

УДК 621.317.38-52: 697.11: 37.091.6 (047.31)

КП

№ держреєстрації 0115U000664с

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
(СумДУ)

40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2
тел. (0542) 33-54-79 факс (0542) 33-54-79

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д.ф.-м.н., професор

_____ А. М. Черноус

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Розробка автоматизованої системи моніторингу та короткострокового
прогнозування теплоспоживання для ефективного управління енергоспоживанням
об'єктів МОН України
(заключний)

Начальник НДЧ
канд. ф.-м. наук, снс

Д.І. Курбатов

Керівник НДР
канд. техн. наук, доцент

М.І. Сотник

2016

Рукопис закінчено 20 грудня 2016 р.
Результати цієї роботи розглянуто Вченою радою СумДУ, протокол від
2016.12.23 № 4

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, д. т. н., доцент		М.І. Сотник (реферат, вступ, розділи 1-9, висновки)
	(2016.12.20)	
Молодший науковий співробітник, аспірант		К.А. Чайка (вступ, розділи 1-9)
	(2016.12.20)	
Молодший науковий співробітник, аспірант		О.М. Молошний (розділи 2-5,8-9)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		Р.С. Науменко (розділ 1-4,7)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		С.О. Чернишов (розділ 2-4)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		С.Н. Демченко (розділ 2-4)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		В.Л. Влізько (розділ 2-4)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		І.М. Феденченко (розділ 5)
	(2016.12.20)	
Лаборант, студент		Т.М. Денисенко (розділ 5)
	(2016.12.20)	

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 207 сторінок, 100 рисунки, 46 таблиць, 4 додатки, 49 джерел.

Об'єкт дослідження – побудова системи енергоменеджменту об'єктів МОН України.

Предмет дослідження – науково-технічні рішення для створення системи енергоменеджменту.

Мета роботи - створення підґрунтя та науково-технічних рішень для запровадження системи енергоменеджменту об'єктів МОН України, що базуються на детальному аналізі дотримання санітарно-гігієнічних норм, моделей енергоспоживання будівель, та оптимальних рішеннях щодо диверсифікації первинних енергоресурсів. Підвищення ефективності управління системою енергоменеджменту об'єктів МОН України на основі відповідної системи підтримки прийняття рішень.

Наукова новизна результатів роботи полягає у розвитку методології системи енергоменеджменту галузі освіти. Реалізація системи енергоменеджменту в галузі освіти на базі міжнародного стандарту ISO 50001:2011 та відсутність аналогів подібних в Україні в поєднанні з системним підходом до питань управління енерговикористання галузі, розвитком методів енергетичної сертифікації та методів поглибленого енергоаудиту забезпечує очікування виконання проекту на світовому рівні. Наукова цінність також полягає у створенні технології проведення енергоаудиту та прийняття ефективних рішень з використанням системи підтримки прийняття рішень (СППР), методики проведення енергетичних обстежень для об'єктів бюджетної та соціальної сфери, автоматизованого програмного комплексу моніторингу, контролю та короткострокового прогнозування споживання теплової енергії на об'єктах МОН, методики визначення базового рівня енергоспоживання будівель при визначенні економічної ефективності заходів підвищення енергоефективності, методичних основ для комплексного аналізу ефективності роботи систем теплопостачання закладів освіти, методичних рекомендацій щодо прийняття рішень в управлінні системою енергоменеджменту на базі СППР.

Передбачається використання результатів досліджень для побудови системи енергетичного менеджменту у галузі освіти на прикладі реалізованих пілотних моделей в НТУУ «КПІ», НАУ, СумДУ та містах Сумської області, закладах МОН України. Результати досліджень складають наукову та апробовану методичну базу для рішення задач підвищення рівня ефективності енерговикористання об'єктів галузі освіти та можуть бути використані в інших галузях при: розробці нормативних документів з питань оцінки енергоефективності будівель, проведенні енергетичного аудиту, побудові системи енергоменеджменту галузей та установ; вдосконаленні рейтингової системи оцінки якості освітніх послуг ВНЗ, шляхом введення «індексу енергоефективності»; при вирішенні задач моніторингу, аналізу та планування витрат на енергоносії.

СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛОМАСООБМІН, СИСТЕМА ОБІГРІВУ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ...	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕНЬ	9
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ ТА ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ ТИПОВОЇ АУДИТОРІЇ З РАДІАТОРНИМИ ПРИЛАДАМИ ОБІГРІВУ ...	14
2.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень	15
2.2 Аналіз результатів числового моделювання теплового стану приміщення.....	16
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ, ЩО ОБІГРІВАЄТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛА ПІДЛОГА»	19
3.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень	20
3.2 Аналіз та обговорення результатів числового моделювання теплового стану приміщення з системою обігріву «тепла підлога»	24
4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ ТА ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ, ЕЛЕМЕНТИ ЯКИХ ОБІГРІВАЮТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛОВА ЗАВІСА»	29
5 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ, ЩО ОБІГРІВАЄТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛА СТІНА»	51
5.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень	51
5.2 Аналіз та обговорення результатів числового моделювання теплового стану приміщення з системою обігріву «тепла стіна»	59
6 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ЛЕБЕДИНСЬКОГО МЕДИЧНОГО УЧИЛИЩА ІМЕНІ ПРОФЕСОРА М. І. СІТЕНКА ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ.....	73
6.1 Аналіз обсягів споживання ПЕР.....	73
6.2 Порівняльний аналіз обсягів споживання ПЕР з нормованими на досліджуваному об'єкті	77
6.3 Тепловізійне обстеження огороджуючих конструкцій будівлі	82
6.4 Розрахунковий аналіз теплового балансу будівлі.....	88
6.5 Визначення основних видів втрат теплової енергії на досліджуваному об'єкті	89
6.6 Розроблення енергозберігаючих заходів з економії ПЕР	95
6.7 Розрахунковий аналіз заходів в системі теплопостачання	97
7 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МОН УКРАЇНИ У М. СУМИ	107
7.1 Вивчення проектної документації.....	108

7.2 Вивчення складу ПЕР, що використовуються на досліджуваному об'єкті	110
7.3 Тепловізійне обстеження систем тепlopостачання, замір температури зовнішніх огорожувальних конструкцій із визначенням місць необхідного утеплення за допомогою тепловізора.....	117
7.4 Перевірка відповідності об'єкту вимогам енергозбереження, чинних на території України	119
7.5 Визначення відповідності величини фактичного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій до нормативного значення	121
7.6 Розрахунковий аналіз теплового балансу будівлі.....	123
7.7 Розроблення енергозберігаючих заходів з економії ПЕР	137
7.8 Фінансово-економічна оцінка заходів з енергозбереження.....	150
7.9 Оцінка рівня зниження викидів CO ₂ за рахунок впровадження розроблених енергозберігаючих заходів	154
8 НАСТАНОВА ЩОДО КОРИСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЄЮ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛЯМИ БЮДЖЕТНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ СУМСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ.....	157
8.1 Запуск системи моніторингу.....	157
8.2 Авторизація користувача на сайті системи моніторингу.....	157
8.3 Введення та редагування даних.....	158
8.4 Перегляд середньодобових даних з тепlopунктів будівель споживачів теплової енергії	163
8.5 Відображення даних про погодні умови.....	165
8.6 Прогнозування та відображення даних моніторингу	167
8.7 Відображення сумарної інформації за всіма лічильниками та організаціями	169
9 ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС У ЕЛЕКТРИЧНОМУ КОЛІ ЯК АНАЛОГ ТЕПЛООБМІНУ ТА ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ ПРИМІЩЕННЯ.....	171
ВИСНОВКИ	180
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	181
Додаток А	185
Додаток Б.....	189
Додаток В	190
Додаток Г	191

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Основні позначення:

T^V	осереднена по об'єму температура повітря в приміщенні в момент часу прогрівання, K
μ_t	турбулентна в'язкість
λ_t	турбулентна теплопровідність
$q_{\text{будівлі}}$	розрахункова або фактична питома витрата теплоти будівлею, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ або $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$
E_{max}	максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$
$Q_{\text{оп}}$	величина споживаної теплової потужності будівлі за весь опалювальний період, $\text{кВт}\cdot\text{год}$
$R_{q_{\text{min}}}$	мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$.
Q_0	тепловтрати через огороджувальні конструкції будівлі (стіни, вікна, перекриття горища, підлога та вхідні двері), кВт
$V_{\text{п}}$	внутрішній об'єм приміщення (будівлі), м^3
$\delta_{\text{ут}}$	товщини теплоізоляційного шару, м
$Q_{\text{Ек.рік}}$	економічний ефект від утеплення огороджувальних конструкцій за опалювальний період, Гкал

Скорочені позначення:

СППР	Системи підтримки прийняття рішень
ПЕЕ	Процеси енергоспоживання та енергозбереження
ВНЗ	Вищий навчальний заклад
ПЕР	Паливно-енергетичні ресурси
ІТП	Індивідуальний тепловий пункт

ВСТУП

Сьогодні перед Україною гостро постала необхідність вжиття заходів з підвищення енергоефективності у всіх сферах народного господарства, в тому числі й у галузі освіти. Особливістю даної галузі є висока складова соціального та споживчого характеру, що пов'язана з використанням енергоресурсів. В той же час реалізація існуючого потенціалу енергозбереження у цій сфері пов'язана з впровадженням не лише заходів з енергоефективної модернізації, а й реалізації низки організаційних заходів, що спрямовані на створення відповідної організаційної структури, навчання користувачів усіх рівнів правилам раціонального витрачання енергоресурсів на засадах сучасних стандартів енергоменеджменту та підвищення енергоефективності.

Стратегічною метою галузі освіти в розрізі сталого розвитку, один з ключових напрямів якого – енергетична складова, є поглиблене вивчення і включення цієї тематики до всіх базових навчальних дисциплін, а також формального і неформального навчання. Освіта є основною частиною стійкого розвитку оскільки це ключовий елемент її соціального аспекту. Крім того, навчальні заклади є утримувачами матеріальної бази та споживачами енергетичних ресурсів й інші два аспекти сталого розвитку (енергетичний та економічний) відіграють важливу роль у забезпеченні якості освітніх послуг та підготовці спеціалістів, що впливатимуть своїми рішеннями і діями на розвиток окремих організацій, галузей та країни в цілому. В процесі формування змістовної сторони та організаційних механізмів сталого розвитку начальних закладів важлива сумісна діяльність представників наукової спільноти та практиків. Саме тому об'єднання зусиль провідних ВНЗ для спільного втілення концепції сталого розвитку в життя у сфері освіти є виключно необхідним.

Побудова системи енергоменеджменту об'єктів МОН на засадах сталого розвитку повинна враховувати необхідність дотримання санітарно-гігієнічних норм у приміщеннях, зокрема забезпечення нормальної кратності повітрообміну та умов комфортності, що можливо при ефективній роботі систем енергозабезпечення (опалення, вентиляція, кондиціонування) а також можливість диверсифікації джерел первинної енергії з використанням відновлювальних ресурсів.

Підвищення ефективності управління системою енергоменеджменту об'єктів МОН України має здійснюватись за допомогою автоматизації та інтелектуалізації більшості дій, зокрема по вибору та прийняттю управлінських рішень. Для здійснення цього необхідно розробити структуру системи підтримки прийняття рішень (СППР) управління системою енергоменеджменту, обґрунтувати задачі, які будуть вирішуватись. Передбачається реалізація СППР для двох рівнів управління – на рівні ВНЗ та на рівні міністерства. Все це дозволить оптимізувати процес прийняття рішень в управлінні системою енергоменеджменту об'єктів МОН України.

Одним із важливих елементів покращення ефективності управління системою енергоменеджменту повинні бути системи автоматизації процесів управління енергоспоживанням та системи підтримки прийняття рішень на їх основі. Такі

системи дозволяють підвищити оперативність вирішення задач розподілу енергоресурсів, якість рішень, що приймаються в системі управління, та знизити економічні ризики від несвоєчасних та помилкових рішень.

Впровадження системи енергоменеджменту об'єктів МОН з використанням процесів автоматизації та системи підтримки прийняття рішень (СППР) забезпечить виконання таких функцій:

- аналіз дотримання санітарно-гігієнічних норм в будівлях;
- розробка методологічних основ визначення базового рівня енергоспоживання будівель при визначенні економічної ефективності заходів підвищення енергоефективності, що є актуальним при їх реалізації;
- автоматизований збір, обробку та централізоване зберігання енергетичних паспортів, отриманих в результаті проведених енергетичних обстежень освітніх установ, даних про обсяги споживання енергоресурсів; даних про хід реалізації програм енергозбереження та підвищення енергоефективності; даних про фактичне споживання енергоресурсів;
- забезпечення оперативності вирішення задач розподілу енергоресурсів, якості рішень, що приймаються в системі управління, та зниження економічних ризиків від несвоєчасних та помилкових рішень.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕНЬ

Будівля являє собою складну архітектурно-конструктивну систему з різноманітним складом її елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, в яких протікають різні по фізичній суті процеси поглинання, перетворення і перенесення теплоти.

Під дією різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря і сонячної радіації приміщення через огорожувальні конструкції в зимовий час втрачає, а в літній отримує теплоту. Гравітаційні сили, дія вітру і вентиляція створюють перепади тисків, що призводять до перетікання повітря між сполученими приміщеннями і до його фільтрації через пори матеріалів і нещільності огорожень. Атмосферні опади, волого виділення в приміщеннях, різниця вологості внутрішнього і зовнішнього повітря призводять до вологообміну через огороження, під впливом якого можливе зволоження матеріалів та погіршення їх теплозахисту.

Зовнішні огорожувальні конструкції захищають приміщення від несприятливих впливів клімату, спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря підтримують у приміщенні протягом усього року певні параметри внутрішнього середовища. Сукупність усіх інженерних засобів та пристроїв, що забезпечують заданий тепловий режим у приміщеннях будинку, називається системою кліматизації будівлі. Тепловим режимом будівлі називається сукупність усіх факторів і процесів, що визначають теплову обстановку в його приміщеннях. Теплова ефективність будівлі характеризується витратами енергії на його кліматизацію, віднесеними до розрахункового періоду часу.

