

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Аналіз енергоефективності будівель машинобудівного коледжу

СумДУ та розроблення заходів з енергозбереження»

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент»

Виконавець роботи

Піддубний Б.Є.

(прізвище та ініціали)

(підпис студента)

*В роботі не виявлено текстових,
ілюстративних та інших запозичень
без коректного на них посилання*

Керівник роботи

(підпис)

Випускна робота
захищена на засіданні
ЕК з оцінкою

Сапожніков С.В.

(прізвище і ініціали)

к.т.н., доцент каф. ПГМ

(наукова ступінь, звання або посада)

“ ___ ” _____ 20__ р.

Секретар комісії

(підпис)

Суми 2023

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: містить 69 сторінку, 12 рисунків, 11 таблиць, 1 додаток, 25 літературних джерела.

Графічні матеріали: енерготехнологічна схема об'єкту обстеження, аналіз обсягів енергоспоживання, результати розрахункового аналізу, розробка енергозберіжних заходів – чотири плакати формату А3.

Метою роботи: розробка енергозберігаючих заходів для покращання систем енергозабезпечення будівлі машинобудівного коледжу СумДУ та розрахунок економічної доцільності їх впровадження.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі *задачі*:

- проведення дослідження та аналізу енергетичного стану будівлі, зважаючи на її конструктивні особливості;
- визначення основних напрямків можливої модернізації систем енергозабезпечення будівлі;
- проведення необхідних інженерно-економічних розрахунків за обраними напрямками модернізації;
- визначення основних техніко-економічних показників розроблених енергозберігаючих заходів.

Предметом дослідження є системи енергозабезпечення будівлі машинобудівного коледжу СумДУ.

Об'єкт дослідження: будівля машинобудівного коледжу СумДУ та її системи енергозабезпечення.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, ЛІЧИЛЬНИК, ТЕПЛОВА ПОТУЖНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ, СВІТЛОДІОДНА ЛАМПА, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ВІКНО, ШУМ.

Тема роботи: **«Аналіз енергоефективності будівель машинобудівного коледжу СумДУ та розроблення заходів з енергозбереження».**

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(освітня програма «Енергетичний менеджмент»)

Завідувач
гідроаеромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
кафедри
прикладної

_____ Сотник М.І.
“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Піддубний Богдан Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи «Аналіз енергоефективності будівель машинобудівного коледжу СумДУ та розроблення заходів з енергозбереження».
затверджена наказом по університету №_0337-VI від “04”квітня 2023 р.
- 2 Термін здачі студентом закінченої роботи до 12 червня 2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи: будівельна та проектна документація об'єкту енергетичного обстеження; нормативні вимоги, дійсні на території України.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити).

Вступ (загальна характеристика проблем з енергозбереження, мета, задачі та актуальність виконання роботи).

1. Характеристика об'єкту енергетичного обстеження (опис дійсного стану та систем енергопостачання об'єкта; опис приладів обліку енергоносіїв на об'єкті, представлення результатів інструментального обстеження та їх аналіз).

2. Комплексний аналіз рівня енергоефективності об'єкта енергетичного обстеження (аналіз обсягів енергоспоживання за видами систем енергопостачання на об'єкті; визначення питомих величин рівня енергоефективності; основні положення методики розрахунку енергетичних показників; представлення результатів розрахунку).

3. Техніко-економічний аналіз умов запровадження енергозбережних заходів (основні положення методики розрахунку заходів з енергозбереження; представлення результатів розрахунку).

Додатки (Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; копії документів, принципові схеми, статистичні дані тощо).

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (з точним зазначенням креслень або плакатів)

1. Енерготехнологічна схема об'єкта

2. Аналіз обсягів енергоспоживання
3. Результати розрахункового аналізу
4. Розробка енергозберіжних заходів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи (за змістом розрахунково- пояснювальної записки)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування вихідних даних	до 30.04.2023	
2	Характеристика об'єкту енергетичного обстеження	до 10.05.2023	
3	Інструментальне обстеження	до 14.05.2022	
4	Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання	до 25.05.2023	
5	Розробка можливих енергозберіжних заходів	до 04.06.2023	
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	до 07.06.2023	
7	Оформлення розрахунково- пояснювальної записки та графічних матеріалів	до 11.06.2023	
8	Здача роботи на перевірку	до 12.06.2023	
9	Доопрацювання зауважень	до 18.06.2023	
10	Захист роботи	з 19.06.23 до 25.06.23	

Дата видачі завдання “ 17 “ квітня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Піддубний Б.Є.
(Прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сапожніков С.В.
(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

РЕФЕРАТ

ВСТУП

6	
1	ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ 8
1.1	Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження 8
1.2	Опис дійсного стану будівлі..... 9
1.3	Обстеження енергетичних систем і системи водопостачання об'єкта... 9
1.3.1	Система опалення 9
1.3.2	Система електропостачання 10
1.3.3	Система водопостачання та водовідведення 10
1.3.4	Система вентиляції 11
1.3.5	Система обліку енергоресурсів 11
1.3.6	Існуючі тарифи на енергоносії та воду..... 14
1.4	Аналіз обсягів споживання енергоносіїв..... 14
1.4.1	Аналіз споживання теплової енергії..... 14
1.4.2	Аналіз споживання електричної енергії..... 16
1.4.3	Аналіз споживання холодної води..... 17
1.5	Техніко-економічний аналіз споживання енергоносіїв..... 19
1.5.1	Техніко-економічний аналіз споживання теплової енергії..... 19
1.5.2	Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії..... 21
1.5.3	Техніко-економічний аналіз споживання води..... 22
1.6	Прилади для проведення вимірювань 22
1.7	Результати вимірювань на об'єкті 25
1.8	Висновки за розділом..... 25
2	КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ 26
2.1	Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання..... 26

					6.144.02 ВР 00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	«Аналіз енергоефективності будівель машинобудівного коледжу СумДУ та розроблення заходів з енергозбереження»	Лист.	Лист	Листів
Розробив	Піддубний						4	69
Перевірив	Сапожніков							
Реценз.								
Н. Контр.	Сапожніков							
Затверд.						СумДУ ЕМ-91-1		

2.2 Розрахунок тепловтрат.....	32
2.3 Розрахунок теплонадходжень.....	42
2.4 Висновки до розділу.....	45
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ.....	46
3.1 Характеристика заходів з енергозбереження та умов їх запровадження.....	46
3.1.1 Утеплення зовнішніх стін будівлі.....	46
3.1.2 Заміна ламп розжарювання на світлодіодні	52
3.1.3 Утеплення горищного перекриття будівлі.....	54
3.1.4 Заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі.....	56
3.2 Висновки до розділу.....	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТОК А.....	64

						Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Використання енергетичних ресурсів і енергозберігаючі технології ось уже кілька десятиліть залишаються надзвичайно актуальними [1]. І це не просто данина моді, а дійсно вимога часу, особливо важлива на тлі постійного зростання вартості енергоресурсів та масованих терористичних атак на об'єкти енергетичної інфраструктури нашої країни [1].

Перше, що спадає на думку при слові «енергозбереження» це обмеження споживання енергетичних ресурсів [1]. Але крім поняття «енергозбереження» існує також інше поняття – «енергоефективність». Остання, на відміну від енергозбереження, фокусується не на економії енергоспоживання, а на його оптимальному використанні [1].

Енергоефективність – це раціональне споживання усіх енергетичних ресурсів спрямоване на зменшення їх використання і при цьому забезпечення домогосподарств та технологічних процесів тією ж кількістю енергії і таким же рівнем комфорту [1].

Інакше кажучи, енергоефективність – це розсудливе та доцільне використання енергетичних запасів (природного газу, річкової і морської води, вітру, нафти, вугілля, тощо), не відмовляючи собі в звичних зручностях, таких як тепло, освітлення чи приготування їжі. І водночас, це спосіб зменшити викиди шкідливих парникових газів за рахунок скорочення виробництва енергії. Адже менше виробництво енергії означає менше забруднення та менше руйнування природного середовища [1].

Робота в напрямку підвищення енергоефективності вимагає технологічного прогресу і розвитку [2]. Енергозбереження ж може розглядатися як якась чеснота і, звичайно, має місце бути. Однак, вона не може привести до збільшення продуктивності продукту для задоволення наших потреб [2]. Ефективність означає прогрес і може зберегти наші ресурси і гроші. Підвищення

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

енергоефективності означає, що ми можемо досягти цілей зі збереження енергії, не відмовляючись від бажаних результатів [2].

Метою дослідження в роботі є підвищення ефективності функціонування систем енергозабезпечення будівель ВСП «Машинобудівного фахового коледжу СумДУ», аналіз фактичного споживання енергоресурсів та енергії, режимів їх споживання, діагностування стану та режимів функціонування енергоспоживаючих систем, вивчення технічних можливостей їх модернізації для запровадження нових технологій з використання у тому числі альтернативних видів енергоресурсів та енергії, розрахунок економічної доцільності їх впровадження для підвищення рівня енергоефективності.

Об'єктом дослідження в роботі є будівлі ВСП «Машинобудівного фахового коледжу СумДУ» та її системи енергозабезпечення.

Предметом дослідження в роботі є системи енергозабезпечення будівель ВСП «Машинобудівного фахового коледжу СумДУ».

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Об'єктом енергетичного дослідження є будівля учбового та лабораторного корпусів ВСП «Машинобудівного фахового коледжу СумДУ», який знаходиться за адресою: м. Суми, пр-т Шевченка, 17 (рис 1.1).



Рисунок 1.1 – Головний фасад будівлі

Технічні характеристики будівлі згідно наданої інформації:

- рік побудови 1960 р.;
- кількість поверхів 4 поверхи;
- площа забудови 1200 м²;
- опалювальна площа 4660 м²;
- опалювальний об'єм 16893 м³;
- опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами 18000 м³.

У закладі працює 125 працівників та навчається 650 студентів.

Забезпечення будинку тепловою енергією на потреби опалення здійснюється від централізованої системи теплопостачання.

					Арк.
					8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Водопостачання та водовідведення в будівлі – централізоване.

Забезпечення будівлі гарячою водою здійснюється автономно, встановлені електричні водопідігрівачі.

1.2 Опис дійсного стану будівлі

Фундамент навчального закладу залізобетонний. Стіни підвалу – збірні бетонні блоки, стіни будівлі внутрішні і зовнішні із силікатної цегли. Плити перекриттів – залізобетонні. Перегородки – цегляні. Підлога – залізобетон, цементна стяжка, лінолеум, місцями керамічна плитка. Стеля – залізобетон, керамзит, руберойд та металеві листи. Вікна по будівлі з дерев'яного та пластикового профілю. Вхідні двері – пластикові зі склінням, двері запасного виходу – металеві.

При проведенні обстеження будівлі було виявлено, що віконні конструкції знаходяться у незадовільному стані. На всіх поверхах, окрім першого, встановлені дерев'яні вікна. Виявлені нещільності між склом та рамою через які у приміщення потрапляє холодне повітря. Це призводить до значних тепловтрат у приміщенні.

1.3 Обстеження енергетичних систем і системи водопостачання об'єкта

1.3.1 Система опалення

Обстежуваний об'єкт має централізовану систему теплопостачання. Договір на теплопостачання укладений з ТОВ «Сумитеплоенерго». Номер договору – 412-Т від 22.01.2018 року.

Ввід теплової мережі передбачений до теплового пункту, розміщеного у підвальному приміщенні. В тепловому пункті встановлений елеваторний вузол.

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

Елеваторний вузол – елемент системи опалення, який дозволяє знизити температуру теплоносія, що надходить з ТЕЦ до «оптимального» рівня [3].

Трубопроводи тепломережі і деталі вузла обліку теплової енергії сталеві.

