:

1. Забезпечення комфорту: Система регулювання мікроклімату враховує як об'єктивні параметри (температура, вологість, CO₂), так і індивідуальні потреби користувачів, створюючи оптимальні умови для роботи та лікування пацієнтів. Це особливо важливо в лікарнях, де комфортне середовище сприяє швидшому одужанню.

2. Зниження енергоспоживання: Ексергетична модель теплового комфорту дозволяє ефективно управляти енергоресурсами, забезпечуючи точне регулювання температури відповідно до реальних умов. Це знижує навантаження на системи опалення та вентиляції, що призводить до економії енергії.

3. Зниження витрат на опалення: Оптимізоване регулювання мікроклімату на основі даних сенсорів дозволяє мінімізувати витрати на опалення та кондиціонування, що сприяє загальному зниженню фінансових витрат для лікарні.

Ідея проекту полягає у розробці інтелектуальної системи, яка автоматично регулює мікроклімат приміщень з урахуванням суб'єктивних та об'єктивних параметрів. Система здатна забезпечити комфортні умови для користувачів, ефективно використовувати енергію та зменшити витрати на опалення та кондиціонування, що є важливим для будь-якого медичного закладу.

Таблиця 5.2 – Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Опис
Розробка системи управління енергоспоживанням	Розробка інтелектуальної системи для автоматичного регулювання кліматичних систем лікарні.
Автоматичне регулювання енергоспоживання	Система автоматично керує температурою, вентиляцією та освітленням на основі даних сенсорів.
Врахування суб'єктивних параметрів	Система враховує кількість людей та активність, щоб оптимізувати мікроклімат.
Врахування об'єктивних параметрів	Врахування об'єктивних параметрів, таких як температура, вологість, концентрація CO ₂ .
Інтеграція з іншими системами	Система може бути інтегрована з іншими інженерними мережами лікарні для більшої автоматизації.
Інтуїтивний інтерфейс	Користувачі можуть керувати системою через простий та інтуїтивний інтерфейс.

Зробимо аналіз ідеї проекту:

1. Оцінка ринкового потенціалу:

Наша система має великий ринковий потенціал, оскільки лікарні та медичні установи завжди прагнуть знижувати витрати на енергоресурси. Окрім того, зростає попит на рішення, які забезпечують комфорт та підвищують ефективність використання енергії. Проводиться дослідження обсягу ринку та оцінка можливих тенденцій щодо впровадження таких рішень.

2. Конкурентне середовище:

Існуючі рішення для автоматизації кліматичних систем обмежені традиційними підходами, що не дозволяють гнучко адаптувати мікроклімат під індивідуальні потреби. Наша система, завдяки використанню штучного інтелекту та IoT, має переваги в точному управлінні енергоспоживанням. Аналіз конкурентів показує наявність прогалин у функціональних можливостях їх рішень.

3. Унікальність і потенціал ідеї:

Унікальність нашого рішення полягає в тому, що система враховує не лише об'єктивні параметри (температура, вологість), а й суб'єктивні (активність, кількість людей у приміщенні). Це дозволяє точно адаптувати системи до реальних потреб користувачів, що сприяє зниженню енергоспоживання та забезпеченню кращого комфорту.

4. Можливості комерціалізації:

Наша система має високі перспективи для впровадження на ринку. Ми плануємо продаж системи на умовах ліцензії, а також надання послуг з технічної підтримки та налаштування. Окрім того, можливі партнерства з великими постачальниками медичних послуг та будівельних компаній для масштабного впровадження в інші типи будівель.

Результати аналізу показують, що проект має високий потенціал для впровадження на ринку. Система відповідає сучасним тенденціям у сфері енергоефективності та комфорту, забезпечуючи унікальне рішення для медичних установ, яке дозволить значно знизити витрати на енергоресурси та підвищити комфортність приміщень.

SWOT-аналіз проекту дозволяє оцінити сильні та слабкі сторони інноваційної системи управління кліматом для лікарень, а також визначити можливості та загрози, що можуть вплинути на її успішне впровадження.

Сильні сторони:

- Унікальність ідеї: Система, що автоматично регулює кліматичні умови на основі як об'єктивних, так і суб'єктивних параметрів, є новаторською. Це

забезпечує вищий рівень персоналізації комфорту порівняно з традиційними рішеннями.

- **Енергоефективність:** Система спрямована на зниження енергоспоживання через оптимізацію роботи кліматичних систем, що може суттєво зменшити витрати на електроенергію та опалення.

- **Ринковий попит:** Зростаюча потреба у забезпеченні комфортних умов у лікарнях, а також тенденція до підвищення енергоефективності в будівлях створюють високий потенціал для цієї технології.