Завдання забезпечення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму являє собою організацію взаємодіючих і взаємопов'язаних теплових потоків у складній архітектурно-конструктивній системі з різноманітним складом її елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, кожен з яких є енергоносієм і енергопередатчиком. Принциповою особливістю цієї системи є та обставина, що будівля як єдина енергетична система представляє не просто сукупність цих елементів, а особливе їх з'єднання, що додає всій системі в цілому нові якості, відсутні у кожного з елементів.

В даний час для побудови та реалізації математичних моделей складних енергетичних об'єктів, до яких може бути віднесена будівля, використовується методологія системного підходу.

Системний підхід в розглянутому випадку побудови математичної моделі теплового режиму будівлі передбачає виконання таких етапів [3]:

1. Виділення із загальної енергоспоживаючої системи розглянутого об'єкта, наприклад, виділення будівлі з мікрорайону, цеху в будівлі заводу або окремого корпусу, приміщення у житловому або громадському будинку.

2. З'ясування складу елементів, їх внутрішньої структури та видів зв'язків між ними.

3. Розчленування об'єкта за допомогою методу декомпозиції на простіші

елементи та його подальше відновлення за допомогою теорії графів.

4. Розробка системи взаємопов'язаних математичних моделей окремих елементів будівлі та узагальненої математичної моделі теплового режиму будівлі в цілому.

Технічний прогрес приводить до появи великого різноманіття архітектурних, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель із суттєво різними особливостями формування теплового режиму в приміщеннях, зумовленими їх технологічним призначенням і вживаними системами регулювання мікроклімату. Основною передумовою для використання в рамках системного підходу методу декомпозиції є наявність обмеженого числа основних типових елементів, з яких складається будівля як єдина теплоенергетична система.

Декомпозиція будівлі як єдиної енергетичної системи може бути представлена трьома основними енергетично взаємопов'язаними підсистемами [3]:

1. Енергетичним впливом зовнішнього клімату на оболонку будівлі.

2. Енергією, що міститься в оболонці будівлі, тобто в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі.

3. Енергією, що міститься всередині об'єму будівлі, тобто у внутрішньому повітрі, внутрішньому обладнанні, внутрішніх огорожувальних конструкціях тощо. При необхідності кожна із зазначених підсистем може бути представлена методом декомпозиції більш дрібними енергетично взаємопов'язаними елементами.

Отже математична модель будівлі як єдиної енергетичної системи буде складатися з трьох підмоделей [3]:

1. Математичної моделі зовнішнього клімату.

2. Математичної моделі теплопередачі через оболонку будівлі.

3. Математичної моделі променистого і конвективного теплообміну в приміщеннях будівлі.

У відповідності з природою досліджуваного процесу формування теплового режиму приміщення та будівлі будемо розрізняти імовірнісні та детерміновані математичні моделі, які описують цей процес. Імовірнісні математичні моделі зазвичай описують стохастичні процеси, які відображають закони розподілу дискретних і безперервних змінних, а також розподіл статистик (вибірок). Детерміновані моделі зазвичай описують процес без застосування статистичних імовірнісних розподілів. Але з цього не обов'язково випливає, що явища, які лежать в їх основі не мають статистичної природи. Це говорить тільки про те, що в цьому випадку оперують з середніми значеннями, а не з розподілами величин (вибірками). Введемо наступну класифікацію імовірнісних математичних моделей: будемо розрізняти частково імовірнісні математичні моделі теплового режиму будівлі, в яких зміна параметрів зовнішнього клімату розглядається як стохастичний процес, а всі інші фактори і процеси – як детерміновані і імовірнісні математичні моделі, в яких, крім параметрів зовнішнього клімату, розглядаються стохастичні та інші фактори і процеси.

Таким чином, визначаємо наступну класифікацію імовірнісних і детермінованих математичних моделей теплового режиму приміщення [3]:

1. Математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта з

розподіленими параметрами. Сюди будемо відносити математичні моделі, які описують температурне поле в плані і по висоті приміщення і окремо враховують променистий і конвективний теплообмін у приміщенні.

2. Математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта з частково розподіленими параметрами. Сюди будемо відносити математичні моделі, які роздільно враховують променистий і конвективний теплообмін у приміщенні, а температура повітря приймається однаковою по об'єму приміщення.

3. Математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта із зосередженими параметрами. Сюди будемо відносити математичні моделі, які описують теплообмін в приміщенні без поділу на конвективну і променисту складові, а температура повітря приймається однаковою по об'єму приміщення.

Наведені вище математичні моделі використовують при проектуванні енергоефективних будівель.

Мета проектування і будівництва енергоефективних будівель полягає в більш ефективному використанні енергоресурсів, що витрачаються на енергопостачання будівлі, шляхом застосування інноваційних рішень, які можна реалізувати технічно, обґрунтовані економічно, а також прийнятні з екологічної та соціальної точок зору і не змінюють звичного способу життя. Пріоритетність при виборі енергозберігаючих технологій мають технічні рішення, одночасно сприяють поліпшенню мікроклімату приміщень і захисту навколишнього середовища.

Методологія проектування енергоефективної будівлі повинна ґрунтуватися на системному аналізі будівлі як єдиної енергетичної системи. Подання енергоефективної будівлі як суми незалежних інноваційних рішень порушує принципи системності та призводить до втрати енергетичної ефективності проекту. Проектування енергоефективної будівлі відповідно до принципів системного аналізу включає в себе три етапи [3]:

- побудова математичної моделі тепломасообмінних процесів в будівлі, тобто опис їх на мові математики;

- вибір цільової функції, тобто визначення обмежуючих умов і формулювання оптимізаційної задачі в залежності від мети оптимізації (зниження витрат енергії на опалення, зниження настановної потужності обладнання, зниження витрат енергії на кліматизацію в річному циклі і т.д.);

- рішення поставленої оптимізаційної задачі.

Відповідно до принципів системного аналізу доцільно при проектуванні енергоефективної будівлі розглядати дві незалежні енергетичні підсистеми [3]:

- зовнішній клімат як джерело енергії;

- будівля як єдина енергетична система.

Аналіз першої підсистеми дозволяє обчислити енергетичний потенціал зовнішнього клімату та визначити методи його використання для тепло- та холодостачання будівлі. Аналіз другої підсистеми дозволяє визначити характеристики архітектурно-конструктивних, теплотехнічних або енергетичних показників будівлі як єдиної енергетичної системи.

Прийнята методика побудови математичної моделі теплового режиму будівлі як єдиної енергетичної системи передбачає декомпозицію будівлі на три основні

енергетично взаємопов'язані підсистеми (рис. 1.1):

- енергетичний вплив зовнішнього клімату на оболонку будівлі;
- енергія, накопичена (міститься) в оболонці будівлі, тобто в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі;
- енергія, накопичена (міститься) усередині об'єму будівлі, тобто у внутрішньому повітрі, внутрішньому обладнанні, внутрішніх огорожувальних конструкціях і т.д.

На рис. 1.1 наведено дві енергетичні підсистеми будівлі.

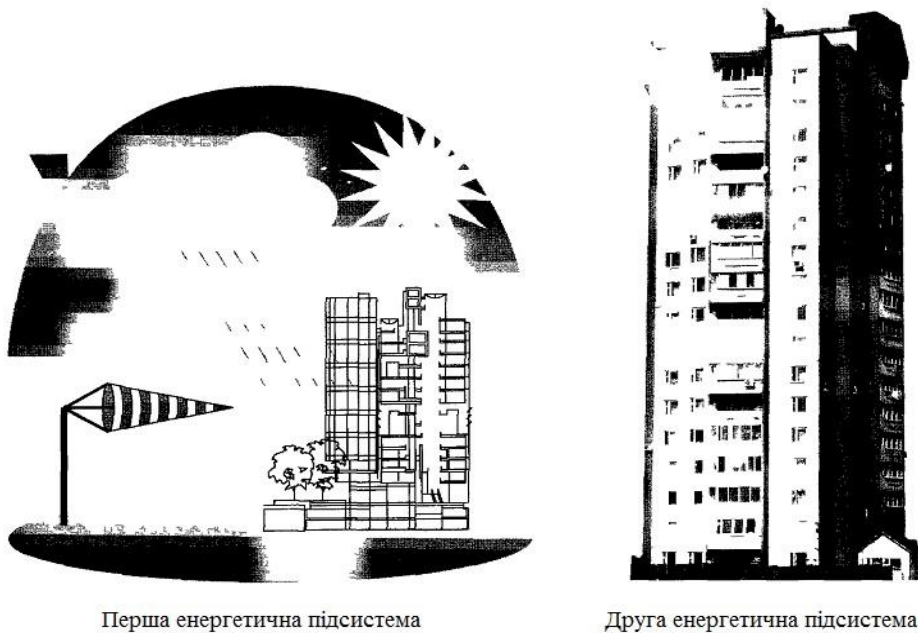


Рисунок 1.1 – Дві енергетичні підсистеми будівлі

При необхідності кожна із зазначених підсистем може бути представлена методом декомпозиції більш дрібними енергетично взаємопов'язаними елементами.

Проектування енергоефективної будівлі полягає в оптимізації трьох енергетично взаємопов'язаних підсистем і будівлі в цілому як єдиної енергетичної системи і включає в себе [3]:

- визначення оптимальних архітектурно-планувальних, теплотехнічних або енергетичних параметрів окремих елементів будівлі з урахуванням взаємозв'язку між ними;
- визначення оптимальних архітектурно-планувальних, теплотехнічних або енергетичних параметрів будинку як єдиної енергетичної системи.

При проектуванні будівель приймаються архітектурні та інженерні рішення щодо підвищення енергоефективності.

Архітектурні рішення включають в себе:

- вибір місцезнаходження будівлі з урахуванням кліматичних особливостей, рельєфу місцевості та наявної забудови в районі будівництва;
- загальну архітектурно-планувальну концепцію будівлі;
- вибір форми та орієнтація будинку;
- вибір скління (площі та розміщення світлових прорізів) та сонцезахисту;
- вибір конструкції та матеріалів зовнішнього облицювання;

- внутрішнє планування будівлі;
- вибір схеми організації освітлення.

Інженерні рішення включають в себе:

- вибір джерел теплопостачання, в тому числі можливість використання нетрадиційних джерел енергії;
- вибір системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря;
- вибір конструкції та матеріалів зовнішніх огорожень;
- вибір системи автоматичного управління інженерним обладнанням.

Очевидно, що кращим результатом роботи архітектора та інженера є оптимальна енергоефективна будівля, яка забезпечує мінімум витрат енергії в системах його кліматизації. Сучасні методи математичного системного аналізу дозволяють знаходити оптимальні архітектурні та інженерні рішення проектування енергоефективної будівлі.

Вплив зовнішнього клімату на тепловий режим будівлі і витрати енергії на опалення та охолодження приміщення полягає в комплексному впливі окремих метеорологічних показників: температури, вологості, швидкості і напрямку руху зовнішнього повітря, прямий і розсіяною радіації. Основною вимогою, що пред'являються до математичної моделі показників зовнішнього клімату, є облік їх спільного поєднання. Можливі три підходи до побудови математичної моделі сукупності показників зовнішнього клімату: детермінований, імовірнісний і детерміновано - імовірнісний. Перший підхід заснований на використанні реального поєднання сукупності показників зовнішнього клімату кожного географічного пункту за багаторічний період. Сутність цього підходу полягає в наступному. В архівах метеостанції зібрані за багато років щогодинні і термінові показники клімату для даного географічного пункту. З метою використання в теплотехнічних розрахунках ці дані систематизують в табличну форму. У таблицю показників зовнішнього клімату заносять з архіву значення показників за весь період спостережень. Після цього масиви чисел з таблиці заносять у зовнішню пам'ять комп'ютера. При розрахунках теплового режиму будівлі значення показників зовнішнього клімату викликаються із зовнішньої пам'яті комп'ютера в оперативний пристрій, що виконує розрахунок. При цьому можуть бути викликані значення показників зовнішнього клімату усього періоду або його окремих частин (наприклад, холодний період - січень, теплий період - липень і т.д.). Розглянута модель є, на наш погляд, найбільш адекватною моделлю клімату для даного географічного пункту. Використання такої моделі дозволяє побудувати гістограму розподілу частот вихідного показника (навантаження на систему регулювання теплового режиму, температури приміщення, температури внутрішнього повітря і т.д.). Для побудови гістограми на осі ординат наносять розрахункові інтервали часу (кроки за часом), а на осі абсцис – можливі (очікувані) значення вихідного показника.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ ТА ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ ТИПОВОЇ АУДИТОРІЇ З РАДІАТОРНИМИ ПРИЛАДАМИ ОБІГРІВУ

Для України актуальною задачею сьогодення є забезпечення підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, в тому числі і теплової енергії. Майже 30 % всієї одержуваної теплової енергії в Україні використовують приватні домовласники, при цьому більше 80 % цієї енергії витрачається на опалення приміщень [1]. Забезпечення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму передбачає узгодження взаємодіючих і взаємопов'язаних теплових потоків у складній архітектурно-конструктивній системі, яка характеризується різноманіттям складових її елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, причому кожна з цих складових може бути як енергоносієм так і енергопередавачем. Принциповою особливістю даної системи є те, що будівля як єдина енергетична система представляє не просто сукупність цих елементів, а певне їх поєднання, що додає всій системі в цілому нових якостей, відсутніх у кожного окремого елемента [2]. Вирішення задачі підвищення ефективності використання теплової енергії вимагає врахування великої кількості факторів і потребує удосконалення методів оцінювання та контролю рівня ефективності функціонування систем теплозабезпечення.