Система опалення будівлі являє собою двохтрубну вертикальну систему з верхнім розведенням. Рух гарячого теплоносія відбувається зверху вниз через труби й опалювальні прилади.

В якості опалювальних приладів використовуються чавунні радіатори. Опалювальні прилади розташовані під вікнами в кожному приміщенні. Доступ до опалювальних приладів необмежений.

1.3.2 Система електропостачання

Постачальником електроенергії є ТОВ «Енера-Суми» на підставі Договору про постачання електричної енергії № 536. Електрична енергія надходить від трансформаторної підстанції ТП-354, що знаходиться на території навчального закладу. Живлення струмоприймачів споживача здійснюється по двох кабельних лініях 0,4 кВ.

1.3.3 Система водопостачання та водовідведення

Водопостачання будівлі здійснюється централізовано Державним комунальним підприємством «Міськводоканал» СМР на підставі Договору № 478.

Вода до будинку подається по металевій трубі Ø 80 мм зі сторони пр. Шевченка. Тиск води на вході в будівлю $P_{\text{хв}}=0,4$ МПа. Водовідведення в будівлі – централізоване.

Основними споживачами води є студенти, викладачі та відвідувачі будівлі.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.4 Система вентиляції

Будинок обладнано системою природної вентиляції. Видалення вентиляованого повітря здійснюється через вентиляційні канали, що знаходяться в будівельних конструкціях. Видалення повітря з кухні виконується механічною системою вентиляції. Припливне повітря систем природної вентиляції надходить через нещільності світлопрозорих конструкцій огорожень і зовнішні двері. Вентиляційні отвори системи витяжної і припливної вентиляції відкриті і працюють у режимі природної вентиляції, що спричинює значні втрати теплоти.

1.3.5 Система обліку енергоресурсів

Облік споживання теплової енергії здійснюється за допомогою теплового лічильника типу VKP-231, (рис 1.2), термін перевірки - 8 липня 2022 р.

Встановлений в тепловому пункті, на вводі до будівлі.



Рисунок 1.2 – Лічильник теплової енергії [4]

Технічні характеристики даного типу лічильника представлені в таблиці 1.1

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики лічильника теплової енергії [4]

Назва параметру	Значення параметру
Клас точності	2
Живлення	Автономне
Довжина кабеля	5 м
Тип встановлення	Вертикальний
Міжповірочний інтервал	4 роки

Облік споживання електричної енергії здійснюється лічильником активної енергії типу NIK 2303L (рис. 1.3), термін повірки - 15 травня 2022 р. Лічильник знаходяться в електрощитовій на вводі до будівлі.

Зняття показань лічильника виконують з періодичністю не частіше одного разу на місяць.



Рисунок 1.3 – Лічильник електричної енергії [5]

Технічні характеристики даного типу лічильника представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики лічильника NIK 2303L [5]

Назва параметру	Значення параметру
Номінальна напруга	380 В
Номінальний та максимальний струм	5(50)
Клас точності	1
Кількість тарифів	1
Міжповірочний інтервал	4 роки
Номінальна частота	50 Гц

Облік холодної води здійснюється лічильником INVENSYS MT Qn3,5-T40 (рис. 1.4), термін повірки – 16 серпня 2021 р. Встановлений в підвальному приміщенні на вводі до будівлі.



Рисунок 1.4 – Лічильник холодної води [6]

Технічні характеристики даного типу лічильника представлені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики лічильника INVENSYS MT [6]

Назва параметру	Значення параметру
Номінальний тиск	1,6 МПа
Максимальна витрата	9 м ³ /год

Продовження таблиці 1.3

Номінальна витрата	5 м ³ /год
Мінімальна витрата	0,3 м ³ /год
Міжповірочний інтервал	4 роки
Тип встановлення	Горизонтальний

1.3.6 Існуючі тарифи на енергоносії та воду

Станом на 21.05.2023 року тарифи на електричну енергію, теплову енергію та воду складають з ПДВ:

теплова енергія – 2630,57 грн/Гкал;

водопостачання – 15,98 грн/м³;

водовідведення – 16,67 грн/м³;

електрична енергія – 6,16 грн / кВт·год.

1.4 Аналіз обсягів споживання енергоносіїв

1.4.1 Аналіз споживання теплової енергії

Обсяги споживання теплової енергії будівлею по місяцях за 2020, 2021 і 2022 наведено в таблиці 1.4, та на рисунку 1.5.

Таблиця 1.4 – Обсяги споживання теплової енергії за 2020-2022 роки

Місяці	Споживання теплової енергії, Гкал		
	2020 рік	2021 рік	2022 рік
Січень	96,4	94,1	93,5
Лютий	92,3	91,6	90,1

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

Продовження таблиці 1.4

Березень	48,6	47,8	29,2
Квітень	36,4	35,7	-
Травень	-	-	-
Червень	-	-	-
Липень	-	-	-
Серпень	-	-	-
Вересень	-	-	-
Жовтень	34,2	36,1	32,4
Листопад	48,9	50,2	49,6
Грудень	86,1	88,4	86,3
Всього	442,9	443,9	381,1

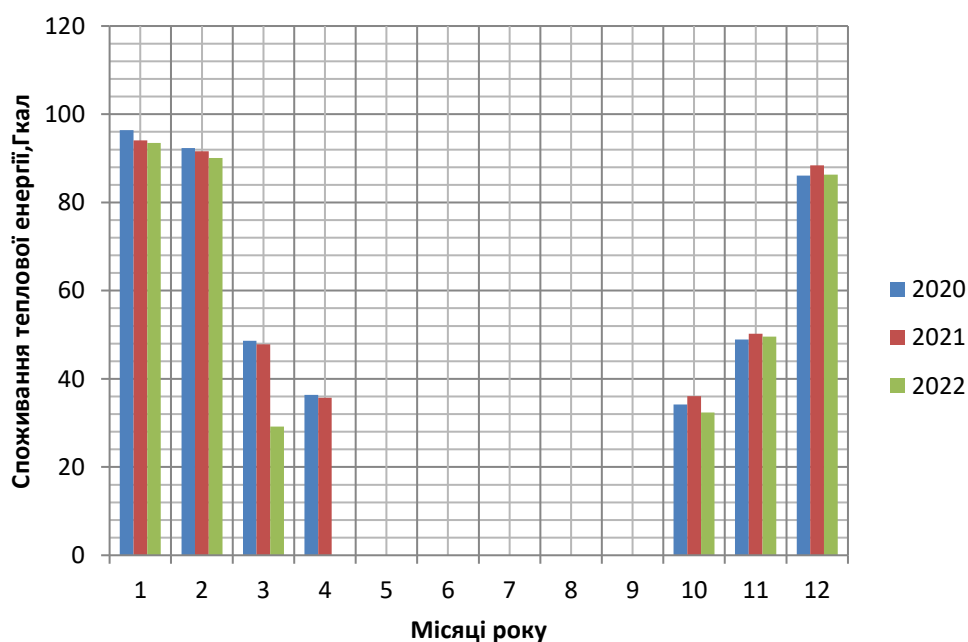


Рисунок 1.5 – Діаграма споживання теплової енергії за 2020-2022 роки

Як видно з діаграм, споживання теплової енергії будівлею зростає під час опалювального періоду. В інший час теплове навантаження знижується за рахунок зменшення теплопостачання, а в літній період відсутнє зовсім.

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

Найбільшу кількість теплової енергії будівля споживає взимку, оскільки це найхолодніший період року. В 2022 році в березні споживання було мінімальне, а в квітні відсутнє зовсім. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням РФ в Україну. Заклад працював в дистанційному режимі.

1.4.2 Аналіз обсягів споживання електричної енергії

Обсяги споживання електричної енергії будівлею по місяцях за 2020, 2021 і 2022 роки наведено в таблиці 1.5, та на рисунку 1.6.

Таблиця 1.5 – Обсяги споживання електричної енергії за 2020 – 2022 роки

Місяці	Споживання електричної енергії, кВт·год		
	2020 рік	2021 рік	2022 рік
Січень	18460	17940	16750
Лютий	16861	17680	16587
Березень	12920	14900	950
Квітень	14640	15040	1630
Травень	7700	7960	1555
Червень	8060	8120	1345
Липень	4700	5040	2742
Серпень	2457	2784	2691
Вересень	6587	6412	4563
Жовтень	10521	9986	7456
Листопад	12587	12476	11365
Грудень	14654	14312	12657
Всього	130147	132650	85816

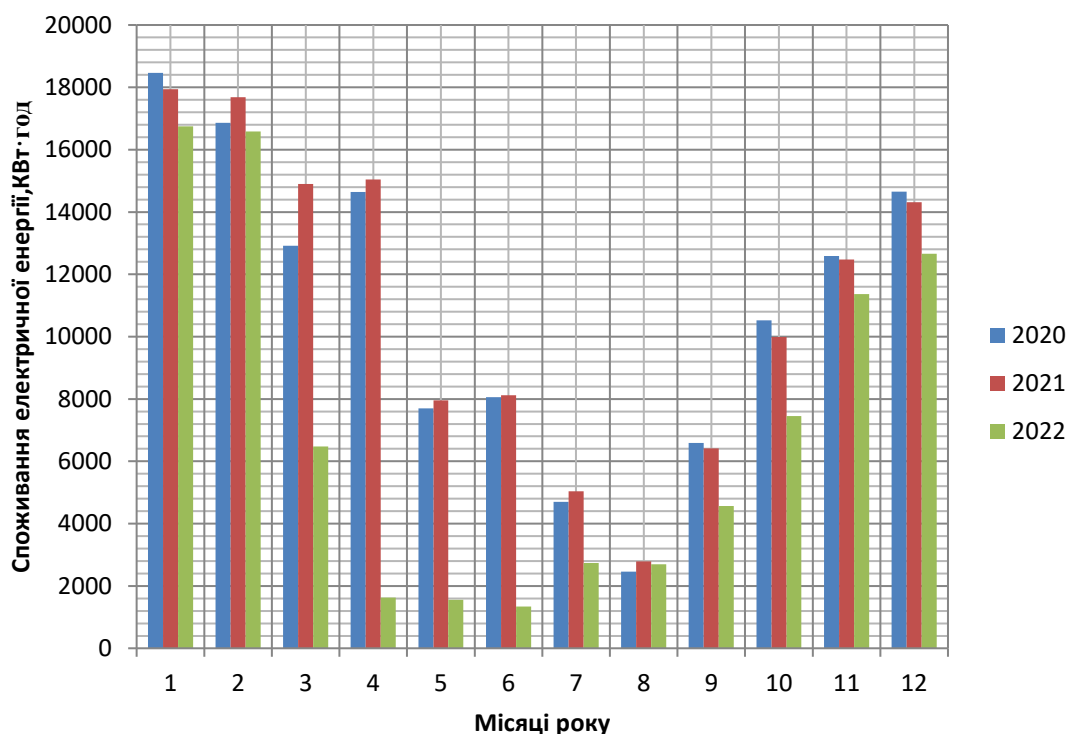


Рисунок 1.6 – Діаграма споживання електричної енергії за 2020-2022 роки

З діаграми видно, що найбільше електричної енергії споживається в зимовий період. У літній період кількість студентів зменшується, у серпні більшість працівників йде у відпустку, комп'ютерні класи не використовуються, природного освітлення вистачає для забезпечення нормального освітлення будівлі. Тому в цей період споживання зменшується.

В 2022 році споживання електричної енергії найменше в порівнянні з минулими роками. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням РФ в Україну.

1.4.3 Аналіз обсягів споживання холодної води

Обсяги споживання води будівлею по місяцях за 2020, 2021 і 2022 роки наведено в таблиці 1.6, та на рисунку 1.7.