- **Можливість масштабування:** Система може бути адаптована для інших типів будівель (офіси, освітні заклади), що відкриває ширші ринкові перспективи.

Слабкі сторони:

- **Високі початкові витрати:** Високі інвестиції в розробку та інтеграцію інтелектуальних систем можуть стати бар'єром для впровадження в лікарнях із обмеженим бюджетом.

- **Технічна складність:** Інтеграція системи, що враховує суб'єктивні параметри комфорту, потребує високого рівня технічної експертизи, що ускладнює процес розробки.

- **Наявність конкурентів:** На ринку вже є рішення для автоматизації клімату, що може створювати загрозу через конкуренцію, зокрема в сегменті простіших і дешевших систем.

Можливості:

- **Розширення на нові ринки:** Технологія може бути впроваджена в різні типи будівель (школи, університети, комерційні будівлі), що відкриває можливості для масштабування продукту.

- **Розвиток додаткових функцій:** Можливість додати функції для управління іншими системами (наприклад, водопостачанням або освітленням), що збільшить функціонал і привабливість системи.

- **Партнерства з постачальниками енергоресурсів:** Співпраця з енергетичними компаніями або виробниками обладнання може спростити впровадження та зменшити витрати.

Загрози:

- Технологічні ризики: Труднощі у впровадженні нових технологій або відсутність сумісності з існуючими системами можуть збільшити витрати або затримати реалізацію.
- Зміни у законодавстві: Можливі зміни в регуляторних нормах щодо енергоефективності або вимог до інженерних систем можуть вплинути на рентабельність проекту.
- Конкурентна боротьба: Поява нових гравців або вдосконалені пропозиції від існуючих компаній можуть знизити частку ринку та змусити компанію знижувати ціни на послуги.

SWOT-аналіз показує, що проект має унікальні переваги та можливості для успішного впровадження на ринку, але також вимагає належної підготовки для подолання технічних складнощів та конкуренції.

5.3 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту відіграють ключову роль у впровадженні системи управління кліматом у лікарнях. Ці аспекти допомагають забезпечити зв'язок з цільовою аудиторією, збирати зворотний зв'язок і ефективно розповсюджувати продукт на ринку.

1. Взаємовідносини зі споживачами:

- Сегментація споживачів: Основними споживачами системи є державні та приватні лікарні, медичні заклади спеціального призначення (реабілітаційні центри, санаторії), а також інші великі об'єкти з високим рівнем енергоспоживання, такі як університети та офіси. Важливо чітко сегментувати ці групи для налаштування підходів до комунікації та продажу.
- Розуміння потреб споживачів: Медичні заклади прагнуть підвищити енергоефективність та комфорт для пацієнтів. Глибоке розуміння цих потреб дозволить налаштувати систему таким чином, щоб вона не лише відповідала вимогам, але й пропонувала рішення для оптимізації витрат на енергію та покращення умов праці для персоналу.

- Інтерактивна взаємодія з клієнтами: Регулярна комунікація зі споживачами через канали зворотного зв'язку, опитування задоволеності та тестування нових функцій дозволяє своєчасно вдосконалювати систему відповідно до їхніх запитів. Проведення навчальних семінарів для персоналу лікарень та надання інструкцій щодо ефективного використання системи сприятиме покращенню співпраці.

- Технічна підтримка та післяпродажне обслуговування: Постійна технічна підтримка та оперативне вирішення проблем з роботою системи є важливим фактором для забезпечення задоволеності клієнтів. Додаткові послуги з обслуговування, оновлення програмного забезпечення та моніторинг ефективності роботи системи створять довгострокові партнерські відносини.

2. Канали збуту:

- Прямі продажі: Встановлення прямих контактів з адміністрацією лікарень та медичних установ дозволить проводити персоналізовані переговори та презентації рішення. Прямі продажі дають змогу безпосередньо донести цінність продукту та адаптувати пропозицію до потреб конкретного закладу.

- Тендерні закупівлі: Участь у державних і приватних тендерах на закупівлю систем управління енергоспоживанням в медичних установах є ефективним способом розширення присутності на ринку. Тендери дозволяють отримати великі замовлення від державних організацій.

- Онлайн-продажі: Створення веб-платформи для інформування та продажу системи дасть можливість медичним закладам отримати детальну інформацію про продукт, порівняти його характеристики та подати запит на демонстрацію або консультацію. Це також спрощує замовлення оновлень та технічної підтримки.