В даний час для побудови та реалізації математичних моделей складних енергетичних об'єктів, до яких може бути віднесена будівля, використовується методологія системного підходу [3]. Декомпозиція будівлі як єдиної енергетичної системи може бути представлена трьома основними енергетично взаємопов'язаними підсистемами [4]: енергетичним впливом зовнішнього клімату на оболонку будівлі; енергією, що міститься в оболонці будівлі, тобто в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі; енергією, що міститься всередині об'єму будівлі (у внутрішньому повітрі, внутрішньому обладнанні, внутрішніх огорожувальних конструкціях тощо). Отже математична модель будівлі як єдиної енергетичної системи буде складатися з трьох підмоделей: математичної моделі зовнішнього клімату, математичної моделі теплопередачі через оболонку будівлі та математичної моделі променистого і конвективного теплообміну у приміщеннях будівлі [5]. Моделі теплового режиму використовуються для розрахунку термодинамічних параметрів будівельних конструкцій з урахуванням теплопровідних включень, вологісного стану, оцінки теплоспоживання, вибору оптимальної теплоізоляції [6]. Але повне врахування зазначених факторів призводить тільки до ускладнення розрахунків, тому для моделей застосовують спрощення та припущення [7].

Першим етапом впровадження системи збереження теплової енергії в будівлях є енергетичний аудит, який, передусім, передбачає проведення значної кількості трудомістких вимірювань, розрахунків, порівняння різних варіантів та вибору найбільш раціонального. Проведення таких робіт передбачає наявність дорогого обладнання для вимірювань і може супроводжуватися труднощами, а іноді, навіть, неможливістю проведення вимірювань та технічних розрахунків [8]. Тому, у світовій практиці широко використовується чисельне комп'ютерне моделювання, яке

дозволяє розглянути значну кількість варіантів під час проектування та обрати оптимальний із точки зору енергоефективності, комфорту та безпеки [7]. Також даний метод дозволяє змоделювати вже існуючий об'єкт, оцінити його ефективність роботи та знайти шляхи модернізації.

2.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень

Для досягнення поставленої мети використовувався програмний комплекс ANSYS CFX університетської ліцензії (дослідження проводилися у Сумському державному університеті). Для проведення чисельного експерименту була створена тривимірна модель приміщення, наближена до реальних умов, з габаритними розмірами (10×6×3 м). При цьому враховувалася наявність меблів (шафи, дивану, стола, книжкової полиці, тумбочки), вікон (1,6×1,4 м), дверей (2,1×0,9 м) та опалювальних приладів. Під час створення тривимірної моделі приймалися наступні спрощення (ідеалізація моделі): не враховувався вплив дрібних об'єктів інтер'єру, не враховувалася наявність підвіконня та підводів до опалювальних приладів. У якості опалювальних приладів було спроектовано два восьмисекційні опалювальних прилади радіаційно-конвективного способу передачі теплоти.

Розрахунковою областю в даній розрахунковій задачі є внутрішній об'єм у приміщенні, який займає повітря (рис. 2.1), виключаючи його заповнення об'єктами (меблями, опалювальними приладами). При створенні розрахункової області були виділені дві характерні зони: роз'ємна зона вікна та зовнішніх дверей. Відокремлення цих зон пов'язано з тим, що вихідні дані для них відрізняються порівняно з іншими місцями розрахункової області.

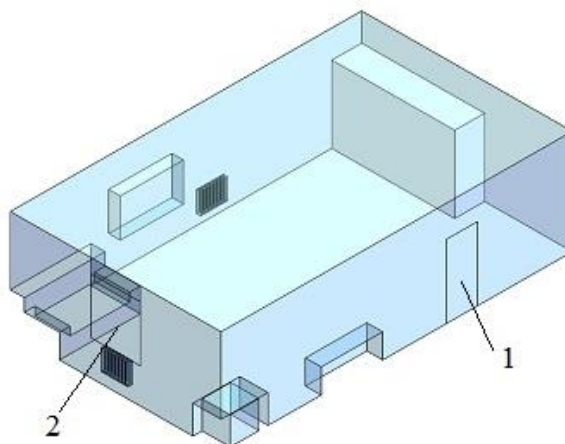


Рисунок 2.1 - Розрахункова область: 1 – роз'ємна зона зовнішніх дверей; 2 – роз'ємна зона вікна

Для отриманої розрахункової області була побудована блочно-структурована гексаедрна сітка, яка нараховувала 1,7 мільйонів комірок. Вибір такого типу сітки пояснюється тим, що дана геометрична модель розрахункової області представляє собою сукупність достатньо правильних елементарних об'ємів, для яких прийнятна

впорядкована блочна структура [9].

Для математичного визначення поставленої задачі задавалися умови однозначності (крайові умови), що містять: геометричні умови, які характеризують форму і розміри розрахункової області; фізичні умови, які характеризують фізичні властивості тіла (густина, в'язкість, теплопровідність тощо); часові умови, які формують особливості перебігу процесу в часі (задаються для нестационарного процесу); граничні умови, що характеризують умови протікання процесу на кордонах розрахункової області [10]. У якості граничних умов задавалися граничні умови першого роду (розподіл температур на поверхні твердих стінок розрахункової області). Температура стелі, підлоги та стін приймалася $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, опалювальних приладів – $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, вікон і дверей – $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для вирішення задачі використовувалася модель теплообміну в постановці (Thermal Energy) [10], що включає сукупність транспортних рівнянь нерозривності, імпульсу, повної енергії. Під час розрахунку використовувалася модель гравітації, яка дозволяє врахувати процес вільної (природної) конвекції в замкнутому об'ємі, що обумовлена дією масових (об'ємних) сил. Модель переміщення повітря в розрахунковій області описувалася рівняннями Нав'є-Стокса осередненими за числом Рейнольдса.

2. 2 Аналіз результатів числового моделювання теплового стану приміщення

В результаті числового дослідження теплового стану приміщення були отримані основні термодинамічні параметри в розрахунковій області. На рис. 2.2 наведений розподіл температур в об'ємі приміщення (стан теплової рівноваги).

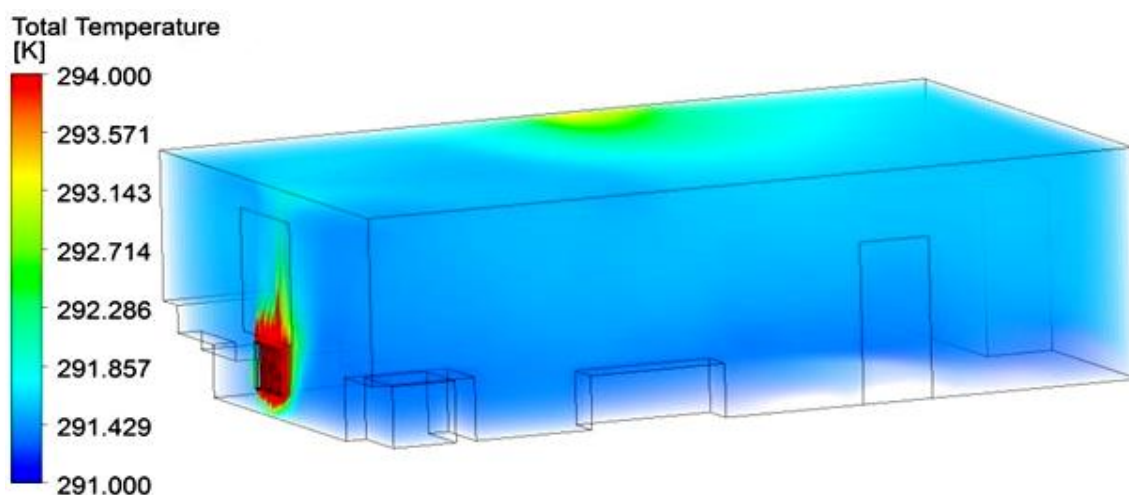


Рисунок 2.2 - Розподіл температури по об'єму приміщення

Аналіз отриманих даних показує: по-перше, температура повітря зростає з висотою приміщення, що обумовлено термогравітаційною конвекцією; по-друге, температура повітря знижується поблизу твердих стінок, що мають порівняно нижчу температуру (вікно, стеля, стіни).

Розподіл температури в об'ємі приміщення тісно пов'язаний із характером руху

повітря, його швидкістю, зонами вихроутворення тощо. Аналіз розподілу швидкостей руху повітря в об'ємі приміщення в стаціонарному режимі (рис. 2.3) свідчить про існування застійних зон, в яких швидкість повітря знаходиться в межах $0 \dots 0,1$ м/с, що в свою чергу є причиною тривалого прогрівання приміщення. В реальних умовах опалювальні прилади частково можуть бути загороджені декоративними панелями, меблями, елементами декору, що призводить до зниження швидкості руху повітря від опалювальних пристроїв та погіршення умов теплообміну у приміщенні в цілому.

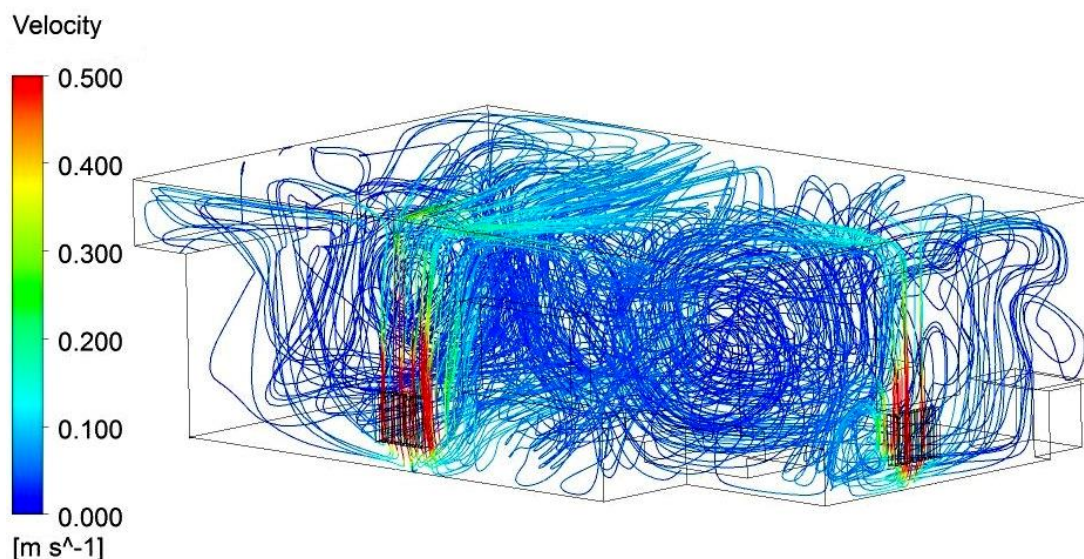


Рисунок 2.3 - Розподіл швидкостей руху повітря в об'ємі приміщення

Розподіл температур повітря з висотою приміщення є також нерівномірним (рис. 2.4). По висоті приміщення можна виділити декілька температурних зон, розміри та параметри яких обумовлюються впливом окремих конструктивних елементів та часом прогрівання приміщення.

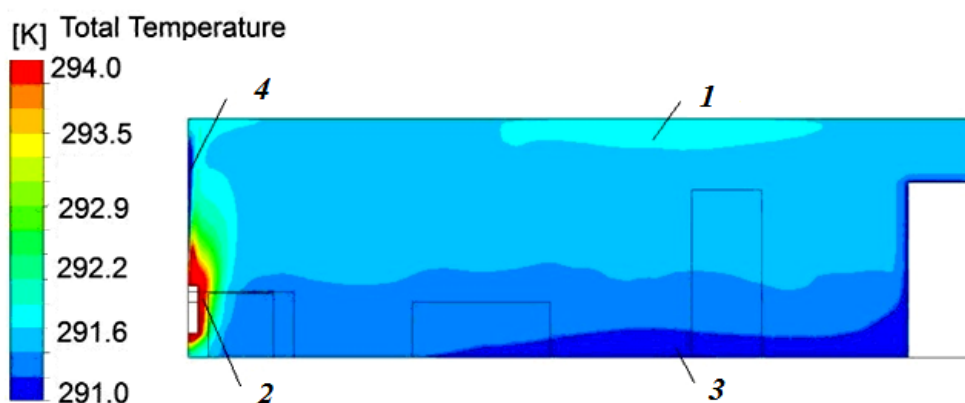


Рисунок 2.4 - Розподіл температури з висотою приміщення: 1, 2 – зона впливу опалювальних приладів, 3 – зона впливу вхідних дверей, 4 – зона впливу віконного отвору

Моделювання теплового стану приміщення здійснено також у нестационарній постановці задачі, тобто були отримані основні термодинамічні параметри в

розрахунковій області під час прогрівання приміщення. Залежність осередненої по об'єму приміщення температури від часу прогрівання приміщення (рис. 2.5) можна апроксимувати логарифмічною залежністю типу:

$$T^V = C \cdot \ln(\tau) + T_n^V, \quad (2.1)$$

де T^V – осереднена по об'єму температура повітря в приміщенні в момент часу прогрівання τ , K ; C – константа, що залежить від геометричних розмірів приміщення; τ – час прогрівання приміщення, s ; T_n^V – осереднена по об'єму температура в приміщенні до початку його прогрівання, K .

Для досліджуваного об'єкту залежність (2.1) набуває вигляду $T^V = 0,0586 \cdot \ln(\tau) + 291,25$ (достовірність апроксимації складає $R^2 = 97,42\%$).