Таблиця 1.6 – Обсяги споживання холодної води за 2020 – 2022 роки

Місяці	Споживання холодної води, м ³		
	2020 рік	2021 рік	2022 рік
Січень	94	109	74
Лютий	130	151	86
Березень	139	180	25
Квітень	207	199	51
Травень	147	116	40
Червень	182	194	46
Липень	153	131	79
Серпень	167	110	69
Вересень	81	116	109
Жовтень	163	225	159
Листопад	155	222	175
Грудень	155	201	174
Всього	1773	1954	1112

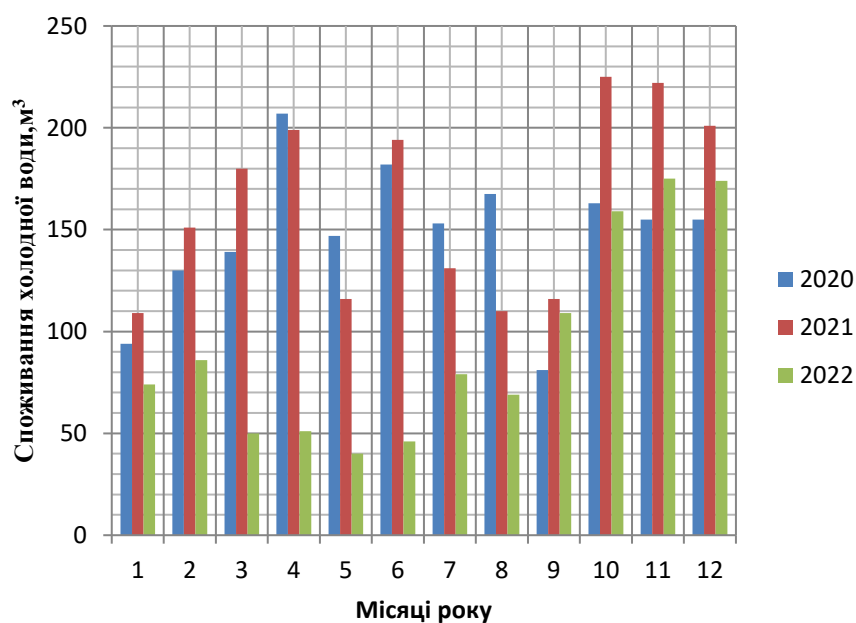


Рисунок 1.7 – Діаграма споживання холодної води за 2020-2022 роки

Споживання води нерівномірне протягом року. Перепади у споживанні води пов'язані з тим, що у літній період значна кількість працівників йде у відпустку і у будівлі відсутній навчальний процес. В 2022 році споживання води найменше в порівнянні з минулими роками. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням РФ в Україну. Відвідування студентів та співробітників будівлі було мінімальним.

1.5 Техніко-економічний аналіз споживання енергоносіїв

1.5.1 Техніко-економічний аналіз споживання теплової енергії

З метою надання об'єктивного висновку про ефективність споживання теплової енергії на опалення будівлі закладу, який обстежується, необхідно провести порівняння дійсних обсягів споживання теплової енергії зі встановленими державними нормами.

Питома потреба (EP) – це показник енергоефективності будинку, що визначає кількість теплоти, яку необхідно подати до об'єму будівлі для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату в приміщеннях і відноситься до одиниці опалювальної площі або об'єму будинку [7]:

$$EP = \frac{Q_{оп}}{V_{буд}^{оп}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} \quad (1.1)$$

де $Q_{оп}$ – величина споживаної теплової потужності будинку за весь опалювальний період (за обліковими даними), кВт·год;

$V_{буд}^{оп}$ – опалювальний об'єм будинку, м³.

Питома потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [7]:

$$EP \leq EP_{max}, \quad (1.2)$$

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де EP – питома річна енергопотреба будівлі, кВт·год/м³;

EP_{max} – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі за опалювальний період, кВт год/м³ [7].

Нормативна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять [7]:

$$EP_{max} = 30 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3} = 0,026 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Згідно наданих закладом облікових даних, фактичні питомі тепловитрати на опалення приміщень закладу за рік становлять:

- за 2020 рік – $Q_{оп} = 442,9$ Гкал;
- за 2021 рік – $Q_{оп} = 443,9$ Гкал;
- за 2022 рік – $Q_{оп} = 381,1$ Гкал.

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

- за 2020 рік – $EP = 0,026$ Гкал/м³;
- за 2021 рік – $EP = 0,026$ Гкал/м³;
- за 2022 рік – $EP = 0,023$ Гкал/м³.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними роками становить – $EP = 0,025$ Гкал/м³.

Клас енергетичної ефективності будівлі визначимо за формулою:

$$\left(\frac{EP - EP_{max}}{EP_{max}} \right) \cdot 100\% , \quad (1.3)$$

Клас енергетичної ефективності будівлі:

$$\left(\frac{0,024 - 0,026}{0,026} \right) \cdot 100\% = -4\%$$

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

Згідно з [7] дана будівля відноситься до класу енергетичної ефективності «С».

За результатами порівняння фактичних і нормованих показників із споживання теплової енергії можна зробити наступний висновок, а саме:

Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлі, необхідно вважати такими, що задовольняють сучасним вимогам з енергоефективності.

Але, враховуючи результати енергетичного обстеження, треба зазначити, що із-за умов дотримання встановлених для будівлі лімітів по теплоспоживанню, регулювання відбору теплоти відбувається у «ручному» змінній режиму роботи вузла тепlopункту, тобто здійснюється вимушене зменшення обсягів споживання теплоти; при цьому відбувається нерівномірне прогрівання приміщень закладу, що призводить до використання додаткових джерел теплоти, внаслідок чого підвищуються загальні витрати на оплату за енергопостачання будинку. У такій ситуації порушується циркуляційний тиск теплоносія в опалювальних приладах навчального закладу; можлива відсутність руху теплоносія в крайніх ділянках теплопровідної системи тощо.

Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлі, необхідно вважати незадовільними.

1.5.2 Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії

Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії можна зробити за рахунок порівняння фактичних норм споживання електричної енергії з нормованим значенням.

Згідно з [8] норма споживання електричної енергії для навчальних закладів складає 37 кВт·год/м² корисної площі.

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

- 2020 рік: $\frac{130147 \text{ кВт}\cdot\text{год}}{4660 \text{ м}^2} = 27,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$;
- 2021 рік: $\frac{132650 \text{ кВт}\cdot\text{год}}{4660 \text{ м}^2} = 28,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$;
- 2022 рік: $\frac{85816 \text{ кВт}\cdot\text{год}}{4660 \text{ м}^2} = 18,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

Для будівлі фактичне споживання не перевищує нормоване, що є задовільним показником.

1.5.3 Техніко-економічний аналіз споживання води

Аналіз графіків зміни витрат води по місяцям року показує відповідність витрат води нормативам. За відомими величинами місячних витрат води і відомій кількості працівників у будівлі визначено питомі показники витрат холодної на одну особу за добу, які можна порівняти з нормативними величинами [9]. Норма витрат води для будівлі на одну людину становить – 12 л/добу.

- 2020 рік ($\frac{1773000 \text{ л}}{775 \text{ людей}}$)/280днів = 8,1 л/добу;
- 2021 рік ($\frac{1554000 \text{ л}}{775 \text{ людей}}$)/280днів = 7,2 л/добу;
- 2022 рік ($\frac{1112000 \text{ л}}{775 \text{ людей}}$)/280днів = 5,1 л/добу.

Порівняння норми витрат води і дійсних величин витрат показує, що реальні значення не перевищують нормовані. Це є задовільним показником.

1.6 Прилади для проведення вимірювань

Для виконання теплотехнічних розрахунків було проведено вимірювання параметрів повітря всередині приміщень досліджуваного об'єкта. Приладом для вимірювання необхідних параметрів є термометр.

Температуру повітря усередині приміщень було виміряно кімнатним термометром (рис 1.8) [10].

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



Рисунок 1.8 – Кімнатний термометр [10]

Функція кімнатного термометра – вимірювання температури повітря у приміщеннях. Діапазон вимірювання температур: $-30 +50$ °С. Розмір термометра: 160x20 мм.

Для визначення вологості в приміщеннях використовували вимірювач Testo 605-N1 (рис. 1.9) [11]. Його технічні характеристики представлені в таблиці 1.6.



Рисунок 1.9 – Універсальний вимірювач Testo 605-N1 [11]

					Арк.
					23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики універсального вимірювача Testo 605-H1 [11]

Технічні характеристики	
Діапазон вимірювань	Від -20 до +70 °С
Похибка вимірювань	±0,5
Роздільна здатність	0,1
Робоча температура	Від 0 до +50 °С
Довжина зонда	125 мм
Діаметр зонда:	
- в основі	16 мм
- біля чутливого елемента	12 мм

Прилад володіє точністю і стабільністю свідчень завдяки унікальному датчику вологості, який не боїться води, захищений поворотною кришкою і відкривається лише в процесі виміру. Дисплей розташований на поворотній голівці і завжди видний. Передбачена функція автоматичного відключення через 10 хвилин роботи.

Лазерний далекомір служив для визначення геометричних розмірів приміщень (рис. 1.10). Границя виміру приладу складає 50 м [12].



Рисунок 1.10 – Лазерний далекомір [12]

1.7 Результати вимірювань на об'єкті

Вимірювання проводилось 06.03.2023 р. Система опалення була включена. Температура зовнішнього повітря становила: -3°C .

Вимірювані параметри склали:

1) середня температура повітря по приміщенням будівлі склала $T_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$, що відповідає санітарним вимогам [13].

2) температура теплоносія в системі опалення $T_1 = 68^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 45^{\circ}\text{C}$.

3) відносна вологість повітря – 54%, що відповідає вимогам норм і правил [13].

1.8 Висновки за розділом

Огороджувальні конструкції будівлі знаходяться в задовільному стані.

Забезпечення будівлі тепловою енергією на потреби опалення здійснюється централізовано. В тепловому пункті будівлі встановлений елеваторний вузол.

Водопостачання та водовідведення здійснюється централізовано.

На об'єкті ведеться облік спожитих енергоресурсів. Наведено опис приладів обліку та їх технічні характеристики.

Виконано аналіз споживання енергетичних ресурсів та їх порівняння з нормативними показниками.

За допомогою приладів (далекоміра та термометра) було виміряно температуру всередині приміщень та геометричні розміри будівлі.

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

2.1 Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання

Приведений опір теплопередачі дійсних огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma пр}$, $m^2 \cdot K/Вт$ повинний бути не менше за мінімальні значення R_{qmin} , які визначаються виходячи із санітарно-гігієнічних та комфортних умов і умов енергозбереження [14].

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 $^{\circ}C$ та більше, обов'язкове виконання умови [14]:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}, \quad (2.1)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

R_{qmin} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$ [14].

Мінімально допустиме значення, $R_{q min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей громадських будинків встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку, тепловологісного режиму внутрішнього середовища.

Термічний опір i -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (2.2)$$

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м · К).

Приведений опір теплопередачі, $R_{\Sigma np}$, м²·К/Вт, непрозорої огорожувачої конструкції розраховується за формулою

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3} \quad (2.3)$$

де α_6, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К);

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К);

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м² · К/Вт;

2.1.1 Проведення розрахунку термічного опору огорожувальних конструкцій

Розрахунок термічного опору огорожувальних конструкцій машинобудівельного коледжу Сум ДУ виконаємо згідно методики [14].

Зовнішні стіни

Товщина i -го шару конструкції:

$\delta_{C1} = 0,51$ м – цегла глиняна звичайна на цементно-піщаному розчині;

$\delta_{C2} = 0,02$ м – розчин цементно-піщаний.

Теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації: $\lambda_{C1} = 0,81$ Вт/м·К, $\lambda_{C2} = 0,81$ Вт/м·К.