- Партнерські угоди з інженерними компаніями та будівельними фірмами: Укладання угод з будівельними компаніями, інженерними бюро та фірмами, які займаються впровадженням інженерних систем в лікарнях, дозволить рекомендувати систему управління кліматом як частину комплексних рішень для нових або реконструйованих об'єктів.

- Партнерство з енергетичними компаніями: Співпраця з постачальниками енергоресурсів може допомогти в пропозиції системи як інструменту для зниження енерговитрат і підвищення енергоефективності лікарень, а також сприяти залученню нових клієнтів через спільні програми.

Ефективні канали збуту та якісна взаємодія зі споживачами допоможуть створити стійку клієнтську базу, підвищити впізнаваність системи на ринку та забезпечити її успішне впровадження в медичних установах та інших закладах

5.4 Обґрунтування ресурсів та витрат проєкту

Обґрунтування ресурсів та витрат є ключовим етапом підготовки та реалізації проєкту інтелектуальної системи управління енергоспоживанням для лікарень. Необхідно чітко визначити людські, фінансові та технічні ресурси, щоб забезпечити ефективне впровадження системи.

1. Людські ресурси:

- Розробка програмного забезпечення та алгоритмів: Для створення системи управління кліматом потрібні висококваліфіковані програмісти, інженери з автоматизації та фахівці з енергоефективності. Вони будуть відповідальні за розробку алгоритмів, інтеграцію датчиків IoT, а також забезпечення роботи системи на основі аналізу даних.

- Інженери з монтажу та налаштування системи: Спеціалісти з інсталяції систем опалення, вентиляції та кондиціонування будуть відповідальні за фізичне встановлення компонентів системи (сенсори, контролери) та їх підключення до інженерних мереж лікарні.

- Тестування та технічна підтримка: Команда з тестувальників та технічних спеціалістів забезпечить належне тестування роботи системи в реальних умовах лікарні, а також надаватиме підтримку після впровадження. Це включатиме навчання персоналу та забезпечення технічного супроводу.

- Маркетинг та продажі: Фахівці з маркетингу та продажів відповідатимуть за позиціонування продукту на ринку, розробку маркетингової стратегії, залучення нових клієнтів та забезпечення довгострокових партнерських відносин з лікарнями та медичними установами.

2. Фінансові ресурси:

- Дослідження та розробка: Витрати на дослідження ринку, розробку алгоритмів автоматизації та інтеграцію технологій IoT. Це включає також витрати на оплату праці команди розробників та тестувальників.

- Виробництво та закупівля обладнання: Витрати на закупівлю сенсорів, контролерів, серверного обладнання та інших компонентів системи. Також необхідно врахувати витрати на виробничі процеси, збирання та тестування системи перед її впровадженням.

- Маркетинг та просування: Витрати на рекламні кампанії, розробку веб-сайту, участь у виставках, організацію презентацій для керівництва лікарень. Це також включає розробку навчальних матеріалів для персоналу лікарень.

- Впровадження та технічна підтримка: Витрати на підготовку технічної документації, навчання персоналу лікарень, а також надання технічної підтримки та обслуговування системи після впровадження.

3. Технічні ресурси:

- Комп'ютерна техніка та програмне забезпечення: Для розробки алгоритмів та інтеграції системи необхідні потужні комп'ютери, програмне забезпечення для аналізу даних, розробки алгоритмів штучного інтелекту та програмування IoT-обладнання.

- Обладнання для монтажу та тестування: Необхідне спеціалізоване обладнання для встановлення системи в лікарнях, а також лабораторне обладнання для тестування її ефективності в умовах реального використання.

- Лабораторні інструменти для вимірювань: Для тестування якості мікроклімату та енергоефективності необхідні прилади для вимірювання температури, вологості, рівня CO₂, а також інших параметрів, що впливають на комфорт у приміщеннях.

Обґрунтування ресурсів і витрат проєкту включає комплексну оцінку необхідних людських, фінансових і технічних ресурсів для розробки, впровадження та підтримки системи управління енергоспоживанням. Оптимальне планування цих ресурсів забезпечить ефективне виконання проєкту, досягнення поставлених цілей щодо зниження енергоспоживання, підвищення комфорту для пацієнтів і персоналу, а також успішне масштабування на нові ринки.