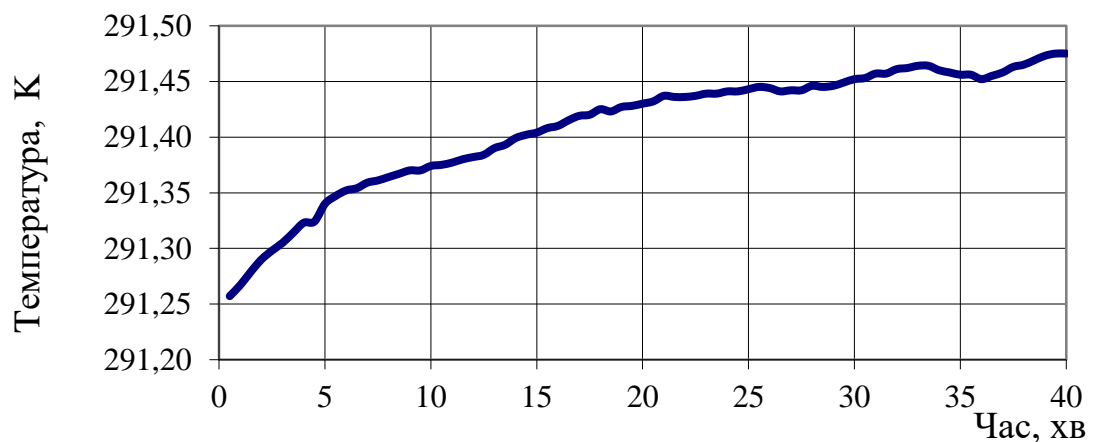


Рисунок 2.5 Прогрівання приміщення у часі

За допомогою розробленої моделі можна оцінювати дотримання санітарно-гігієнічних норм і забезпечення умов для комфортної життєдіяльності людей, а також спрогнозувати найбільш доцільний варіант проектування системи опалення з точки зору енергоефективності. Також отримані результати та подальші дослідження нестационарних процесів прогрівання приміщень можуть бути в майбутньому використані під час розробки систем автоматичного регулювання систем опалення (чергового опалення, пофасадного опалення тощо).

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ, ЩО ОБІГРІВАЄТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛА ПІДЛОГА»

У якості опалювальних пристроїв у системах опалення таких приміщень традиційно використовують опалювальні прилади конвекційного типу (радіатори і конвектори). Однак, при їх використанні заздалегідь передбачається доволі значна різниця температур між нагрівальними поверхнями і повітрям у приміщенні, що в свою чергу впливає на розподіл полів швидкостей повітряних потоків у приміщеннях. Аналіз розподілу температурних полів повітря у приміщеннях, що опалюються приладами конвекційного типу, показав їх значну неоднорідність. Тому і проблема підвищення енергетичної ефективності функціонування традиційних систем опалення та підвищення показників теплового комфорту у приміщеннях має вирішуватися впровадженням нових технологічних рішень.

Одним із варіантів підвищення ефективності використання теплової енергії у системах опалення будівель є застосування як основної панельно-променистої системи опалення [11]. Застосування таких систем із їх розташуванням на (або у) підлозі передбачає зниження температур нагрівальних поверхонь. При застосуванні таких систем обігріву створюються більш комфортні умови [12], через зміну розподілу температури по висоті приміщення (температура повітря на рівні голови людини на декілька градусів нижча ніж на рівні ніг). Також застосування систем опалення за схемою «тепла підлога» зменшує швидкість повітряних потоків у приміщенні, що опалюється [11]. Однак, не зважаючи на перераховані вище переваги, при застосуванні таких систем існують і проблемні питання щодо технології впровадження, розрахунку їх конструктивних параметрів. Урахування всіх факторів, що можуть впливати на ефективність функціонування променистої системи опалення «тепла підлога», доволі складна задача. Тому, одним із напрямів її вирішення є числове моделювання, що базується на створенні математичної моделі теплового стану приміщення. Вирішення задачі підвищення ефективності використання теплової енергії вимагає врахування великої кількості факторів і потребує удосконалення методів оцінювання та контролю рівня ефективності функціонування систем теплозабезпечення.

Забезпечення у будівлі заданого теплового режиму передбачає узгодження взаємодіючих і взаємопов'язаних теплових потоків у складній архітектурно-конструктивній системі, яка характеризується різноманіттям складових її елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, причому кожна з цих складових може бути як енергоносієм так і енергопередавачем [13]. Будівля як єдина енергетична система представляє не просто сукупність цих елементів, а певне їх поєднання, що додає всій системі в цілому нових якостей, відсутніх у кожного окремого елемента.

Відповідно до природи процесу формування теплового режиму приміщення розрізняють імовірнісні та детерміновані математичні моделі, які описують тепловий стан будівлі [13]. Імовірнісні математичні моделі, зазвичай, описують стохастичні процеси, які відображають закони розподілу дискретних змінних. Детерміновані

моделі описують процес без застосування статистичних імовірнісних розподілів. Розрізняють також частково імовірнісні математичні моделі теплового режиму будівлі, в яких зміна параметрів зовнішнього клімату розглядається як стохастичний процес, а всі інші фактори і процеси – як детерміновані та імовірнісні математичні моделі, в яких, крім параметрів зовнішнього клімату, розглядаються стохастичні та інші фактори і процеси [14,15].

Проведений аналітичний огляд тенденцій розвитку, технічного рівня систем промислового опалення будівель показав недостатність інформації стосовно методики розрахунку систем опалення «теплою підлогою». З розвитком математичних методів числового моделювання з'явилася можливість підвищити точність при проведенні розрахунків теплових параметрів таких систем. Широко використовуване в світовій практиці числове комп'ютерне моделювання дозволяє розглянути значну кількість варіантів під час проектування та обрати оптимальний, з точки зору енергоефективності, комфорту, безпеки тощо. Також даний метод дозволяє змоделювати вже існуючий об'єкт, оцінити його ефективність роботи та знайти шляхи подальшої модернізації.

3.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень

При оцінці ефективності функціонування систем теплотабезпечення використовують інтегральний якісний показник теплового комфорту людини. Тепловий комфорт визначається мікрокліматом у приміщенні, який у свою чергу характеризується температурами повітря і внутрішніх поверхонь приміщення, вологістю повітря і швидкістю його руху [12]. Нормальне тепловідчуття людини визначається комплексним показником, який враховує температуру повітря в приміщенні і середню радіаційну температуру. Під радіаційною температурою розуміють осереднену за площею температуру внутрішніх поверхонь приміщення і опалювальних приладів. Значення параметрів мікроклімату слід обирати залежно від призначення приміщення, категорії робіт і пори року, виходячи з вимог комфорту для людей, що знаходяться всередині, і штатного протікання технологічного процесу.

Підтримання заданих параметрів мікроклімату у приміщенні на відповідному рівні в холодний період забезпечує система опалення. За способом тепловіддачі розрізняють конвективні і променисті (радіаційні) системи опалення. До конвективних відносять систему опалення, при якій температура повітря підтримується на більш високому рівні, ніж радіаційна температура (у цьому випадку найбільш поширеними нагрівальними приладами є радіатори і конвектори різних конструкцій). Променистим вважають опалення, при якому радіаційна температура приміщення перевищує температуру повітря (до промислового опалення відносяться інфрачервоне опалення та опалення, яке здійснюється за допомогою вбудованих панелей із нагрівальними елементами у вигляді труб або електричних кабелів) [11].

3.1.1 Формулювання математичної моделі задачі

При дослідженнях теплового стану приміщення, зазвичай, використовуються розрахункові моделі складного теплообміну, які описують процеси конвективного теплообміну (спільний процес перенесення теплоти конвекцією та теплопровідністю), що супроводжуються тепловим випромінюванням (перенесення теплоти електромагнітними хвилями, зумовлене виключно температурою і оптичними властивостями випромінювального тіла). За променистого теплообміну відбувається подвійне перетворення енергії: спочатку внутрішня енергія тіла перетворюється на променисту енергію, яка передається в середовище, доки на своєму шляху не натрапить на непрозоре тіло, у якому відбувається процес перетворення променистої енергії на внутрішню енергію.

Дослідження теплового стану приміщення в роботі проводилося числовими методами, як розв'язання задачі радіаційно-конвективного теплообміну, для вирішення якої використовувалась модель теплообміну в постановці Thermal Energy [9], що включає сукупність транспортних рівнянь нерозривності, імпульсу, повної енергії. Рівняння нерозривності, імпульсу, повної енергії в операторному вигляді:

– рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0, \quad (3.1)$$

– рівняння імпульсу

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla(\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \tau + S_M, \quad (3.2)$$

– рівняння повної енергії

$$\frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla(\rho U h_{tot}) = \nabla(\lambda \nabla T) + \nabla(U \tau) + US_M + S_E, \quad (3.3)$$

де U – вектор швидкості $U_{x,y,z}$, τ – молекулярний тензор напруження (напруження зсуву), h_{tot} – повна ентальпія, $\nabla(U \tau)$ – складова, яка характеризує роботу сил в'язкості, US_M – складова, яка характеризує вплив зовнішніх джерел імпульсу.

Модель переміщення повітря в розрахунковій області описувалася рівняннями Нав'є-Стокса, осередненими за числом Рейнольдса [9]. Відповідно до цієї моделі швидкість U_i розкладається на дві компоненти: компонента осередненої швидкості \bar{U}_i та компонента зміни в часі u_i , а енергетичне рівняння Нав'є-Стокса, що осереднене за числом Рейнольдса набуває вигляду:

$$\frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j h_{tot}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j h} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} [U_i (\tau_{ij} - \overline{\rho u_i u_j})] + S_E. \quad (3.4)$$

При вирішенні задач радіаційно-конвекційного теплообміну модель теплообміну Thermal Energy доповнюється моделлю вихрової дифузії Eddy Diffusivity [9]. Дана розрахункова модель розроблена на основі гіпотези Бусінеска, яка враховує зростання величини гідравлічного тертя при переході від ламінарного режиму руху середовища до турбулентного. Турбулентна в'язкість визначається з урахуванням турбулентного напруження як:

$$\mu_t = - \frac{\overline{\rho u_i u_j}}{\overline{\partial u_i / \partial x_j}}, \quad (3.5)$$

де $u_i u_j$ – осереднений добуток пульсацій швидкостей по координатам; $\overline{\rho u_i u_j}$ – напруженість Рейнольдса, що характеризує турбулентне перенесення імпульсу в приграничному шарі.

Турбулентна теплопровідність визначається з урахуванням турбулентного теплового потоку як:

$$\lambda_t = - \frac{\overline{\rho c_p u_j T}}{\overline{\partial T / \partial x_j}}, \quad (3.6)$$

де $u_j T$ – осереднений добуток пульсацій швидкості та температури; $\rho c_p \overline{u_j T}$ – параметр, що визначає турбулентне перенесення теплоти.

При розрахунку використовувалась модель гравітації, яка дозволяє врахувати процес вільної (природної) конвекції в замкнутому об'ємі, що обумовлена дією масових (об'ємних) сил.

3.1.2 Числове моделювання теплового стану приміщення

Дослідження теплового стану приміщення, що обігривається променистою системою опалення «тепла підлога», проводилися у Сумському державному університеті з використанням програмного комплексу ANSYS CFX університетської ліцензії.

Для проведення числового експерименту була створена тривимірна модель приміщення, наближена до реальних умов, з габаритними розмірами (10×6×3 м). При цьому враховувалася наявність предметів інтер'єру (шафи, дивану, стола, книжкових полиць, тумби), вікон (1,6×1,4 м), дверей (2,1×0,9 м). При створенні тривимірної моделі не враховувався вплив дрібних об'єктів інтер'єру, що дозволило зробити деякі спрощення (ідеалізація моделі).

Розрахунковою областю в даній задачі є внутрішній об'єм в приміщенні, який займає повітря (рис. 3.1), виключаючи його заповнення об'єктами інтер'єру. При

створенні розрахункової області були виділені три характерні зони (роз'ємна зона вікна, зовнішніх дверей, зона підлоги). Відокремлення цих зон пов'язано з тим, що граничні умови для них відрізняються порівняно з іншими місцями розрахункової області.

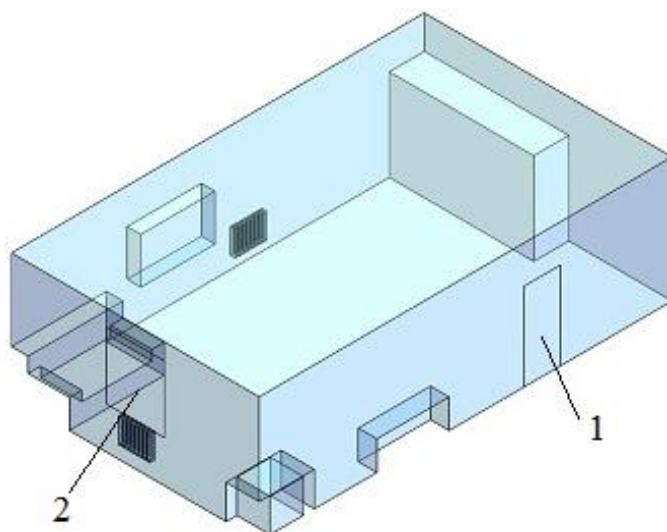


Рисунок 3.1 - Розрахункова область задачі: 1 – роз'ємна зона зовнішніх дверей; 2 – роз'ємна зона вікна.

Для визначення розрахункової області була побудована блочно-структурована гексаедрна сітка (див. рис. 3.2), яка складається з 1,7 млн. комірок. Вибір такого типу сітки пояснюється тим, що дана геометрична модель розрахункової області представляє собою сукупність достатньо правильних елементарних об'ємів, для яких прийнятна впорядкована блочна структура [10].