За формулою (2.2) знаходимо термічний опір кожного шару стіни:

					Арк.
					27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$R_{C1} = \frac{0,51}{0,81} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{C2} = \frac{0,02}{0,81} = 0,024 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції дорівнює $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а зовнішньої $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо за формулою (2.3):

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + (0,63 + 0,024) + \frac{1}{23} = 0,813 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції громадських будинків дорівнює $R_{qmin} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Горишне перекриття

Товщина і-го шару конструкції:

$\delta_{Стл1} = 0,004 \text{ м}$ – руберойд;

$\delta_{Стл2} = 0,22 \text{ м}$ – залізобетон;

$\delta_{Стл3} = 0,15 \text{ м}$ – керамзит;

$\delta_{Стл4} = 0,01 \text{ м}$ – розчин цементно-піщаний;

Теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації: $\lambda_{Стл1} = 0,17 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{Стл2} = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{Стл3} = 0,41 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{Стл4} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

За формулою (2.2) знаходимо термічний опір кожного шару стелі:

$$R_{Cml1} = \frac{0,004}{0,17} = 0,024 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{Cml2} = \frac{0,22}{2,04} = 0,108 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{Cmл3} = \frac{0,15}{0,41} = 0,366 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{Cmл4} = \frac{0,01}{0,81} = 0,012 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні перекриття горищ дорівнює $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а зовнішньої $\alpha_{з} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо за формулою (2.3):

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + (0,024 + 0,108 + 0,366 + 0,012) + \frac{1}{12} = 0,708 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі горищного покриття громадських будинків дорівнює $R_{qmin} = 4,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Підлога

Товщина і-го шару конструкції:

$\delta_{пдл1} = 1 \text{ м}$ – стрічково-бутовий фундамент (бетон на щебені з природного каменю);

$\delta_{пдл2} = 0,22 \text{ м}$ – залізобетон;

$\delta_{пдл3} = 0,02 \text{ м}$ – цементна стяжка;

$\delta_{пдл4} = 0,003 \text{ м}$ – лінолеум на тканевій основі;

Теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації: $\lambda_{пдл1} = 1,86 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{пдл2} = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{пдл3} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\lambda_{пдл4} = 0,23 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

За формулою (2.2) знаходимо термічний опір кожного шару підлоги:

$$R_{ндл1} = \frac{1}{1,86} = 0,538 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{ндл2} = \frac{0,22}{2,04} = 0,108 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{дл3}} = \frac{0,02}{0,81} = 0,025 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{\text{дл4}} = \frac{0,003}{0,23} = 0,013 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 0,683 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Вікна

В будівлі є два типи вікон – з ПВХ-профілю та з дерев'яними рамами.

Спочатку розрахуємо термічний опір для вікон з дерев'яною рамою. Оскільки повітряний прошарок між вікном першої рами і вікном другої рами не герметичний, то його термічним опором у розрахунках ми знехтуємо.

Товщина і-го шару:

$\delta_{\text{вкн1,2}} = 0,004$ м – товщина віконного скла першої рами і другої рами.

Теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації: $\lambda_{\text{вкн1,2}} = 0,76$ Вт/м·К.

Термічний опір вікна розраховуємо за формулою 2.2:

$$R_{\text{вкн1}} = 2 \cdot \frac{0,004}{0,76} = 0,0105 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні вікна дорівнює $\alpha_{\text{в}} = 8$ Вт/м²·К, а зовнішньої $\alpha_{\text{з}} = 23$ Вт/м²·К.

Приведений опір теплопередачі вікон з дерев'яною рамою розраховуємо за формулою 2.3:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{8} + 0,0105 + \frac{1}{23} = 0,179 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Приведений термічний опір пластикових вікон визначаємо за таблицею М1 з [5]: $R_{\Sigma \text{пр}} = 0,52$ м² К/Вт.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції громадських будинків дорівнює $R_{qmin} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Металеві та пластикові двері

Термічний опір металевих дверей

Товщина дверей $\delta_{дв.м} = 0,004 \text{ м}$ – арматурна сталь;

Теплопровідність – $\lambda_{дв.м} = 58 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$

Термічний опір металевих дверей розраховуємо за формулою 2.2:

$$R_{дв.м} = \frac{0,004}{58} = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні металевих дверей дорівнює $\alpha_в = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$, а зовнішньої $\alpha_з = 23 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Приведений опір теплопередачі непрозорої огорожуючої конструкції розраховуємо за формулою 2.3:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + 6,9 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{23} = 0,158 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Приведений термічний опір пластикових дверей визначаємо за таблицею М1 з [5]: $R_{\Sigma np} = 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Для I температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі входних дверей в громадські будинки дорівнює $R_{qmin} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Як видно з розрахунків дійсний термічний опір огорожувальної конструкції Машинобудівельного коледжу СумДУ не відповідає мінімально допустимим значенням.

Результати розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій Машинобудівельного коледжу СумДУ представлені у таблиці 2.1

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій навчального корпусу Машинобудівельного коледжу СумДУ.

Конструктивний елемент	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Теплопровідність, λ_i , Вт/м·К.	$R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	R_{qmin} , м ² ·К/Вт
Зовнішні стіни	Цегла на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81	0,813	3,3
	Штукатурка цементно-піщана	0,02	0,81		
Горищне перекриття	Штукатурка цементно-піщана	0,01	0,81	0,708	4,95
	Залізобетон	0,22	2,04		
	Керамзит	0,15	0,41		
	Руберойд	0,004	0,17		
Підлога	Бетон на щебені з природного каменю	1	1,86	0,683	3,75
	Залізобетон	0,22	2,04		
	Цементна стяжка	0,02	0,81		
	Лінолеум	0,003	0,23		
Вікна	ПВХ	-	-	0,52	0,75
	Скло у дерев'яному плетінні	0,004	0,76	0,179	
Двері	Пластикові	-	-	0,52	0,6
	Металеві	0,04	58	0,158	

2.2 Розрахунок тепловтрат

При дотриманні оптимальних умов теплового балансу приміщень будинків необхідно щоб виконувалася в них умова рівності між тепловтратами і теплонадходженнями.

Сумарні розрахункові тепловтрати приміщень:

$$\sum Q_{втр} = \sum Q_0 + \sum Q_d + \sum Q_{инф}, \text{ Вт} \quad (2.4)$$

де ΣQ_0 – сумарні втрати теплоти через огорожувальні конструкції будівлі, Вт;

ΣQ_d – сумарні додаткові втрати теплоти огорожувальні конструкції, Вт;

ΣQ_{inf} – сумарні додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря, Вт.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі (стіни, світлові й дверні прорізи, стелі, неутеплені підлоги):

$$Q_0 = \frac{F_{озр}}{R_0} \cdot (t_в - t_з) \cdot n, \text{ Вт} \quad (2.5)$$

де $F_{озр}$ – розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції, м²;

R_0 – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (за результатами проведених розрахунків R_{qmin}), м²·°С/Вт;

$t_в, t_з$ – відповідно температури усередині приміщення і зовнішнього повітря, °С;

n – коефіцієнт, прийнятий залежно від положення зовнішньої поверхні огорожуючої конструкції відносно зовнішнього повітря, згідно [5], таблиця 12.

Сумарні втрати теплоти через огорожуючі конструкції визначаються за формулою:

$$\Sigma Q_0 = \Sigma Q_{ст} + \Sigma Q_{вкн} + \Sigma Q_{з.д} + \Sigma Q_{ндл}, \text{ Вт} \quad (2.6)$$

де $\Sigma Q_{ст}$ – сумарні втрати теплоти через зовнішні огороження, обчислені по кожному приміщенню, Вт;

$\Sigma Q_{вкн}$ – сумарні втрати теплоти через світлові прорізи, обчислені по кожному приміщенню, Вт;

$\Sigma Q_{з.д}$ – сумарні втрати теплоти через зовнішні двері (ворота), обчислені для приміщень у яких є вихід на зовнішню сторону будинку, Вт;

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΣQ_{ndl} – сумарні втрати теплоти через неутеплені підлоги, обчислені по кожному приміщенню з такими підлогами, Вт.

2.2.1 Розрахунок додаткових тепловтрат через огорожувальні конструкції

Додаткові втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель обумовлені наявністю багатьох різних неврахованих факторів, що підвищують величини основних тепловтрат на деякі частки від їхніх значень.

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків:

$$Q_{op}^{\partial} = Q_{cm} \cdot \beta_{op}, \text{ Вт} \quad (2.7)$$

де Q_{cm} – тепловтрати через кожну зовнішню стіну приміщень, Вт;

β_{op} – коефіцієнт добавки на орієнтацію зовнішньої стіни стосовно сторін світу. Допускається для практичних розрахунків для всіх зовнішніх стін будинку, незалежно від орієнтації, приймати $\beta_{op}=0,08$ – при одній зовнішній стіні в приміщенні, і $\beta_{op}=0,13$ – при двох і більше зовнішніх стін у приміщенні.

Додаткові тепловтрати на відкривання зовнішніх дверей

$$Q_{з.д}^{\partial} = Q_{з.д} \cdot \beta_{відкр}, \text{ Вт} \quad (2.8)$$

де $Q_{з.д}$ - втрати теплоти через зовнішні двері (ворота), Вт;

$\beta_{відкр}$ – коефіцієнт добавки на відкривання дверей, що має значення:

- для одинарних дверей для громадських будинків $\beta_{откр}=3$;

Додаткові тепловтрати через неутеплені підлоги розташовані на ґрунті або над холодними підвалами:

$$Q_{ндл}^{\partial} = 0,05 \cdot Q_{ндл}, \text{ Вт} \quad (2.9)$$

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $Q_{n\partial l}$ – втрати теплоти через неутеплені підлоги, Вт.

Сумарні тепловтрати через неутеплені підлоги:

$$\sum Q_{n\partial l}^{\partial} = \sum_i^n Q_{i.n\partial l}^{\partial}, \text{ Вт} \quad (2.10)$$

де $Q_{i.n\partial l}^{\partial}$ – втрати теплоти через неутеплені підлоги по кожному приміщенню, Вт;

n – кількість приміщень де є неутеплені підлоги, для яких розраховано значення $Q_{i.n\partial l}^{\partial}$.

Величина сумарних додаткових втрат теплоти через огорожуючі конструкції:

$$\sum Q_{\partial} = \sum Q_{op}^{\partial} + \sum Q_{3.\partial}^{\partial} + \sum Q_{n\partial l}^{\partial}, \text{ Вт} \quad (2.11)$$

де $\sum Q_{op}^{\partial}$ – сумарні додаткові тепловтрати через зовнішні огороження на орієнтацію, Вт;

$\sum Q_{3.\partial}^{\partial}$ – сумарні додаткові тепловтрати на відкривання зовнішніх дверей, Вт;

$\sum Q_{n\partial l}^{\partial}$ – сумарні тепловтрати через неутеплені підлоги, Вт.

Додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через світлові прорізи:

$$Q_{вкн}^{inf} = 0,28 \cdot G_{н.вкн} \cdot F_{вкн} \cdot c \cdot (t_e - t_3) \cdot n_e, \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/кг·°С;

t_e, t_3 – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і зовнішнього повітря, °С;

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$G_{н.вкн}$ – кількість інфільтрованого холодного повітря через нещільність віконного огородження, кг/(м²·год);

$F_{вкн}$ – площа віконного прорізу, м².

$n_{вкн}$ – кількість однотипних вікон.