5.5 Грошовий потік і оцінка вартості проєкту

Розрахунок грошового потоку та оцінка вартості є важливими для визначення фінансової доцільності та успішного планування проєкту. Нижче наведено детальний опис цих аспектів:

1. Грошовий потік:

- Витрати на дослідження та розробку: Перший етап включає витрати на дослідження ринку, розробку алгоритмів та моделювання системи управління енергоспоживанням. Це етапи, що відбуваються протягом перших шести місяців і включають оплату праці розробників та інженерів, а також витрати на необхідне обладнання.
- Витрати на виробництво: Після завершення розробки та тестування, виробництво передбачає закупівлю компонентів для системи (сенсори, контролери, програмні ліцензії). Витрати на виробництво будуть регулярними, оскільки включають як закупівлю нових компонентів, так і оновлення існуючих систем.
- Витрати на маркетинг: Просування системи серед потенційних клієнтів, участь у виставках та реклама є важливими елементами для збільшення продажів. Витрати на маркетинг будуть збільшуватися зі зростанням масштабу проєкту.
- Витрати на впровадження: Після впровадження системи у лікарнях та інших медичних закладах необхідні витрати на навчання персоналу, технічну підтримку та післяпродажне обслуговування.

2. Оцінка вартості проєкту:

– Оцінка ринкової вартості: Проект має великий потенціал на ринку, зважаючи на зростаючу потребу в енергоефективних рішеннях для лікарень. Оцінка вартості базується на ринковому попиті, потенційному обсязі продажів та конкурентному аналізі.

– Прогнозування рентабельності: Проект спрямований на забезпечення швидкого повернення інвестицій завдяки значному зниженню витрат на енергоносії в лікарнях. Після впровадження очікується, що економія на енерговитратах покриє початкові інвестиції впродовж двох-трьох років.

– Можливості залучення інвестицій: Враховуючи масштаб проекту та його перспективи, залучення зовнішніх інвестицій або кредитного фінансування може сприяти пришвидшенню реалізації. Партнерство з державними та приватними медичними установами може стати важливим фактором для отримання фінансування.

Таблиця 5.3 – Загальні витрати на проект

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1	Витрати на комплектуючі для розробки	грн.	10000	1	10000	120000
2	Витрати на заробітню плату розробникам	грн.	25000	3	75000	900000
3	Реклама	грн	7000	1	7000	84000
4	Інтернет	грн	450	1	450	5400
Всього:					92450	1109400

Грошовий потік проекту демонструє, що витрати на розробку та впровадження є суттєвими, але можливості для отримання прибутку через зниження енерговитрат є значними. Оцінка вартості проекту дозволяє зробити висновок про його потенційну рентабельність та можливість масштабування.

5.6 Висновки за розділом 5

Запропонований стартап-проект спрямований на впровадження інтелектуальних технологій для оптимізації енергоспоживання у лікарнях м. Чернігів. Основною метою є підвищення енергоефективності та зниження витрат за рахунок автоматизованого моніторингу та управління ресурсами. Впровадження інноваційних рішень дозволить забезпечити стабільну роботу енергетичної інфраструктури лікарні, зберігаючи високий рівень комфорту для пацієнтів та персоналу. Очікується, що результатами проекту стане зменшення енергозалежності медичних закладів та позитивний екологічний вплив. Створення такого продукту відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та підвищує конкурентоспроможність регіону. Успішна реалізація стартапу стане прикладом для впровадження подібних ініціатив у медичній сфері України.

ВИСНОВКИ

Завданням магістерської дисертації було підвищення рівня енергоефективності закладу охорони здоров'я у місті Чернігів. Розробка комплексу енергозберігаючих заходів щодо підвищення рівня енергетичної ефективності інженерних систем та джерел енергозабезпечення.

Під час роботи розраховано енергопотребу та енергоспоживання будівлі для опалення, охолодження та показники енергоефективності відповідно до ДСТУ 9190 для існуючого (базового) та альтернативних сценаріїв модернізації.

На основі моделювання в програмних середовищах RETScreen, PV*SOL та TSol було запропоновано різні заходи для підвищення енергоефективності закладу охорони здоров'я:

- Модернізація ІТП;
- Встановлення системи вентиляції;
- Заміна приладів опалення та балансування системи;
- Встановлення дахової СЕС;
- Встановлення вакуумних колекторів з коефіцієнтом заміщення 35%.

Також, було охарактеризовано дотримання комфортних норм у будівлі із підвищеними вимогами. Проведено аналіз витрат енергії та викидів CO₂ для життєвого циклу проекту встановлення теплової ізоляції.

Було розроблено стартап-проект по інтелектуальному управлінню енергоспоживання у лікарні.

Завдяки розробці комплексу заходів із покращенням енергоефективності будівлі, вийшли на клас «С», а до термодернізації будівлі енергетичний клас є незадовільний – «G».

Усі запропоновані заходи сприяють наближенню до вимог щодо теплового комфорту людей із підвищеною чутливістю та є доцільними для впровадження.