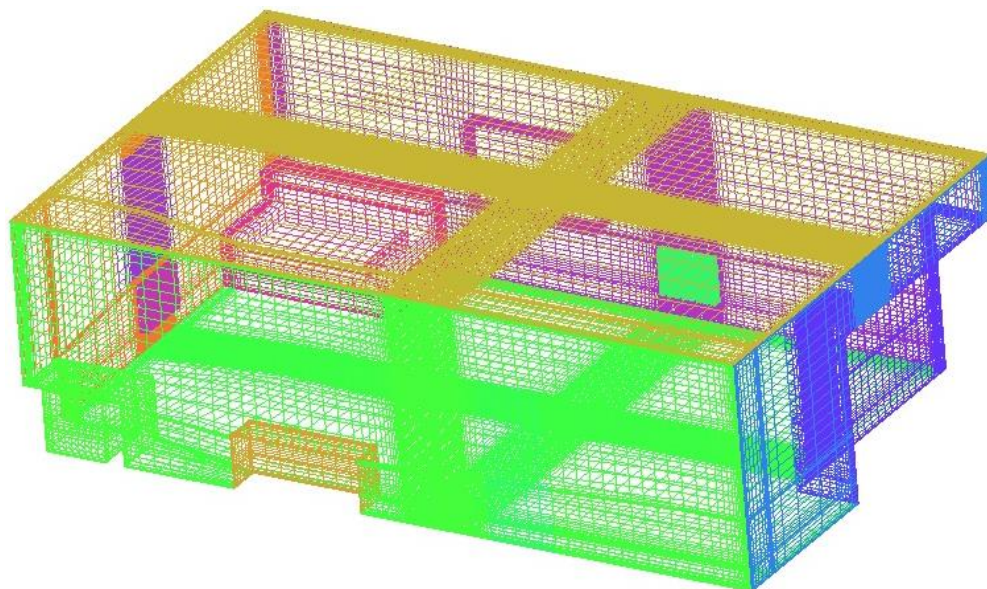


Рисунок 3.2 - Розрахункова сітка досліджуваної області

Для математичного визначення поставленої задачі задавалися умови однозначності (крайові умови), що містять: геометричні умови, які характеризують форму та розміри розрахункової області; фізичні умови, які характеризують фізичні

властивості тіла (густина, в'язкість, теплопровідність тощо); часові умови, які формують особливості перебігу процесу в часі (задаються для нестационарного процесу); граничні умови, що характеризують умови протікання процесу на межах розрахункової області. У якості граничних умов задавалися граничні умови першого роду (розподіл температур на поверхні твердих стінок розрахункової області). Температура стелі, стін та предметів інтер'єру приймалася 18 °С, системи обігріву «тепла підлога» – 30 °С, вікон і дверей – 15 °С. Усі тверді стінки були прийняті шорсткими, середнє арифметичне відхилення профілю (Ra) складало 25 мкм.

3.2 Аналіз та обговорення результатів числового моделювання теплового стану приміщення з системою обігріву «тепла підлога»

В результаті числового дослідження теплового стану приміщення були отримані основні термодинамічні параметри в розрахунковій області при виході на стаціонарний режим процесу складної теплопередачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря). Для оцінки та аналізу термодинамічних процесів, які відбуваються в приміщенні при обігріві системою «тепла підлога», окрім параметрів осереднених по об'єму розрахункової області, в табл. 3.1 наведені значення основних термодинамічних розрахункових параметрів.

Таблиця 3.1 - Значення основних термодинамічних параметрів розрахункової області

Назва параметру	Розмірність	Значення параметру	
		min	max
Статична ентропія	Дж/(кг К)	65,4	87,3
Інтенсивність випромінювання	Вт/м ³	0	1,01·10 ⁴
Швидкість U (координата X)	м/с	-0,252	0,37
Швидкість V (координата Y)	м/с	-0,333	0,243
Швидкість W (координата Z)	м/с	-0,229	0,288
Турбулентна кінетична енергія	-	4,88·10 ⁻⁵	1,14·10 ⁻²
Швидкість дисипації	-	4,6·10 ⁻⁶	1,16·10 ⁻¹
Турбулентна в'язкість	Па с	1,62·10 ⁻⁵	1,5·10 ⁻²
Статична ентальпія	Дж/кг	1,85·10 ⁴	2,49·10 ⁴
Число Рейнольдса (Re)	-	6635	
Число Прандтля (Pr)	-	7,1316·10 ⁻¹	
Число Грасгофа (Gr)	-	2,1718·10 ¹¹	
Число Релея (Ra)	-	1,5485·10 ¹¹	

Оскільки в розрахунковій області відбувається процес вільної термогравітаційної конвекції, то визначальними параметрами цього процесу є критерії: Pr (критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості повітря в

приміщенні), Gr (критерій Грасгофа характеризує відношення підйімальної сили, яка виникає внаслідок різниці густин у різних точках розрахункової області (теплого розширення), до сили в'язкісного тертя), Ra (критерій Релея характеризує режим руху повітря під дією градієнта температур). Так наприклад, результати експерименту демонструють, що в розрахунковій області число Релея $Ra = Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$, а оскільки при вільній конвекції режим руху повітря характеризується числом Релея, то він турбулентний, що є одним із свідчень адекватності обраної моделі.

На рис. 3.3 наведений розподіл температур в об'ємі приміщення (стан теплової рівноваги). Температура повітря по об'єму приміщення при опаленні «теплою підлогою» майже не змінюється і при виході на стаціонарний режим є майже сталою у часі з незначними коливаннями в $\pm 3\%$. На рис. 3.4 наведено візуалізацію швидкості руху повітря в об'ємі приміщення в стаціонарному режимі.

При опаленні приміщення «теплою підлогою» в приміщенні виникає турбулентний рух повітря з утворенням декількох потужних вихорів, які в процесі прогрівання змінюють свої розміри. Прогріте поверхнею «теплої підлоги» повітря рухається вздовж підлоги до поверхні стіни, потім піднімається до стелі і рухається до протилежної стіни, далі опускається до підлоги і процес повторюється. Тобто в приміщенні прослідковується круговий рух повітря, утворюються вихори. Слід зазначити те, що швидкість руху повітря підвищується у пристіночних зонах, а при наближенні до центру приміщення швидкість руху істотно зменшується. При використанні даного типу опалення забезпечується гарне перемішування повітря, що обумовлює швидке прогрівання приміщення та рівномірний розподіл температури за об'ємом.

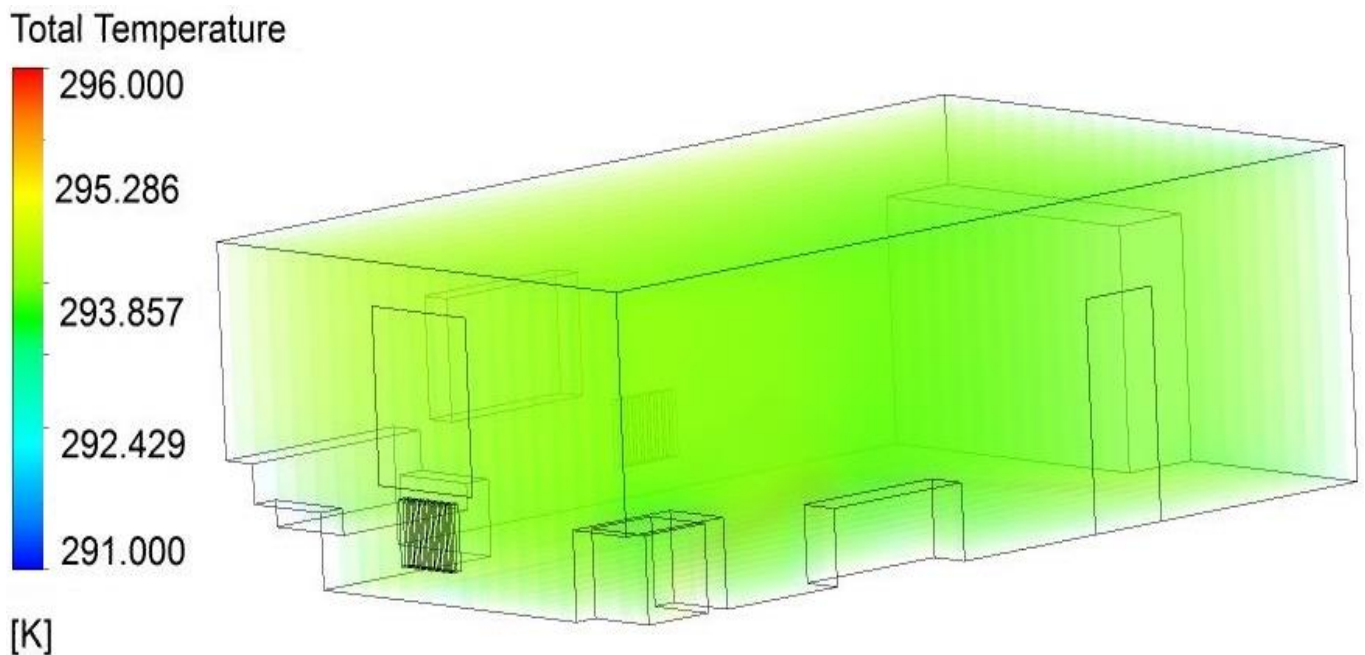


Рисунок 3.3 - Розподіл температури за об'ємом приміщення

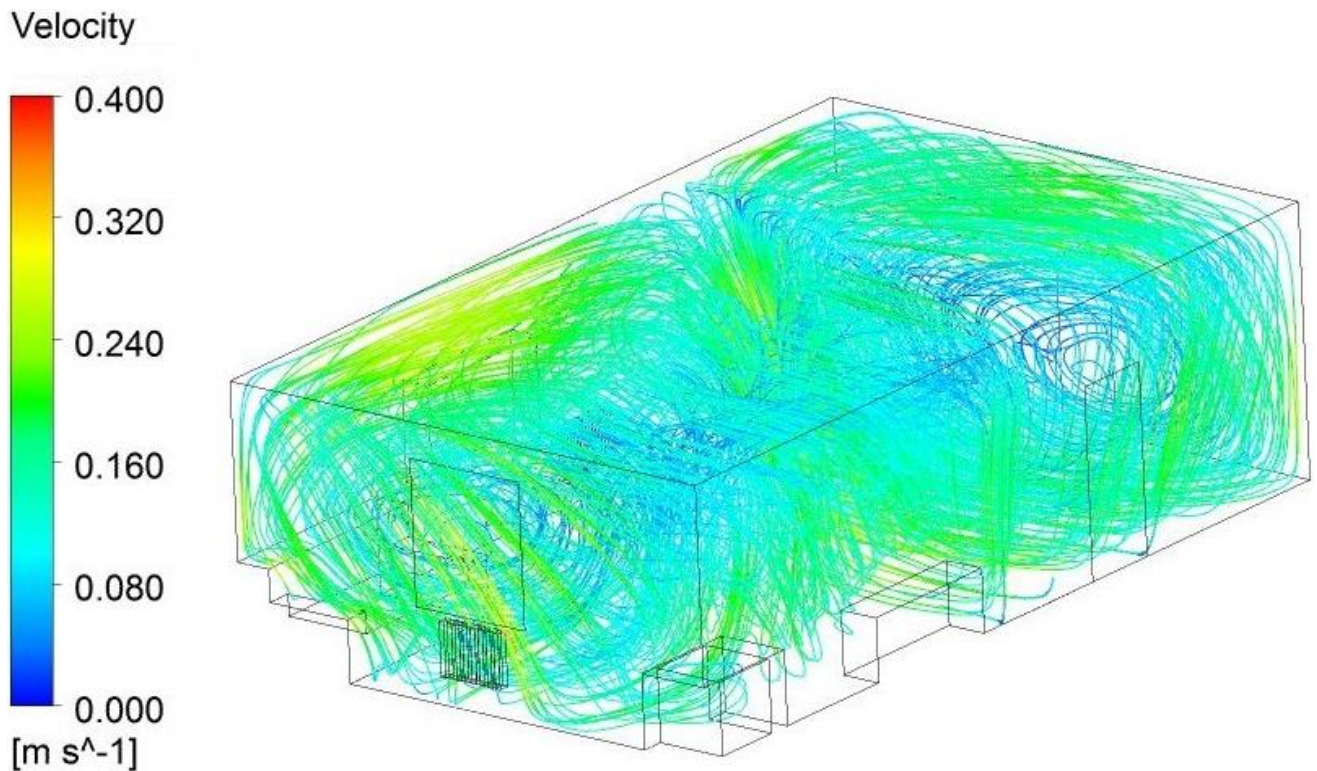


Рисунок 3.4. - Розподіл швидкостей руху повітря в об'ємі приміщення

Моделювання теплового стану приміщення здійснено також у нестационарній постановці задачі, тобто були отримані основні термодинамічні параметри в розрахунковій області під час моделювання прогрівання приміщення. Залежність осередненої по об'єму приміщення температури від часу прогрівання приміщення (рис. 3.5) можна апроксимувати поліномом типу:

$$T^V = C_1\tau^2 + C_2\tau + T_H^V, \quad (3.7)$$

де T^V – осереднена по об'єму температура повітря в приміщенні в момент часу прогрівання τ , K ; C_1, C_2 – константа, що залежить від геометричних розмірів приміщення; τ – час прогрівання приміщення, s ; T_H^V – осереднена по об'єму температура в приміщенні до початку його прогрівання, K .

Для досліджуваного об'єкту залежність (3.7) набуває вигляду $T^V = -0,0029\tau^2 + 0,1656\tau + 291,25$ (достовірність апроксимації складає $R^2 = 95,62\%$).

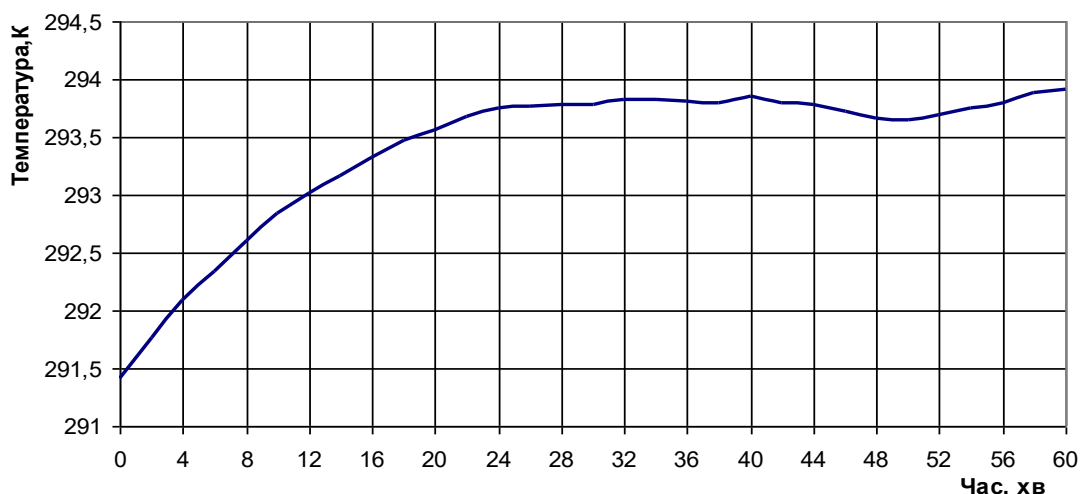


Рисунок 3.5 - Прогрівання приміщення у часі

Аналіз рис. 3.5 показує, що для виходу на стаціонарний режим прогрівання, використовуючи систему опалення «тепла підлога», необхідно від 25 до 35 хвилин часу. Перші 25 хвилин прогрівання характеризуються швидким нагріванням повітря в приміщенні, за наступні 10 хвилин відбувається незначне підвищення температури і температура повітря в приміщенні досягає максимуму. Потім у приміщенні спостерігаються незначні коливання температур в межах ± 3 К. Тому для описання даного процесу достатньо розглянути період прогрівання за перші 30 хвилин.