Сумарні тепловтрати через нещільності світлових прорізів:

$$\sum Q_{вкн}^{инф} = \sum_i^n Q_{i.вкн}^{инф}, \text{ Вт} \quad (2.13)$$

де $Q_{i.вкн}^{инф}$ – втрати теплоти на інфільтрацію, обчислені по кожному світловому прорізу в приміщенні, Вт;

n – кількість світлових прорізів, для яких розраховано значення $Q_{i.вкн}^{инф}$.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через дверні прорізи:

$$Q_{з.д}^{инф} = 0,28 \cdot G_{з.д} \cdot c \cdot (t_в - t_з), \text{ Вт} \quad (2.14)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/(кг·°С);

$t_в, t_з$ - відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і зовнішнього повітря, °С;

$G_{з.д}$ – кількість інфільтрованого холодного повітря через нещільність дверного прорізу, кг/год

$$G_{з.д} = b_{н.д} \cdot L_{н.д} \cdot v_{ср.н.д} \cdot m_n \cdot 3600, \quad (2.15)$$

де $b_{н.д}$ – ширина встановленої дверної нещільності;

$L_{н.д}$ – загальна довжина нещільності дверного прорізу, м;

$v_{ср.н.д}$ – осереднена швидкість інфільтрації холодного повітря через нещільності дверного прорізу за результатами виконаних вимірів;

m_n – маса 1 м³ повітря, рівна 1,3 кг.

					Арк.
					36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Сумарні додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря:

$$\sum Q_{inф} = \sum Q_{вкн}^{inф} + \sum Q_{з.д}^{inф}, \text{ Вт} \quad (2.16)$$

У випадку витяжної вентиляції розрахунок втрат теплоти проводиться по наступній залежності:

$$Q_6 = 0,28 \cdot V_{II} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_6 - t_{з.р}) \cdot n_k \cdot k_V, \text{ Вт} \quad (2.17)$$

де: c – питома теплоємність повітря, що дорівнює $1,005 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

t_6 і $t_{з.р}$ - температура внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

V_{II} – внутрішній об'єм приміщення, м^3 ;

ρ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, $\rho=1,3 \text{ кг/м}^3$

n_k – кратність повітрообміну приміщення, год^{-1} ;

k_V – коефіцієнт, що враховує зменшення внутрішнього об'єму приміщення із-за розташування в ньому різного обладнання (приймається $k_V=0,85$).

Середня кратність повітрообміну, визначається за сумарними повітрообміном за рахунок вентиляції та інфільтрації за формулою:

$$n_k = \frac{\left[\left(\frac{L_V \cdot n_V}{24} \right) + \left(\frac{G_{inф} \cdot \eta \cdot n_{inф}}{24 \cdot \rho c} \right) \right]}{v_V \cdot V_h}, \text{ год}^{-1} \quad (2.18)$$

де L_V - кількість припливного повітря в будинок у разі природної вентиляції або нормативне значення під час механічної вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$, для: будинків науково-дослідних установ, проектних і громадських організацій та управління - $4F_p$; де F_p - розрахункова площа громадських будинків, м^2 .

n_V - кількість годин роботи механічної або природної вентиляції протягом тижня;

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η - коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях; приймається за найбільшим значенням, єдиним для всього будинку і становить $\eta = 0,7$.

$G_{\text{інф}}$ - кількість повітря, що інфільтрується в будинок через огорожувальні конструкції в неробочий час, кг/год, приймається $G_{\text{інф}} = v_V \cdot V_h$;

$n_{\text{інф}}$ - кількість годин інфільтрації повітря всередину будинку протягом тижня, год;

V_h - опалювальний об'єм приміщення, м³.

v_V - коефіцієнт зниження об'єму повітря в будинку, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, приймається $v_V = 0,85$;

ρ_c - середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації, кг/м³

Проведення розрахунку тепловтрат

Розрахунок тепловтрат навчального корпусу ВСП «Машинобудівельного коледжу СумДУ»:

Тепловтрати через зовнішні стіни розраховуємо за формулою (2.5):

$$Q_{0\text{ст.}} = \frac{932,2}{0,813} \cdot (20 - (-25)) \cdot 1 = 51597,8 \text{ Вт.},$$

Тепловтрати через горищне перекриття розраховуємо за формулою (2.5):

$$Q_{0\text{ст.}} = \frac{1200}{0,708} \cdot (20 - (25)) \cdot 1 = 76271,2 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати через підлогу над неопалювальним підвалом розраховуємо за формулою (2.5):

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура в підвальному приміщенню згідно вимірювань склала $+8^{\circ}\text{C}$.

Тоді:

$$Q_{0\text{стл}} = \frac{1200}{0,683} \cdot (20 - (+8)) \cdot 1 = 21083,5 \text{Вт.}$$

Тепловтрати через вікна розраховуємо за формулою (2.5):

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{плас}} = \frac{140,8}{0,52} \cdot (20 - (-25)) = 12184,6 \text{Вт.}$$

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{дерев}} = \frac{352}{0,179} \cdot (20 - (-25)) = 88491,6 \text{Вт.}$$

де $F_{\text{вкн.плас.}} = 140,8 \text{ м}^2$ – площа пластикових вікон;

де $F_{\text{вкн.др.}} = 352 \text{ м}^2$ – площа дерев'яних вікон.

Сумарні тепловтрати складуть:

$$\Sigma Q_{\text{вкн}} = 12184,6 + 88491,6 = 100676,2 \text{Вт.}$$

Тепловтрати через дверні прорізи розраховуємо за формулою (2.5), причому враховуємо що в будівлі троє дверей: металеві та пластикові.

$$Q_{0\text{дв.мет}} = \frac{3,6}{0,158} \cdot (20 - (25)) \cdot 1 = 1025,3 \text{Вт.}$$

$$Q_{0\text{дв.плас}} = \frac{16,215}{0,52} \cdot (20 - (25)) \cdot 1 = 1403,2 \text{Вт.}$$

де $F_{\text{дв.мет.}} = 3,6 \text{ м}^2$ – площа запасних дверей з сталі;

де $F_{\text{дв.ДСП}} = 16,215 \text{ м}^2$ – площа вхідних пластикових.

Сумарні тепловтрати складуть:

$$\Sigma Q_{\text{двер}} = 1025,3 + 1403,2 = 2428,5 \text{Вт.}$$

					Арк.
					39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Сумарні втрати теплоти через огорожувальні конструкції навчального корпусу становлять:

$$\sum Q_0 = 51597,8 + 76271,2 + 21083,5 + 100676,2 + 2428,5 = 252057,2 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків розраховуємо за формулою (2.7):

$$Q_{\text{ор}}^{\text{д}} = 51597,8 \cdot 0,13 = 6707,7 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати по висоті приміщення:

$$Q_{\text{в}}^{\text{д}} = 0,02 \cdot 51597,8 = 1032 \text{ Вт.}$$

Величина сумарних додаткових втрат теплоти через огорожуючі конструкції становить:

$$\sum Q_{\text{д}} = 6707,7 + 1032 = 7739,7 \text{ Вт.}$$

Додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через світлові прорізи дерев'яних вікон розраховуються за формулою (2.12):

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 0,28 \cdot 6 \cdot 352 \cdot 1,005 \cdot (20 + 25) = 26744,3 \text{ Вт.}$$

де $G_{\text{вкн}} = 6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ – нормативна повітропроникність світлопрозорих конструкцій житлових та громадських будинків згідно [14].

$F_{\text{вкн.д}} = 352 \text{ м}^2$ - площа вікон в дерев'яних плетіннях.

					Арк.
					40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через дверні прорізи розраховуються за формулою (2.16):

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 0,28 \cdot 16,8 \cdot 1,005 \cdot (20 + 25) = 212,7 \text{ Вт},$$

де $G_{\text{зд}} = 0,005 \cdot 2 \cdot (2 + 1,6) \cdot 0,1 \cdot 1,3 \cdot 3600 = 16,8 \text{ м}^3$ – масова витрата інфільтраційного повітря через металеві двері (інфільтрацію через пластикові двері не враховуємо, через щільність їх зачинення).

Сумарні додаткові втрати теплоти у навчальному корпусі Машинобудівельного коледжу через інфільтрацію холодного повітря становлять:

$$\sum Q_{\text{інф}} = 26744,3 + 212,7 = 26957 \text{ Вт}.$$

Втрати через вентиляцію згідно формули (2.17) складуть:

Кратність повітрообміну згідно формули (2.18)

$$n_k = \frac{\left[\left(\frac{4 \cdot 4660 \cdot 5}{24} \right) + \left(\frac{0,8 \cdot 16893 \cdot 5}{24 \cdot 1,3} \right) \right]}{0,85 \cdot 16893} = 0,2 \text{ год}^{-1}$$

Тоді втрати через вентиляцію

$$Q_{\text{в}} = 0,28 \cdot 16893 \cdot 1,005 \cdot 1,3 \cdot (20 - (-25)) \cdot 0,2 \cdot 0,9 = 50056,3 \text{ Вт}$$

Сумарні розрахункові тепловтрати навчального корпусу Машинобудівного коледжу СумДУ становлять:

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum Q_{emp} = 252057,2 + 7739,7 + 26957 + 50056,3 = 336810,2 \text{ Вт.}$$

Графічне зображення тепловтрат приведено на рисунку 2.1

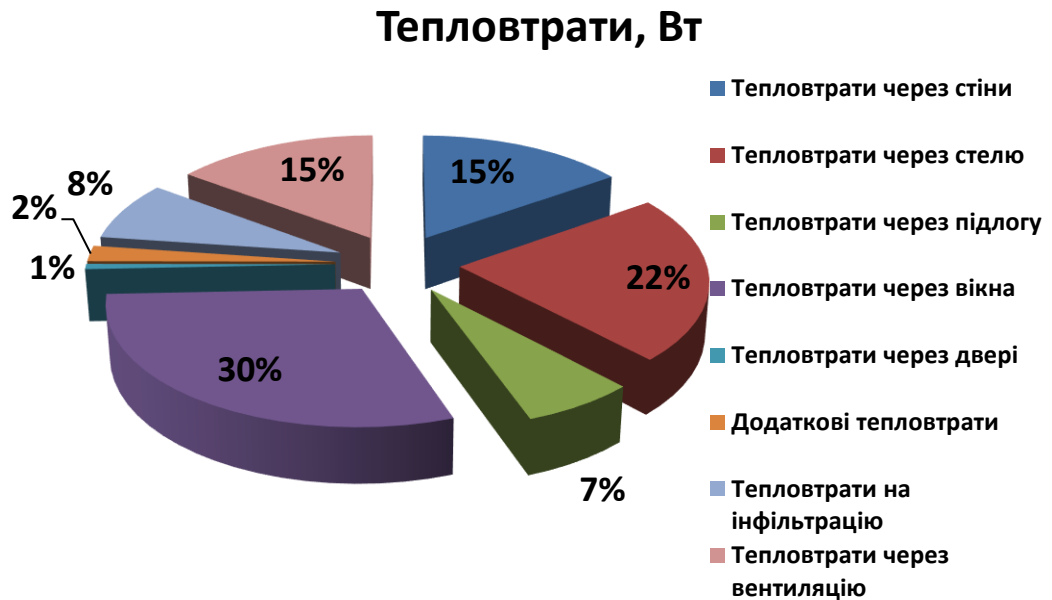


Рисунок 2.1 – Види тепловтрат в будівлі

2.3 Розрахунок теплонадходжень

Теплонадходження від людей [14]:

$$Q_l = q_l \cdot n_l, \text{ Вт} \quad (2.19)$$

де: q_l – явні теплонадходження від людей, Вт;

n_l – кількість людей.

Теплонадходження від працюючого електроустаткування [14]:

$$Q_{el} = N_{el} \cdot (1 - k_{II} \cdot \eta + k_T \cdot k_{II} \cdot \eta) \cdot k_c, \text{ Вт} \quad (2.20)$$

					Арк.
					42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де: N_{el} – номінальна потужність електроустаткування, Вт;

k_{II} – коефіцієнт завантаження ($k_{II}=0,9$);

η – ККД електроустаткування (приймається 0,9);

k_T – коефіцієнт переходу тепла в приміщення ($k_T=0,9$);

k_c – коефіцієнт попиту на електроенергію ($k_c=0,15$).

Теплонадходження від джерел освітлення [14]:

$$Q_{осв} = N_{л} \cdot k_{осв} \cdot n_{л} \cdot k_3, \text{ Вт} \quad (2.21)$$

де: $N_{л}$ – потужність одного джерела освітлення, Вт;

$k_{осв}$ – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову (лампи розжарення – $k_{осв}=0,95$);

k_3 – коефіцієнт завантаження освітлення (за умовою завдання до курсової роботи);

$n_{л}$ – кількість однотипних джерел освітлення.

Теплонадходження від сонячної радіації

$$Q_{рад} = (q_c \cdot F_c + q_T \cdot F_T) \cdot k_{о.п}, \text{ Вт} \quad (2.22)$$

де: q_c , q_T – відповідно тепловий потік, що надходить через 1 м² скління, освітленого сонцем і перебуваючого в тіні, Вт/м² ($q_c=250$ Вт/м²; $q_T=100$ Вт/м²);

F_c , F_T – площі заповнення світлових прорізів, відповідно освітлених і затінених, м²;

$k_{о.п}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу (за умовами завдання $k_{о.п}=0,6$).

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарні теплонадходження [14]:

$$Q_{\text{тн}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{ел}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{рад}}, \text{ Вт} \quad (2.23)$$

Розрахунок теплонадходжень по навчальному корпусу [14].

Теплонадходження від людей розраховуємо за формулою (2.19):

$$Q_{\text{л}} = 702 \cdot 103 = 72306 \text{ Вт.}$$

Теплонадходження від працюючого електроустаткування, розраховуємо за формулою (2.20)

$$Q_{\text{ел}} = 20000 \cdot (1 - 0,9 \cdot 0,9 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9) \cdot 0,15 = 8100 \text{ Вт.}$$

Теплонадходження від джерел освітлення розраховуємо за формулою (2.21) [14]

$$Q_{\text{осв}} = 75 \cdot 295 \cdot 0,95 \cdot 0,9 + 18 \cdot 100 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 19888,9 \text{ Вт.}$$

Теплонадходження від сонячної радіації згідно формули (2.22) [14]:

$$Q_{\text{рад}} = (250 \cdot 246,4 + 100 \cdot 246,4) \cdot 0,6 = 51744 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплонадходження по будівлі становлять згідно формули (2.23) [14]:

$$Q_{\text{тн}} = 72306 + 8100 + 19888,9 + 51744 = 152038,9 \text{ Вт.}$$

					Арк.
					44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Теплову потужність всієї будівлі згідно формули (2.24) [14]:

$$\Delta Q = 336810,2 - 152038,9 = 184771,3 \text{ Вт.}$$

Розрахункові річні витрати теплоти на опалення будівлі до впровадження ЕЗЗ будуть становити [14]:

$$\Delta Q_{оп} = \Delta Q \cdot \frac{(t_g^{cp} - t_{cp.on})}{(t_g^{cp} - t_3)} \cdot 24 \cdot n_{оп} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.25)$$

де ΔQ – розрахункова величина теплової потужності будівлі, Вт;

t_g^{cp} – внутрішня температура приміщень будівлі (осереднена за приміщеннями), $^{\circ}\text{C}$;

$t_{cp.on}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^{\circ}\text{C}$; $t_{cp.on} = 1,4^{\circ}\text{C}$;

t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^{\circ}\text{C}$;

$n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду (днів).

$$\Delta Q_{оп} = 184771,3 \cdot \frac{(20 - (-1,4))}{(20 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot 10^{-3} = 394417,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік.}$$

2.4 Висновки до розділу

Опір теплопередачі огорожуючих конструкцій не відповідає сучасним нормам.

Теплова потужність будівлі складає 184771,3 Вт (0,158 Гкал/год).

З метою підвищення рівня енергоефективності будівлі пропонується запровадження енергозберігаючих заходів.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ

3.1 Характеристика заходів з енергозбереження та умов їх запровадження

3.1.1 Утеплення зовнішніх стін будівлі

Теплоізоляцію зовнішніх стін пропонується виконати мінеральною ватою [17].

Переваги при утепленні даним матеріалом наступні:

- 1) не горить (температура плавлення 1000 °С);
- 2) захищена від біологічної корозії;
- 3) гарна шумова ізоляція;
- 4) простота при монтажу та довговічність.

Необхідну товщину теплоізоляційного шару визначаємо за формулою:

$$\delta_{\text{ут.ог.к}} = (R_{q\text{min}} - R_{\Sigma\text{IPcm}}) \cdot \lambda_{\text{ут}} \quad (3.1)$$

де $\lambda_{\text{ут}} = 0,04$ Вт/(м · К) – теплопровідність ізолюючого матеріалу [17].

$R_{q\text{min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі стін, що становить $3,3$ м²·К/Вт [7].

$$\delta_{\text{ут.ст}} = (3,3 - 0,813) \cdot 0,04 = 0,1\text{м.}$$

Отже, товщина ізоляції має складати 100 мм.

Розрахуємо втрати через стіни після ізоляції по формулі:

$$Q_{\text{ог.к}}^{\text{із}} = \frac{F_{\text{ог.к}}}{R_{q\text{min}}} \cdot (t_B - t_3) \cdot n \quad (3.2)$$

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{cm}^{iz} = \frac{932,2}{3,3} \cdot (20 + 25) = 12711,8 \text{ Вт.}$$

Різницю між втратами тепла через не утеплені стіни і утеплені знайдемо по формулі:

$$\Delta Q_{ог.к} = Q_{ог.к} - Q_{ог.к}^{iz} \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_{cm} = 51597,8 - 12711,8 = 38886 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати крізь стіни за опалювальний період (для м. Суми складає 187 діб) по формулі [14]:

$$Q_{ог.к}^{pik} = \Delta Q_{ог.к} \cdot \frac{(t_{г} - t_{cp.on})}{(t_{г} - t_{з})} \cdot 24 \cdot n_{оп} , \quad (3.4)$$

$$Q_{cm}^{pik} = 38,9 \cdot \frac{(20 - (-1,4))}{(20 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 = 83024 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \approx 71,4 \text{ Гкал.}$$

Річна економія в грошовому еквіваленті:

$$\Delta E = 71,4 \cdot 2630,57 = 187824,4 \text{ грн} / \text{рік.}$$

Згідно інформації будівельного гіпермаркету «ДахЦентр» вартість 1 м² плити мінераловатної товщиною 100 мм складає 140 грн [17]. Вартість робіт включаючи матеріали по встановленню плит складає 600 грн/м² [18]. Тоді вартість впровадження заходу знаходимо по формулі:

$$K = F_{ог.к} \cdot (C_{тов} + C_{роб}) \quad (3.5)$$

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де $C_{\text{ТОВ}}$ – вартість одиниці продукції, грн.,

$C_{\text{робіт}}$ - вартість робіт на монтаж одиниці продукції, грн.

$$K = 932,2 \cdot (140 + 400) = 503388 \text{ грн.}$$

Визначаємо термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta E} \quad (3.6)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{503388}{187824,4} = 2,7 \text{ років.}$$

Визначимо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу.

Методика розрахунку наведено в [19].

Цей проект спрямований на зменшення споживання будівлею теплової енергії, шляхом теплоізоляції зовнішніх стін.

На основі проведених розрахунків робимо фінансовий аналіз утеплення зовнішніх стін будівлі.

Капітальні витрати на впровадження заходу будуть складати $K = 503388$ грн.

Після утеплення стін економія в споживанні теплової енергії будівлею у грошовому еквіваленті становитиме 187824,4 грн/рік.

Визначимо економічну ефективність впровадження енергоощадного заходу дисконтним методом [19].

Чистий дисконтований дохід NPV розраховуємо відповідно до формули:

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$NPV = \sum_{t=t_n}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (3.7)$$

де P_t – чистий грошовий потік (грошові надходження) у році t ;

I_0 – одномоментні інвестиційні витрати на реалізацію інвестиційного проекту;

r – дисконтна ставка, що використовується для приведення доходів та інвестиційних витрат до єдиного моменту часу (виражається у частках одиниць);

t_n – момент отримання першого доходу;

T – термін реалізації (життєвий цикл) інвестиційного проекту, років.

Для подальшого аналізу складемо таблицю 3.1. Ставку дисконту візьмемо на рівні 10 % (0,1).

Таблиця 3.1 - Оцінка NPV

Рік	Інвестиції I (капітальні витрати), грн	Вигоди D (дохід), грн	чистий грошовий потік, P_t , грн	Дисконтний множник за ставкою $r=r_1$	Приведена дисконтна вартість, грн.	NPV, грн
0	-503388	-503388		1		
1	0	187824,4	-315563,6	0,909	170749	-332639
2	0	187824,4	-127739,2	0,826	155227	-177412
3	0	187824,4	60085,2	0,751	141115	-36297
4	0	187824,4	247909,6	0,683	128287	91990
5	0	187824,4	435734	0,621	116624	208614
6	0	187824,4	623558,4	0,564	106022	314636
7	0	187824,4	811382,8	0,513	96384	411020
8	0	187824,4	999207,2	0,467	87621	498641
9	0	187824,4	1187031,6	0,424	79656	578297
10	0	187824,4	1374856	0,386	72414	650712
11	0	187824,4	1562680,4	0,350	65831	716543

Продовження таблиці 3.1

12	0	187824,4	1750504,8	0,319	59847	776390
13	0	187824,4	1938329,2	0,290	54406	830796
14	0	187824,4	2126153,6	0,263	49460	880256
15	0	187824,4	2313978	0,239	44964	925219
16	0	187824,4	2501802,4	0,218	40876	966095
17	0	187824,4	2689626,8	0,198	37160	1003255
18	0	187824,4	2877451,2	0,180	33782	1037037
19	0	187824,4	3065275,6	0,164	30711	1067748
20	0	187824,4	3253100	0,149	27919	1095667
21	0	187824,4	3440924,4	0,135	25381	1121048
22	0	187824,4	3628748,8	0,123	23073	1144121
23	0	187824,4	3816573,2	0,112	20976	1165097
24	0	187824,4	4004397,6	0,102	19069	1184166
25	0	187824,4	4192222	0,092	17335	1201502
	IRR	34%			1704890	

$$NPV = 1704890 - 503388 = 1201502 \text{ грн}$$

Результат розрахунку NPV є орієнтовним критерієм прийняття рішення щодо інвестування енергоощадного проекту. У даному випадку $NPV > 0$, дисконтовані результати перевищують дисконтовані витрати. Проект є ефективним (прибутковим). З великою вірогідністю проект може бути реалізовано. Чистий дохід проекту становить 1704890 грн. Чистий дисконтований дохід дорівнює 1201502 грн.

Індекс дохідності PI розраховуємо :

$$PI = \frac{1704890}{1201502} = 1,4$$

Оскільки $PI > 1$, дисконтовані результати перевищують дисконтовані витрати. Проект є ефективним (прибутковим). Із великою вірогідністю проект може бути реалізовано.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок *IRR* у програмі Microsoft Excel проводиться у такій послідовності (табл. 3.2) [19].

1. У клітинку A1 заносимо величину інвестицій.
2. У клітинки A2 – A425 заносимо розмір чистого грошового потоку у кожному році за весь життєвий цикл проекту.
3. У клітинку A25 заносимо формулу = *IRR*(Q8 : Q48).
4. Отримуємо результат – 42 %.