Представлений на рис. 3.6 розподіл температури за висотою приміщення при прогріванні «теплою підлогою» показує, що за умови завершення прогрівання приміщення та виходу на стаціонарний режим системи опалення, температура за висотою приміщення є майже не змінною, якщо не враховувати пристіночні зони. Умови комфортності у приміщенні ілюструє рис. 3.6 розподілом температури повітря за висотою та перерізом приміщення. Розроблена числова модель теплового стану приміщення дозволяє також досліджувати вплив розташування технологічного обладнання на параметри теплового стану приміщення, при цьому модель дозволяє одержати результати моделювання аеродинамічних та тепломасообмінних процесів за різних варіантів розташування обладнання з урахуванням його «теплової активності».

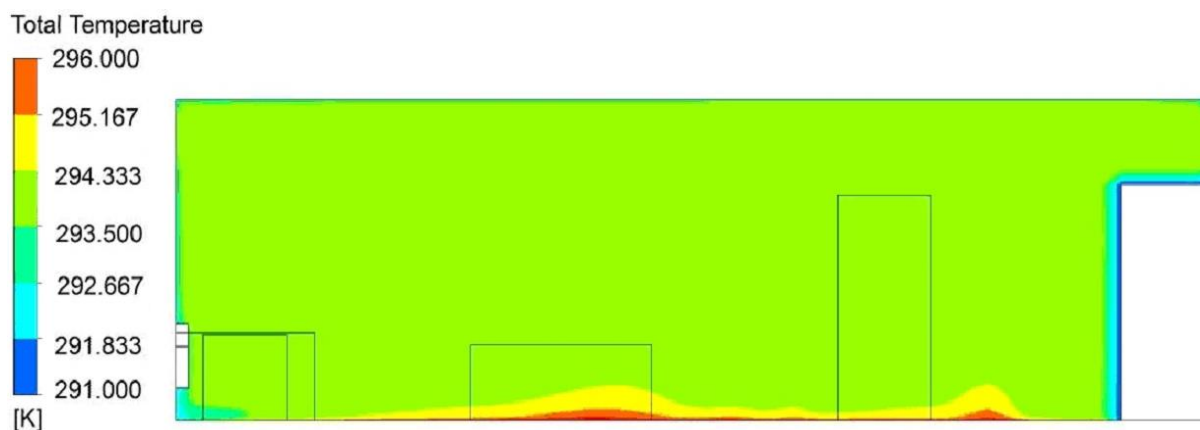


Рисунок 3.6 - Розподіл температури по висоті приміщення

На рис. 3.7 представлений розподіл температури за висотою приміщення у часі при опаленні «теплою підлогою». Наведені результати можуть слугувати вихідними даними для розроблення графіків функціонування системи опалення у «черговому» режимі для визначення параметрів теплового потоку системи опалення та часу його проходження у період розігрівання приміщення до нормальних умов його експлуатації після зниження температури повітря до «чергової».

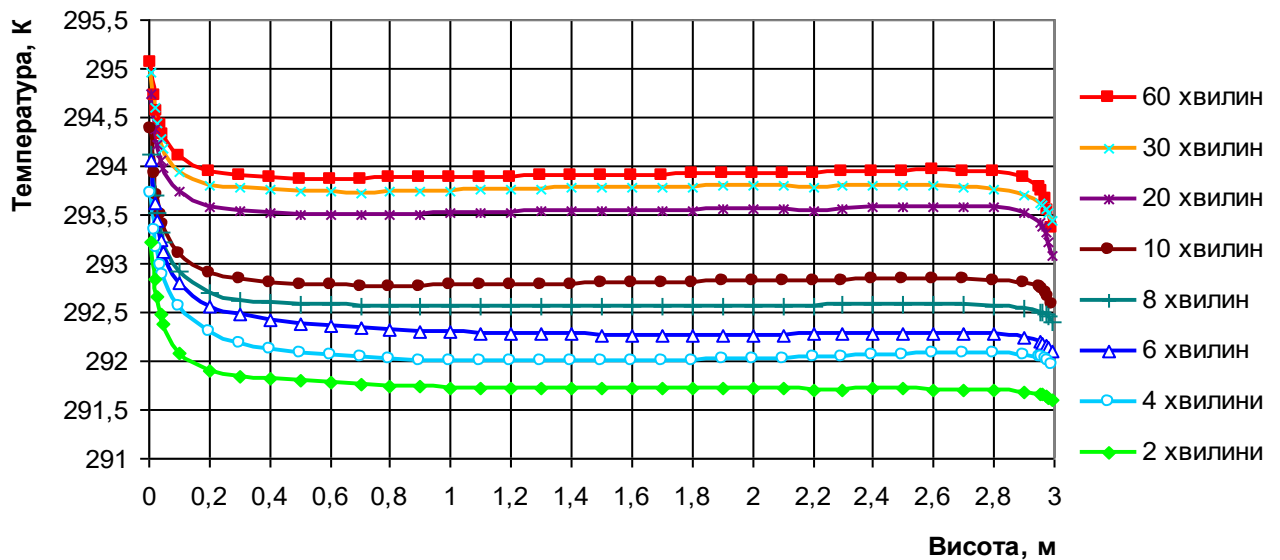


Рисунок 3.7 - Розподіл температури по висоті приміщення у часі

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ ТА ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ, ЕЛЕМЕНТИ ЯКИХ ОБІГРІВАЮТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛОВА ЗАВІСА»

Метою даної роботи є числове моделювання характеру роботи теплової завіси для приміщення спортивного комплексу. Для розробки розрахункової моделі був використаний програмний комплекс ANSYS 13.0, а саме пакет програм CFX із категорії для гідрогазодинаміки (Fluid Dynamics), а також генератор сіток ICEM CFD із пакету Meshing.

В даній роботі охарактеризовано методику створення розрахункової моделі для числового моделювання характеру роботи теплової завіси для приміщення спортивного комплексу. Тобто описано порядок дій при створенні розрахункової моделі: створення геометрії, побудова розрахункової сітки, задання вихідних даних та вибір моделей для розрахунку, що вбудовані в програмному продукті.

Для побудови тривимірної моделі області розрахунку (в даній задачі три розрахункові області: зовнішнє повітря, цегляні стіни цеха, внутрішнє повітря всередині цеха) був використаний програмний продукт SolidWorks. Габаритні розміри цеха ($50 \times 20 \times 11$ м), товщина стін 0,51 м, розміри цехових воріт 3×10 м. Моделювалася сама ширина щілини (0,1 м) теплової завіси з якої виходить повітря. Теплова завіса розташована по обидва боки в прорізі вхідних дверей на всю їх висоту.

Так як в даній задачі буде враховуватись фактор впливу вітру, то розмір розрахункової області зовнішнього повітря повинен бути таким, щоб її границі не мали впливу на результати розрахунку. Тому згідно рекомендацій міжнародного інженерного холдингу CADFEM розміри розрахункової області приймаються такими: зі сторони входу повітря (вітру) в область розрахунку (Inlet) складають п'ять максимальних геометричних розмірів (довжина будівлі), за висотою шість, по обидва боки в п'ять та в п'ятнадцять максимальних геометричних розмірів в протилежну сторону від входу повітря.

Всі три розрахункові області були створені в одному файлі програмного продукту SolidWorks та збережені (Save) як окремі тіла (Solid Bodies) в форматі Parasolid Binary (*.x_b).

Після створення тривимірних моделей розрахункових областей для кожної з моделей будувалася розрахункова сітка, що необхідна для геометричного визначення задачі. Для побудови розрахункових сіток використовувався генератор сіток ICEM CFD 13.0, у який були імпортовані геометрії тривимірних моделей розрахункових областей з SolidWorks (File/Import Geometry/Parasolid/...). Розрахункові сітки є блочно-структуровані (упорядковані) гексаедри, тобто складаються виключно з шестигранних (об'ємних) елементів – гексаедрів, що мають регулярну структуру з явними рядами елементів. Вибір такого типу сітки пояснюється тим, що дані геометричні моделі розрахункових областей представляють собою сукупність достатньо правильних елементарних об'ємів, для яких прийнятна впорядкована сітка елементів. Кожний блок представляє собою паралелепіпед, ребра і грані якого асоціюються з точками, лініями і поверхнями області геометрії. Для кожного блока

будується структурована сітка, яка автоматично переноситься на асоційовану з блоком фігуру, тобто кожен блок розбивається на більш дрібні структурні елементи. Вигляд розрахункових сіток представлений на (рис. 4.1-4.3).