Таблиця 3.2 – Оцінка *IRR* (фрагмент таблиці Microsoft Excel)

	Q
1	2
2	– 503388
3	187824,4
4	187824,4
...	...
24	187824,4
25	187824,4
Формула	= <i>IRR</i> (Q8 : Q25)
Результат	34 %

$IRR > r$, тобто *IRR* перевищує мінімальну ціну інвестицій для даного проекту. Проект можна прийняти до впровадження.

Дисконтований термін окупності розраховуємо:

$$PP = 3 + \frac{503388 - 467091}{128287} = 3,3 \text{ роки.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Очікувані економічні показники від реалізації енергоощадного заходу

№ пор.	Перелік показників	Значення
1	2	3
1	Капітальні вкладення, грн	503388
2	Річні експлуатаційні витрати, грн	–
3. Техніко-економічні показники		
3.1	Загальна вартість продукції, що виробляється (річна економія), грн	187824,4
3.2	Чистий дисконтований дохід, грн	1201502
3.3	Індекс дохідності	1,4
3.4	Внутрішня норма дохідності, %	34
3.5	Дисконтований термін окупності, років	3,3

Цей енергоощадний захід є ефективним, оскільки $NPV > 0$. Отже, дисконтовані результати перевищують дисконтовані витрати. Проект є інвестиційно привабливим і може сприяти збільшенню капіталу підприємства та його ринкової вартості. Проект може бути реалізований із великою вірогідністю.

3.1.2 Заміна ламп розжарювання на світлодіодні

Світлодіодне освітлення стало справжнім проривом у світі освітлювальної техніки. LED лампи за всіма показниками обходять своїх попередників і стрімко витісняють їх із рейтингу популярності та затребуваності. Сьогодні саме LED освітлення вважається найбільш безпечним, комфортним та вигідним і для домашнього використання, і для встановлення в офісах, адміністративних та комерційних закладах [20].

Пропонується замінити лампи розжарення на світлодіодні.

Було пораховано кількість ламп, які потребують заміни. Їхня кількість складає 200 штук. Ціна однієї світлодіодної лампи складає 50 грн [10].

Капітальні затрати на встановлення ламп складуть:

$$K = 200 \cdot 50 = 10000 \text{ грн.}$$

Для початку обчислимо споживання електроенергії за рік для обох типів ламп за умови, що лампи горять 6 годин на добу:

Лампи розжарювання :75 Вт:

$$C_1 = 0,075 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 6 \text{ годин} \times 250 \text{ днів} \cdot 200 \text{ штук} = 22500 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік};$$

Світлодіодна лампа 10 Вт (з низьким світловим потоком):

$$C_2 = 0,01 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 6 \text{ годин} \times 250 \text{ днів} \cdot 200 \text{ штук} = 3000 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік.}$$

Економія в споживанні електричної енергії після встановлення світлодіодних ламп складає

$$C = C_1 - C_2 = 22500 - 3000 = 19500 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік.}$$

В грошовому еквіваленті економія складе:

$$E = 6,16 \cdot 19500 = 120120 \text{ грн}$$

Термін окупності даного заходу складе:

$$T_{ок} = \frac{10000}{120120} = 0,1 \text{ року.}$$

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3 Утеплення горищного перекриття будівлі

Для утеплення горищного перекриття будівлі пропонується пінополіуретан, теплопровідність якого складає $\lambda=0,037 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ [22].

Пінополіуретан - має високий ступінь зчеплення з різними будівельними матеріалами такими як: цегла, метал, деревина, штукатурка і т.п.

Пінополіуретан (ППУ) - матеріал, стійкий до кислотних і лужних середовищ, не схильний до пошкодження гниттям, цвіллю і гризунами, не впливає на фізіологію людини, що підтверджують сертифікати видані службами у сфері захисту прав споживачів і благополуччя людини [22].

Пінополіуретан - поліуретанова піна - теплоізоляційний матеріал, який дозволяє покривати поверхні будь-якої складності і форми, повторюючи в точності конструкцію і отримуючи покриття без єдиного стику з високим ступенем вологостійкості, перешкоджаючи утворенню корозії [22].

Пінополіуретан (ППУ) - матеріал з гарантованим терміном служби від 25 років [22].

Теплопровідність даного типу матеріалу складає $\lambda_{\text{ymn}} = 0,037 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ [22].

Визначимо товщину ізоляційного шару для утеплення даху за формулою[12]:

$$\delta_{\text{ут.}} = [R_{q \text{ min}} - R_{\Sigma \text{ пр}}] \cdot \lambda_{\text{ут}} = [4,95 - 0,708] \cdot 0,037 = 0,16 \text{ м.}$$

де: $R_{q \text{ min}} = 4,95 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – мінімальний термічний опір стін [7];

Величина площі даху, який необхідно утеплювати, складає – 1200 м² .

Втрати теплової енергії через дах після утеплення складуть:

$$Q_{\text{о}}^{\text{ym}} = \frac{1200}{4,95} \cdot (20 - (-25)) = 10909,1 \text{ Вт.}$$

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економія втрат теплоти

$$\Delta Q = 76271,2 - 10909,1 = 65362,1 \text{Вт}$$

За формулою (3.4) знаходимо річну економію теплової енергії після впровадження заходу:

$$Q_{\text{о}}^{\text{рік}} = 65,3 \cdot \frac{(20+1,4)}{(20-(-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot = 139369,4 \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \approx 119,6 \text{Гкал}$$

У грошовому еквіваленті ця економія складе:

$$E = 119,6 \times 2630,57 = 314616,2 \text{грн.}$$

Ціна за 1 м² товщиною 160 мм при площі покриття більше 1000 м² включаючи роботу складає 350 грн [22]. Орієнтована загальна сума капітальних витрат для впровадження запропонованого заходу знайдемо за формулою:

$$K_{\text{зах}} = 1200 \cdot 350 = 420000 \text{ грн.}$$

Визначимо простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{420000}{314616,2} = 1,3 \text{ роки.}$$

Визначимо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу за методикою [19].

Розрахунки проведемо згідно формул пункту 3.1.1. Результати занесемо до таблиці 3.4.

					Арк.
					55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 3.4 – Очікувані економічні показники від реалізації енергоощадного заходу

№ пор.	Перелік показників	Значення
1	2	3
1	Капітальні вкладення, грн	420000
2	Річні експлуатаційні витрати, грн	–
3. Техніко-економічні показники		
3.1	Загальна вартість продукції, що виробляється (річна економія), грн	314616,2
3.2	Чистий дисконтований дохід, грн	2435784
3.3	Індекс дохідності	1,9
3.4	Внутрішня норма дохідності, %	26
3.5	Дисконтований термін окупності, років	1,9

3.1.4 Заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі

Заміна застарілих віконних конструкцій на нові більш енергозберігаючі здатна значно скоротити витрати теплової енергії на опалення будівлі.

Для заміни пропонуються демонтувати старі дерев'яні вікна і замінити їх новими металопластиковими з 2-х камерними склопакетами.

Кількість дерев'яних вікон, які потрібно замінити складає – 100 шт.

Розрахункові тепловтрати до впровадження заходу враховуючи інфільтрацію через дерев'яні вікна, склали $Q_{\text{вік}}^1 = 115235,9 \text{ Вт}$.

Знаходимо розрахункові тепловтрати через вікна після впровадження заходу за формулою 2.5 (втрати на інфільтрацію знехтуємо):

$$Q_{\text{вік}}^{\text{дерев}} = \frac{352}{0,75} \cdot (20 - (-25)) = 21120 \text{ Вт.}$$

Економію витрат теплоти після заміни вікон :

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta Q = 115235,9 - 21120 = 94115,9 \text{ Вт.}$$

Річну економію теплової енергії після заміни вікон:

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{ек.рік}} = 94,1 \cdot \frac{(20 - (-1,4))}{(20 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 = 200837 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{рік}} = 172,7 \text{ Гкал.}$$

Економія від заміни вікон в грошовому еквіваленті:

$$E = 2630,57 \cdot 204,2 = 537162,4 \text{ грн,}$$

Ціна заміни вікна (2,2x1,6 м) з монтажем складає 11000 грн [23].

Капітальні затрати на заміну 100 вікон складають $K = 1100000$ грн.

Простий термін окупності заходу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1100000}{537162,4} = 2,1 \text{ року.}$$

Визначимо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу за методикою [19].

Розрахунки проведемо згідно формул пункту 3.1.1. Результати занесемо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Очікувані економічні показники від реалізації енергоощадного заходу

№ пор.	Перелік показників	Значення
1	2	3
1	Капітальні вкладення, грн	1100000

Продовження таблиці 3.5

2	Річні експлуатаційні витрати, грн	—
3. Техніко-економічні показники		
3.1	Загальна вартість продукції, що виробляється (річна економія), грн	537162,4
3.2	Чистий дисконтований дохід, грн	3775845
3.3	Індекс дохідності	1,6
3.4	Внутрішня норма дохідності, %	39
3.5	Дисконтований термін окупності, років	3,4

3.2 Висновки за розділом

Запропоновано та виконано розрахунок енергозберігаючих заходів.

Сума капітальних вкладень значна, але поступове впровадження даних заходів призведе до значної економії енергетичних ресурсів та плати за їх використання.

					Арк.
					58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра було проведено енергетичне обстеження будівлі ВСП «Машинобудівного фахового коледжу СумДУ», що знаходиться за адресою м. Суми, проспект Шевченка, 17 та її систем енергозабезпечення.

Економія в споживанні енергоресурсів досягається за рахунок вдосконалення системи енергопостачання, впровадження нової техніки, зменшення витрат енергії, робота обладнання в економних режимах.

У розділі «ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ» після проведення візуального обстеження описано дійсний стан будівлі та енергетичних систем. Виконано аналіз обсягів енергоспоживання за видами систем енергопостачання на об'єкті. Здійснено порівняльний аналіз дійсних показників енергоспоживання з нормативними. Виконано опис приладів обліку енергетичних ресурсів та результати інструментального обстеження.

У розділі «КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ» наведено основні положення методики розрахункового аналізу та представлення результатів розрахунку.

Виконано розрахунок теплової потужності будівлі, яка склала 184771,3 Вт.

У розділі «ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ» виконано опис та розрахунок запропонованих енергозберігаючих заходів:

1) Утеплення зовнішніх стін будівлі (капітальні вкладення на впровадження заходу складають – 503388 грн; економія в грошовому еквіваленті – 187824,4 грн; термін окупності заходу – 2,7 років, дисконтований термін окупності – 3,3 роки);

2) заміна ламп розжарення на світлодіодні (капітальні вкладення на впровадження заходу складають – 10000 грн; економія в грошовому еквіваленті – 120120 грн; термін окупності заходу – 0,1 року);

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) утеплення горищного перекриття будівлі (капітальні вкладення на впровадження заходу складають – 420000 грн; економія в грошовому еквіваленті – 314616,2 грн; термін окупності заходу – 1,3 роки, дисконтований термін окупності – 1,9 років);

4) заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі (капітальні вкладення на впровадження заходу складають – 1100000 грн; економія в грошовому еквіваленті – 537162,4 грн; термін окупності заходу – 2,1 рік, дисконтований термін окупності – 3,4 роки);

У Додатку А «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» розглядалося питання «Фізичні та фізіологічні параметри шуму. Дія на організм людини. Методи захисту»

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергоефективність та енергозбереження [електронний ресурс] Режим посилання: <https://europan.ua/news/energoefektivnist-ta-energozberezhennja/>
2. Енергоефективність та енергозбереження сьогодні: [електронний ресурс] Режим посилання: https://dut.edu.ua/ua/news-1-596-4881-energoefektivnist-ta-energozberezhennya-sogodni_kafedra-energoefektivnih-tehnologiy
3. Індивідуальний тепловий пункт [електронний ресурс] Режим посилання: <https://www.liv-energo.com.ua/shho-take-%D1%96ndiv%D1%96dualnij-teplovij-punk/>
4. Лічильник теплової енергії [електронний ресурс] Режим посилання: <http://isker.com.ua/ru/category/pollutherm-slovakia-prais>
5. Лічильник електричної енергії [електронний ресурс] Режим посилання: https://amperok.com.ua/lichilnik_nik_2102_02_m1_220v?gclid=Cj0KCQjwvpv2TBhD_oARIsALBnVnlJPVKQtpOEbcZOyjgEI66rjo5Oe7-rENYq52co0U7MC5Ler-WbBb0aAtmqEALw_wcB
6. Лічильник холодної води [електронний ресурс] Режим посилання: <https://romstal.ua/uk/product/19748-schetchyk-dlja-vody-lk-15kh-du-15-t-30s-lat-so-shtutseramy>
7. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2017. – 30 с.
8. Міжгалузеві норми споживання електричної енергії [електронний ресурс] Режим посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0175-00>
9. Норма споживання холодної води [електронний ресурс] Режим посилання:
10. Термометр кімнатний [електронний ресурс] Режим посилання: <https://don.kyivcity.gov.ua/files/2014/10/1/Toolkit-description.pdf>.
11. Технічні характеристики універсального вимірювача Testo 605-H1.

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Рулетка вимірювальна [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://toolsua.com.ua/product/ruleтка-izmeritelnaya-10m/a12ddae3994411e7/>

13. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
01.12.1999. Київ-150 с.

14. Методичні вказівки до виконання розрахункових та практичних робіт на тему «Розрахунок теплового балансу будівель і споруд під час проведення енергетичного обстеження» з дисципліни «Системи виробництва та розподілу енергії» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика». - Суми: Сумський державний університет, 2014р.

15. ДБН В.2.5-67:2018 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»
Мінрегіон - Київ, 2013. – 230с.

16. Ексель [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://www.office.com/launch/Excel?ui=ru-RU&rs=RU&auth=1>

17. Мінеральна вата [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://ars.ua/budivelni-materiali/teplo-i-zvukoizoljacija/mineralna-vata/>

18. Роботи по утепленню в м.Суми [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://termobloki.org.ua/uk/uteplennja-fasadiv-vartist-uteplennja-fasadu-vibiraiemo-najekonomnishij-sposib/>

19. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проєктів / укладачі: І.М.Сотник, О. М. Маценко, О. М. Соляник. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 48с.

20. Світлодіодні лампи [електронний ресурс] Режим посилання:
https://lb.ua/society/2022/02/10/505153_shcho_take_svitlodiodni_lampi_led_ihni.html

21. Світлодіодні лампи [електронний ресурс] Режим посилання:
https://horozdrop.com.ua/lampa-svetodiodnaya-premier-10-10w-6400k-4200k-3000k-a60-e27-1-1?gclid=CjwKCAjwpayjBhAnEiwA-7ena0qhzM-WmZ7LJ-tuJGuHWegDCzI66h_ygMvRoccGfcMSf5M4SYaOqhoCDocQAvD_BwE

22. Пінополіуретан [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://www.ppu-protection.com/pinopoliuretan/shho-take-pinopoliuretan/>

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Металопластикові вікна [електронний ресурс] Режим доступу:
<https://doka-plus.com.ua/uk/>

24. Фізичні та фізіологічні характеристики шуму [електронний ресурс]
Режим посилання: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/B8.pdf>

25. Охорона праці [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://uz.dsp.gov.ua/index.php/diialnist/hihiena-pratsi/749-shum-ta-ioho-shkidlyvi-naslidky>

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Фізичні та фізіологічні параметри шуму. Дія на організм людини.

Нормування. Методи захисту

Шумом називають всякий небажаний для людини звук, що заважає сприйняттю корисних сигналів. Боротьба із шумом – це боротьба не тільки за підвищення загальної культури виробництва і продуктивності праці, але і за здоров'я працюючих [24].

Шум за джерелом виникнення підрозділяється на [24]:

- механічний, що виникає внаслідок вібрації поверхонь машин і устаткування, а також одиночних або періодичних ударів у з'єднаннях деталей і конструкцій;

- аеродинамічний, що виникає при витіканні стиснутого повітря або газу; гідромеханічний – при витіканні рідин;

- електромагнітний, що виникає при коливанні електромеханічних пристроїв.

Шум, що поширюється в повітрі, називається повітряним, а у твердих тілах (будівельних конструкціях або вузлах машини) – структурним. Шум як акустичний процес характеризується з фізіологічної і фізичної сторін. Шум як фізіологічне явище (тобто специфічне відчуття, викликане дією звукових хвиль на орган слуху) характеризується висотою звуку, голосністю, частотним діапазоном, тривалістю впливу на орган слуху [24].

Шум як фізичне явище характеризується звуковим тиском, інтенсивністю звуку, частотою та іншими параметрами. Простір, в якому поширюються звукові хвилі, називається звуковим полем. Тиск і швидкість прямивання часток повітря

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в кожній точці звукового поля змінюються в часі. У результаті коливань, утворених джерелом звуку, у повітрі виникає звуковий тиск, що накладається на атмосферний. Частота звуку характеризується числом коливань звукової хвилі в одиницю часу (секунду) і вимірюється в герцах (Гц) [24].

Шум у виробничих умовах негативно впливає на працівника: послаблює увагу, посилює розвиток втоми, сповільнює реакцію на небезпеку. Внаслідок цього знижується працездатність та підвищується імовірність нещасних випадків. Тому питання боротьби з шумом на сьогоднішній день є актуальним майже для всіх галузей виробництва [24].

Під час звукових коливань в повітрі утворюються зони зниженого та підвищеного тиску.

Звуковий тиск P , Па – це різниця між миттєвим значенням повного тиску у середовищі за наявності звуку та середнім тиском у цьому середовищі за відсутності звуку [25].

При розповсюдженні звукової хвилі в просторі відбувається перенесення енергії, кількість якої визначається інтенсивністю звуку [25].

Інтенсивність звуку I , Вт/м² – це середній потік звукової енергії за одиницю часу віднесений до одиниці площі поверхні перпендикулярної до напрямку розповсюдження звукової хвилі. У вільному звуковому полі інтенсивність звуку і звуковий тиск зв'язані між собою таким співвідношенням:

$$I = P^2 / (\rho \cdot c) \quad (A.1)$$

де P – звуковий тиск, Па;

ρ – густина повітря, кг/м³;

c – швидкість звуку, м/с.

Характеристикою джерел шуму є *звукова потужність W , Вт*, яка визначається загальною кількістю звукової енергії, що випромінюється джерелом шуму в навколишнє середовище за одиницю часу:

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W = I \cdot S \quad (A.2)$$

Сприймання людиною звуку залежить не тільки від частоти, а й від інтенсивності звуку та звукового тиску [25]. Найменша інтенсивність I_0 і звуковий тиск P_0 , що сприймається вухом людини зветься порогом чутності. Порогові значення залежать від частоти звуку [25].

За частоти 1000 Гц (така частота звуку прийнята як еталонна) поріг чутності для звукового тиску складає $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, а для інтенсивності звуку – $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м². За звукового тиску $P = 200$ Па та $I = 100$ Вт/м² виникають больові відчуття (больовий поріг) в слухових органах людини. Різниця між больовим порогом і порогом чутності дуже велика: інтенсивність звуку на порозі больового відчуття в 10^{14} разів перевищує поріг чутності, за звуковим тиском – 10^7 разів [25]. Користуватися шкалою, яка має такий великий розбіг неможливо. Тому було запропоновано використовувати логарифмічну шкалу, яка дає змогу визначати рівень шуму у відносних одиницях – белах (Б) [25]:

$$L = \lg(I/I_0) \quad (A.3)$$

Для больового порогу відчуття на частоті 1000 Гц ця відносна величина буде мати значення [24]:

$$L = \lg(I/I_0) = \lg 10^2/10^{-12} = \lg 10^{14}, \text{ Б} \quad (A.4)$$

Вухо людини здатне сприймати зміну рівня інтенсивності в 10 разів меншу за бел, тобто *децибел*, тому в практиці акустичних вимірювань і розрахунків використовують *децибел* (дБ). Тоді *рівень інтенсивності звуку L* в дБ дорівнює [26]:

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_I = 10 \lg(I/I_0) \quad (A.5)$$

а рівень звукового тиску L_p в дБ [25]:

$$L_p = 10 \lg (P/P_0)^2 = 20 \lg(P/P_0) \quad (A.5)$$

де I і P відповідно інтенсивність і звуковий тиск в даній точці, а I_0 і P_0 – інтенсивність і звуковий тиск порогу чутності.

Рівень інтенсивності звуку L , та рівень звукового тиску L_p належать до фізіологічних характеристик шуму [25]. Рівнями інтенсивності звуку зазвичай оперують при виконанні акустичних розрахунків, а рівнями звукового тиску – при вимірюванні шуму, оцінці його дії на людину, оскільки орган слуху чутливий не до інтенсивності звуку, а до звукового тиску [25].

В таблиці А1 наведені рівні інтенсивності звуку для деяких джерел шуму.

Таблиця А1 – Рівні інтенсивності звуку для деяких джерел шуму [24]

Джерело шуму	L, дБ
Шум зимового лісу в тиху погоду	2-4
Шепіт на відстані 1 м	40
Робота металорізального верстата	80-100
Робота пневмокомпресора на відстані 1 м	120
Шум реактивного двигуна літака на відстані 2 м	120-140

Крім таких фізіологічних характеристик шуму як рівня інтенсивності звуку, та рівня звукового тиску, важливе значення має часова характеристика впливу шуму на працюючих [25].

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено тепер з повною достовірністю. Ступінь такого впливу, переважно, залежить від

рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини [24]. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. Так, за даними медиків дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо [25].

Постійні шуми – це шуми рівень яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюються не більше ніж на 5 дБА при вимірюваннях на часовій характеристиці “повільно” шумоміра за шкалою «А»,

Непостійні – рівень шуму яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюється більш ніж на 5 дБА [25].

Непостійні шуми поділяються на [24]:

- а) мінливі, рівень яких безперервно змінюється у часі;
- б) переривчасті, рівень шуму яких змінюється ступінчасто на 5 дБА і більше при вимірюваннях на часовій характеристиці “повільно” шумоміра за шкалою «А», при цьому довжина інтервалів, під час яких рівень залишається сталим, становить 1 сек. і більше;
- в) імпульсні, які складаються із одного або декількох звукових сигналів, кожен із яких триває менше 1 сек., при цьому рівні шуму у дБА, виміряні на часових характеристиках «імпульс» та «повільно» шумоміра за шкалою «А», відрізняються не менше ніж на 7 дБА [24].

До засобів індивідуального захисту від шуму належать [25]:

- протишумні навушники, які закривають вушну раковину;
- протишумні вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід;
- протишумні шоломи – закривають усю голову. Їх застосовують у сполученні з навушниками [25];
- протишумні костюми [25].

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– застосування малошумного обладнання, заміна металевих частин на пластмасу, установка глушителей і т. д.;– установка обладнання на демпфіруючих прокладках;– розміщення джерел шуму в шкірі, приміщеннях і т. д. зі звукоізоляцією або звукопоглинанням;– установка “антизвуку”, тобто джерела, рівного за величиною і протилежного за фазою звуку – архітектурно-планувальні методи (розміщення будівель, обладнання, захисні зелені смуги, екрани і т. д.);– звукоізолюючі кабіни, акустичні екрани місць роботи;– оснащення шумних машин і технологій засобами дистанційного телеавтоматичного управління [25].

					Арк.
					69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	