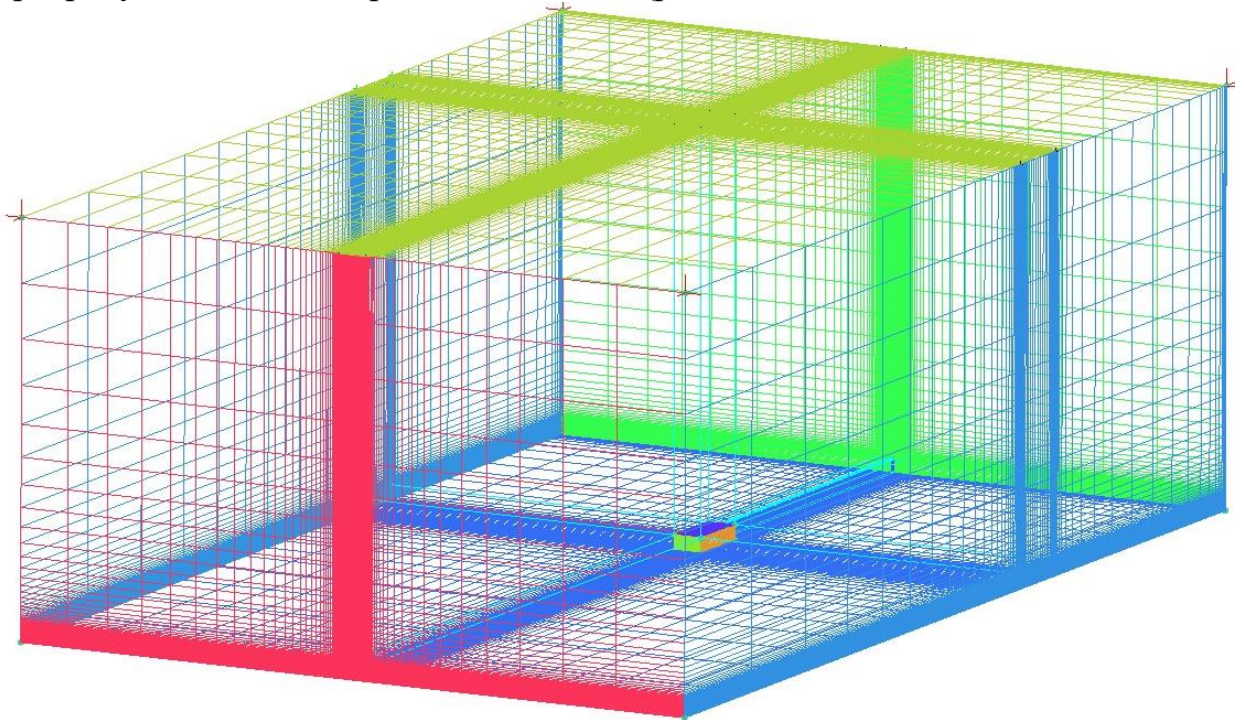


Рисунок 4.1 – Розрахункова сітка для зовнішнього повітря

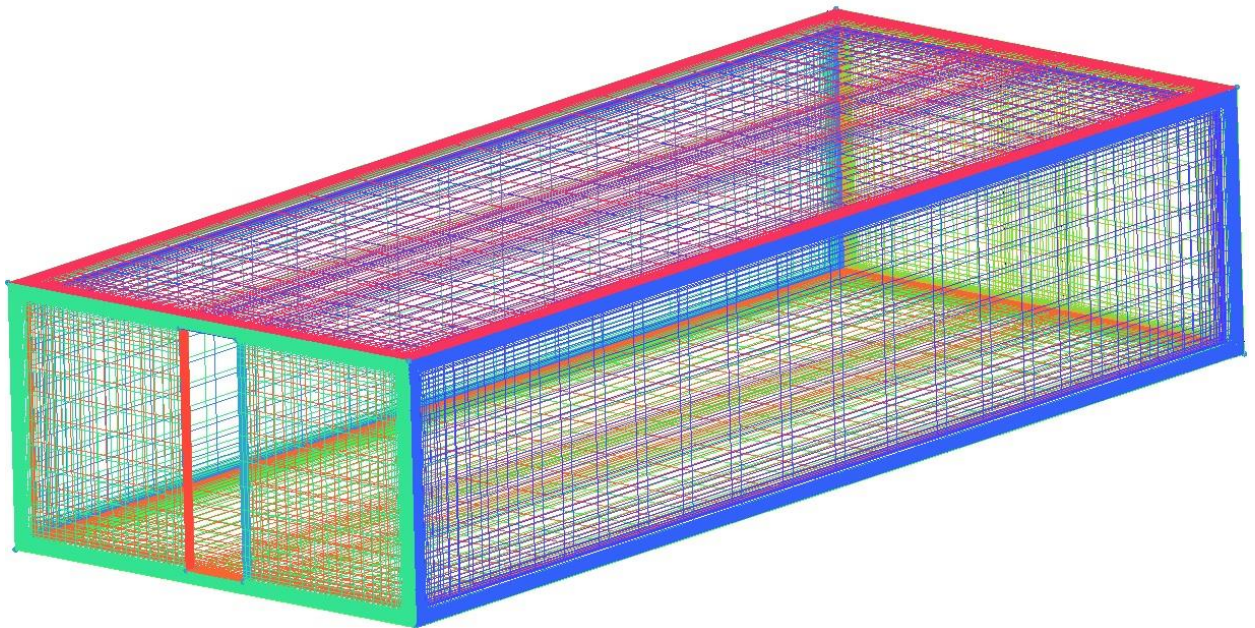


Рисунок 4.2 – Розрахункова сітка для стін спортивного комплексу

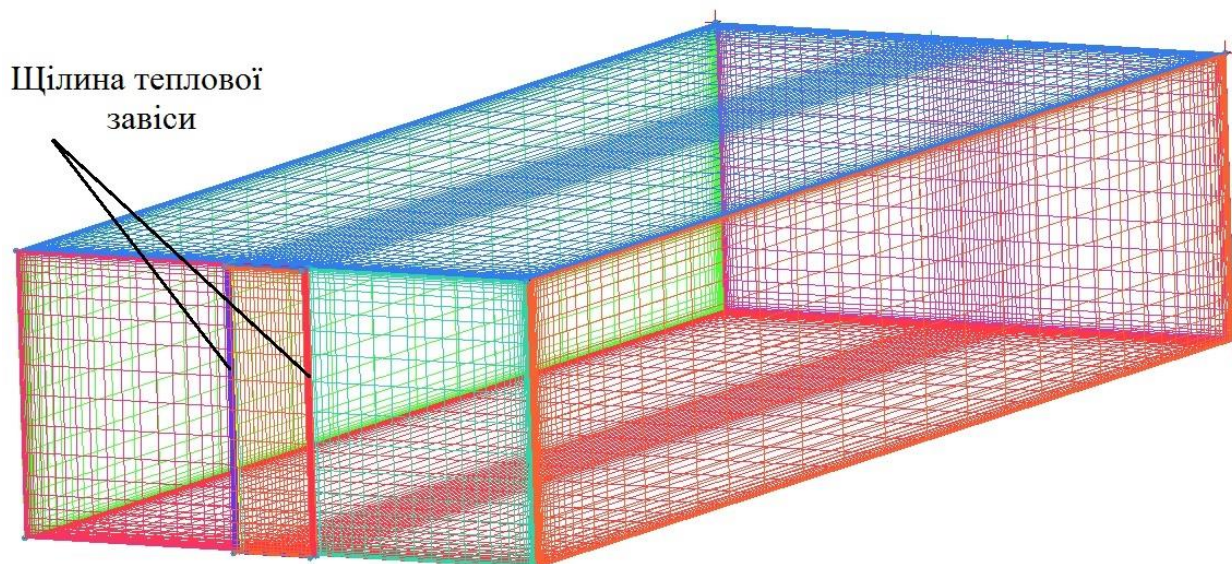


Рисунок 4.3 – Розрахункова сітка для внутрішнього повітря

Структура розрахункових сіток подрібнювалася та згущувалася в місцях інтенсивної зміни параметрів (місця контакту повітря з твердою стінкою та місце виходу повітря зі щілини теплової завіси).

Якість побудованої розрахункової сітки була перевірена засобами візуалізації на наявність візуальних помилок в прообразі розрахункової сітки (наявність занадто вузьких витягнутих комірок, вироджених та скошених комірок). Для більш детальної перевірки використовувався пакет опцій ICEM CFD 13.0. Для оцінки якості використовувалися наступні критерії: determinant (детермінант), angle (кут між гранями комірок), aspect ratio (коефіцієнт пропорційності), volume (об'єми). Основні параметри розрахункових сіток наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні параметри розрахункових сіток

Параметр	Розрахункова сітка		
	Зовнішнє повітря	Стіни спортивного комплексу	Внутрішнє повітря
Кількість комірок	1464520	375515	198096
Кількість вузлів	1414315	350510	187116
determinant	0,985		
angle	82,44		
aspect ratio	1		
volume	$2,87 \cdot 10^3$		

Розрахункові сітки були записані з розширенням cfx5.

Розглянемо розрахунковий пакет програм CFX. Для запуску даного пакету необхідно виконати наступні дії: Пуск/Все програми/ANSYS 13.0/Fluid Dynamics/CFX. Після чого відкриється вікно ланчера ANSYS CFX-13.0 (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Вікно ланчера

Ланчер ANSYS CFX-13.0 дозволяє перейти до роботи в програмних модулях: TurboGrid, CFX-Pre, CFX-Solver Manager, CFD-Post. В ланчері необхідно вибрати робочу папку (Working Directory).

Розглянемо програмний модуль CFX-Pre (препроцесор). В Препроцесорі задаються умови однозначності (крайові умови) та вибираються математичні моделі, які необхідні для чисельного вирішення задачі (створюється розрахункова модель).

Після запуску CFX-Pre було створено новий проект (File/New case/General/Ok) та імпортовано розрахункові сітки виконавши наступні дії: Mesh/Import mesh/ICEM CFD/ вибрано розширення файлу cfx5 та одиниці вимірювання Mesh Units m (в метрах)/Open.

Після проведення наведених вище дій було отримане вікно програми CFX-Pre з відображенням розрахункових областей (рис. 4.5).

В колонці зліва (рис. 4.5) автоматично формується схема відображення заданих граничних умов, завантаженої розрахункової сітки, змінні, матеріали, експертні параметри та ін. Знизу по центру від розрахункової області відображається масштабна лінійка, а в правому нижньому куті показані осі просторових координат.

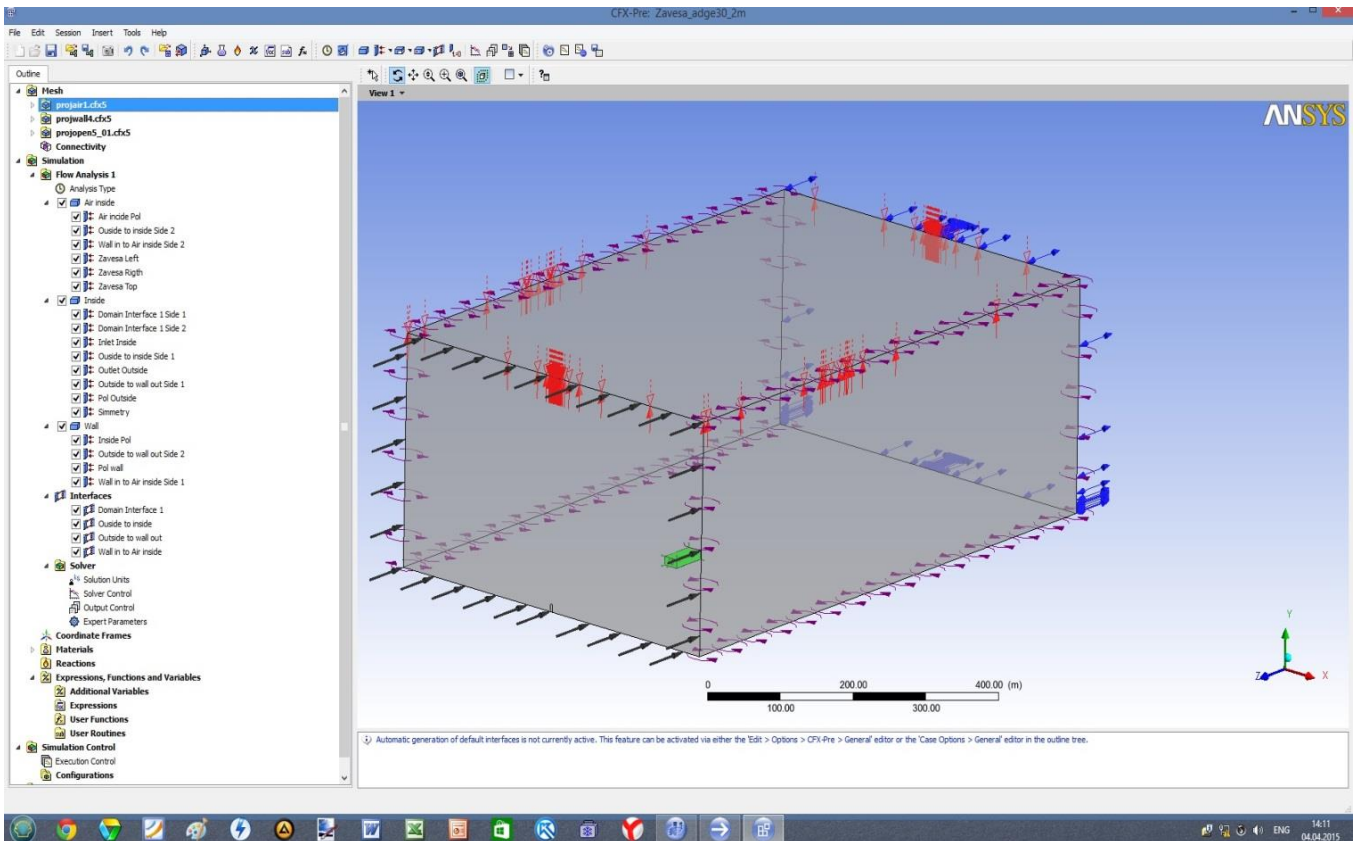


Рисунок 4.5 – Вікно програми CFX-Pre

Із вкладки Simulation задаємо тип розрахунку, натиснувши на піктограму (Analysis Type) – Steady State (стаціонарний розрахунок) (рис. 4.6). Стаціонарний тип розрахунку – це той, що приведений до певного моменту часу.

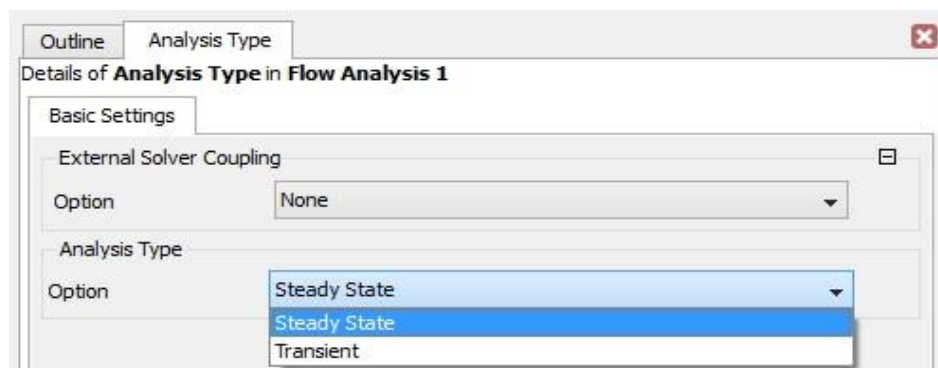


Рисунок 4.6 – Вибір типу розрахунку

Для постановки задачі задаємо параметри робочого середовища та рідкотільну модель для розрахункових областей (рис. 4.7).

Для задачі параметрів вибираємо піктограму Domain (розрахункова область). В даній програмі назви розрахункових областей відображаються на латиниці: Air inside (внутрішнє повітря), Inside (зовнішнє повітря), Wall (стіни будівлі). Опишемо приклад задання вихідних даних для розрахункової області Air inside (внутрішнє повітря). Переходимо до вкладки Basic Setting (основні установки) де вказуємо такі параметри: Domain Type (тип розрахункової області) – Fluid Domain

(рідкотільна розрахункова область), Material (матеріал) – Air at STP (повітря за стандартних умов), Morphology (морфологічна особливість) – Continuous Fluid (нерозривне середовище), Reference Pressure (зсичний тиск) – 1 атм, Buoyancy Model (Модель гравітації) – Non Buoyant (без врахування гравітації), Domain Motion (переміщення розрахункової області) – Stationary (без переміщення), Mesh Deformation (деформація розрахункової сітки) – None (без деформації).

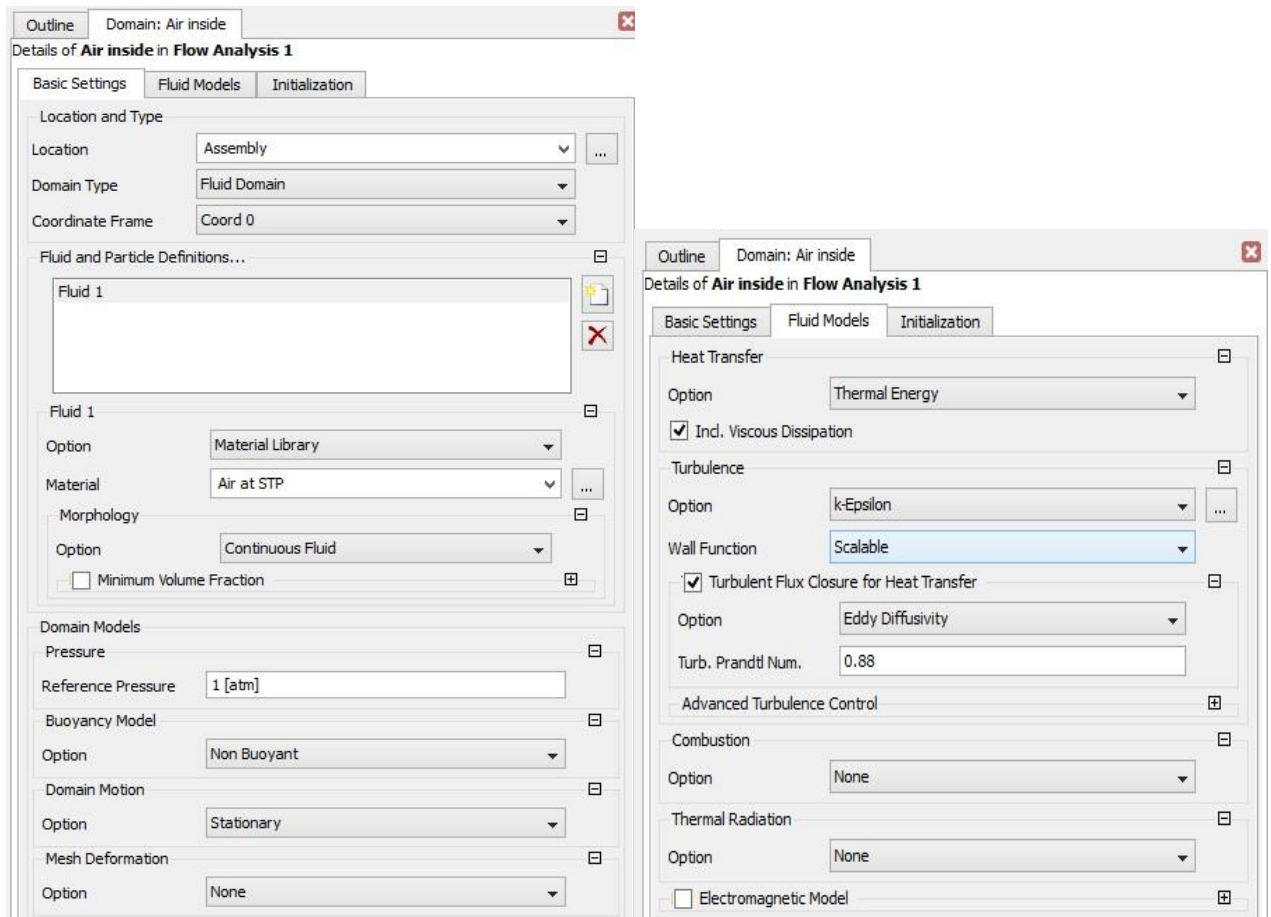



Рисунок 4.7 – Параметри робочого середовища та рідкотільної моделі

Для задання рідкотільної моделі середовища переходимо до вкладки Fluid Model (рідкотільна модель). В даній вкладці обираємо закон теплопередачі (Heat Transfer) в постановці Thermal Energy (теплопередача без урахування стиснення) та модель турбулентності (Turbulence/Option/k-Epsilon). Всі інші параметри: пристіночна функція (Wall Function), параметри вихрової дифузії (Eddy Diffusivity) залишалися за замовчування. Модель горіння (Combustion), перенесення тепла випромінюванням (Thermal Radiation) та електромагнітну модель (Electromagnetic Model) не враховуємо із за відсутності джерел виникнення наведених вище процесів у розглядуваній задачі.

Для розрахункової області Inside (зовнішнє повітря) були задані аналогічні параметри робочого середовища та рідкотільної моделі відповідно. Для розрахункової області Wall (стіни будівлі) у якості матеріала (Material) була обрана цегла (Brick).

Для всіх поверхонь розрахункових областей задавалися граничні умови.

Для цього використовувалась піктограма Boundary  (Граничні умови). У вкладці Basic Setting (основні установки) була вибрана кожна окрема поверхня (у графі Location) і у графі Boundary Type був заданий відповідний тип граничних умов. До даної задачі застосовувались такі типи граничних умов: Inlet (вхід), Symmetry (симетрія), Opening (відкритий вихід), Wall (стінка), Interface (інтерфейс) (рис. 4.8-4.9).

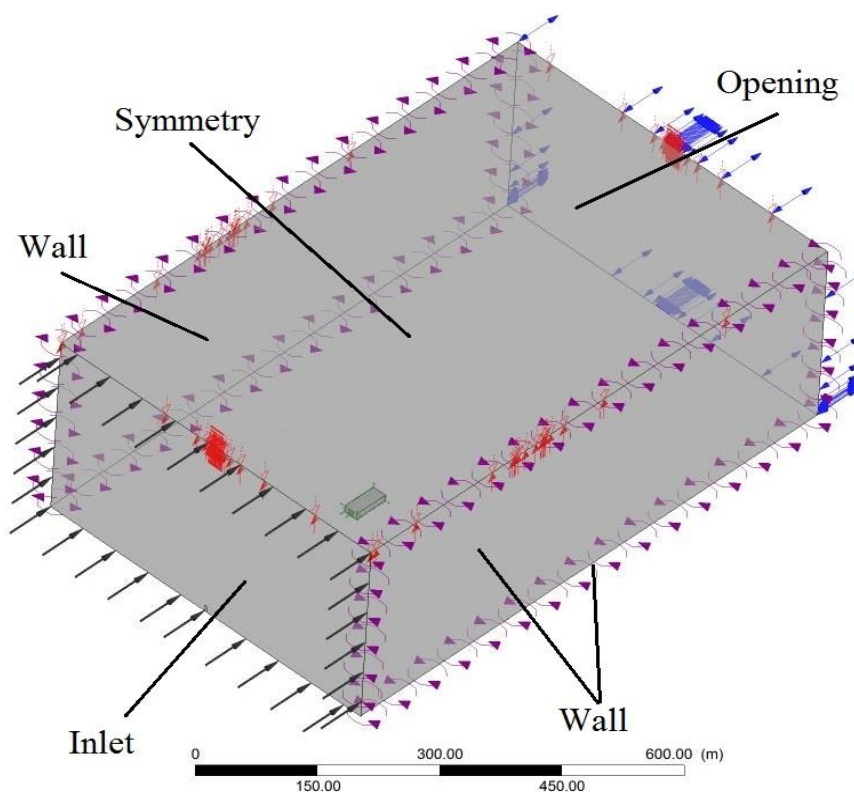


Рисунок 4.8 – Типи граничних умов для розрахункової області Inside

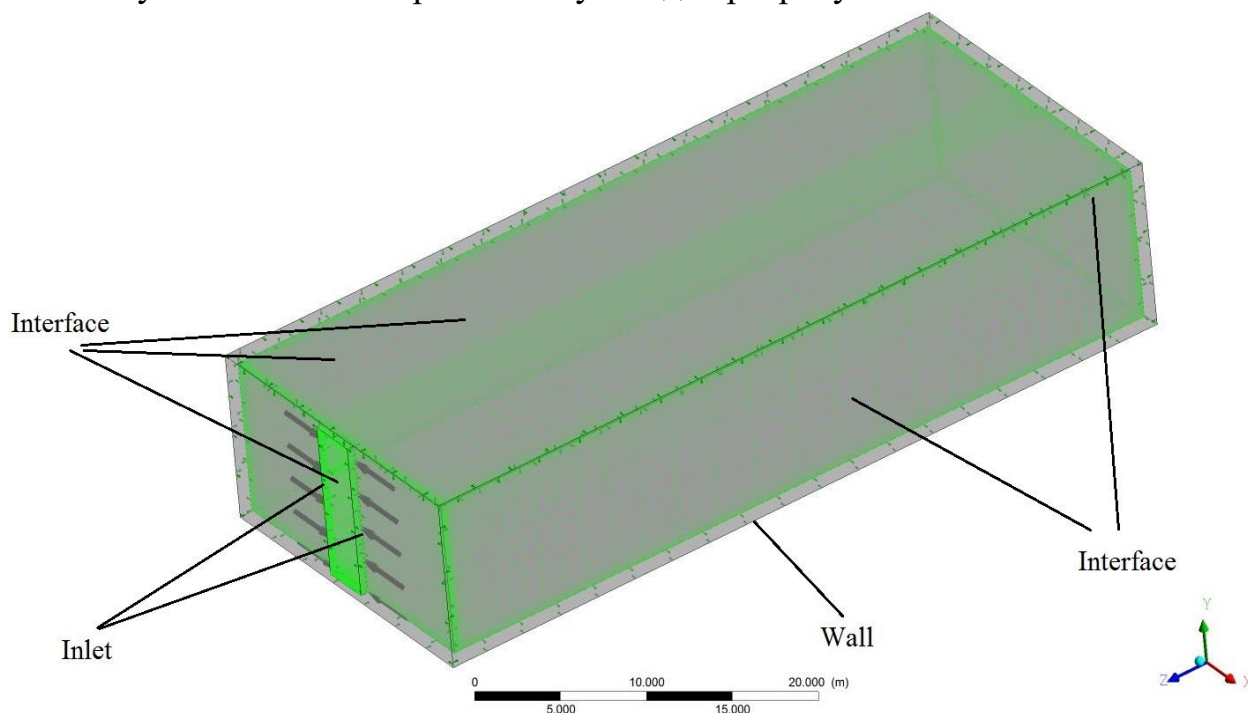


Рисунок 4.9 – Типи граничних умов для розрахункових областей Wall та Air Inside

Для кожної з поверхонь задавалися параметри граничних умов (вкладка Boundary Details). Наведемо приклад задачі параметрів граничних умов для поверхні входу потоків зовнішнього повітря та для однієї із поверхонь щілини теплової завіси (рис. 4.10).

На рисунку 4.10 зліва наведений приклад задачі параметрів граничних умов для потоку зовнішнього повітря, а з права – для потоку зі щілини теплової завіси. У вкладці Boundary Details був заданий режим руху (Flow Regime) – дозвуковий (Subsonic). В графі маса та імпульс (Mass And Momentum) для потоку зовнішнього повітря був обраний параметр (Option) – швидкість перпендикулярна граничним умовам (Normal Speed) та значення параметру 4 м/с; а для потоку зі щілини теплової завіси (розглядається варіант коли потік теплової завіси направлений під кутом 30° в середину цеха) був обраний параметр (Option) – компоненти швидкості по координатам (Cart. Vel. Components), де значення швидкості в 5 м/с розкладено по компонентам. Параметри інтенсивності турбулентності залишені за замовчуванням. В графі теплопередача (Heat Transfer) для обох випадків вказаний параметр (Option) статична температура (Static Temperature) значення якого для потоку зовнішнього повітря 4°C, а для потоку теплової завіси 40°C.

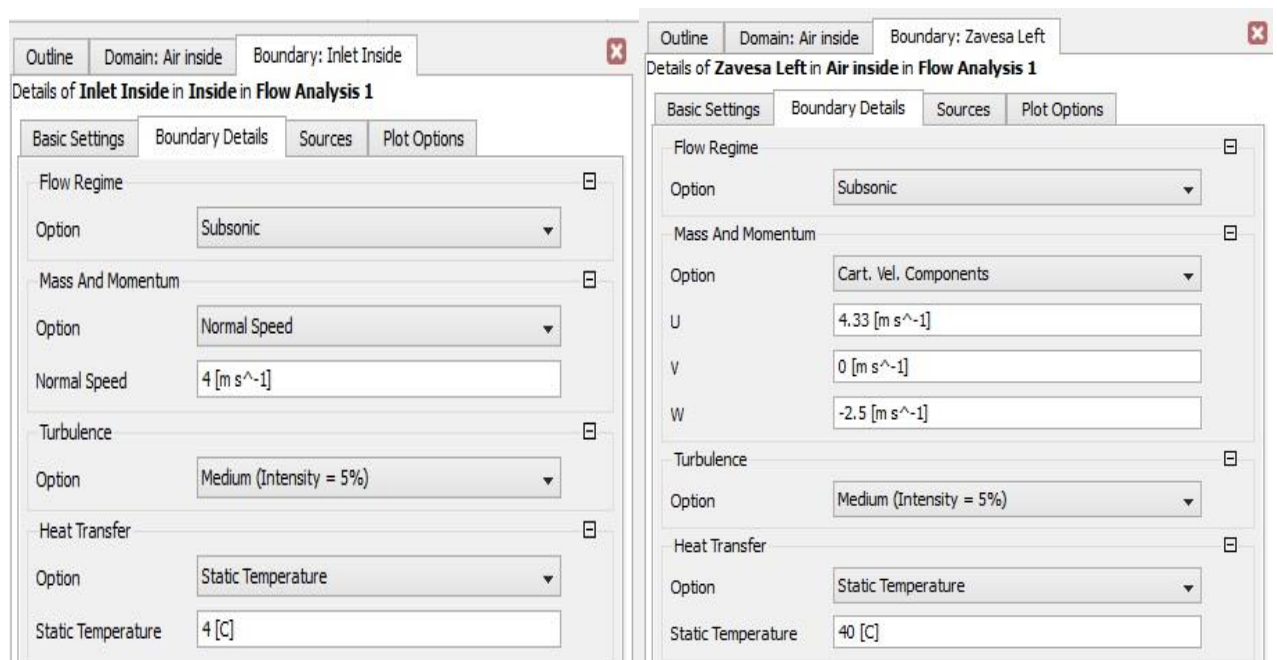




Рисунок 4.10 – Приклад задання параметрів граничних умов

Після того як були задані всі граничні умови проводилася настройка параметрів для обчислювача. Натиснувши на піктограму Solver Control  у вкладці Basic Setting (основні установки), у графі Convergence Control (управління розбіжністю) встановлюємо номер першої ітерації (Min. Iterations) та номер останньої ітерації (Max. Iterations). Далі у графі Timescale Control (управління кроком часу) обираємо Physical Timescale (фізичний крок часу) та задавалися його значення (0,22 с), у графі Convergence Criterial (критерій розбіжності) обираємо Residual Type RMS (розбіжність по середньоквадратичному відхиленню, а значення Residual Target (критерій розбіжності) приймалося 1.E-4. Для завершення настройок параметрів для

обраховувача, натиснувши на піктограму  Output Control (вихідний контроль) у вкладці Backup (резервне копіювання) задавалася частота збереження (перезапису) проміжних результатів (Output Frequency), у графі параметр (Option) – Iteration Interval, а його значення п'ять. Тобто перезаписувався кожний п'ятий файл проміжного результату. Вікно налаштування параметрів для обраховувача та вихідного контролю наведені на (рис. 4.11).

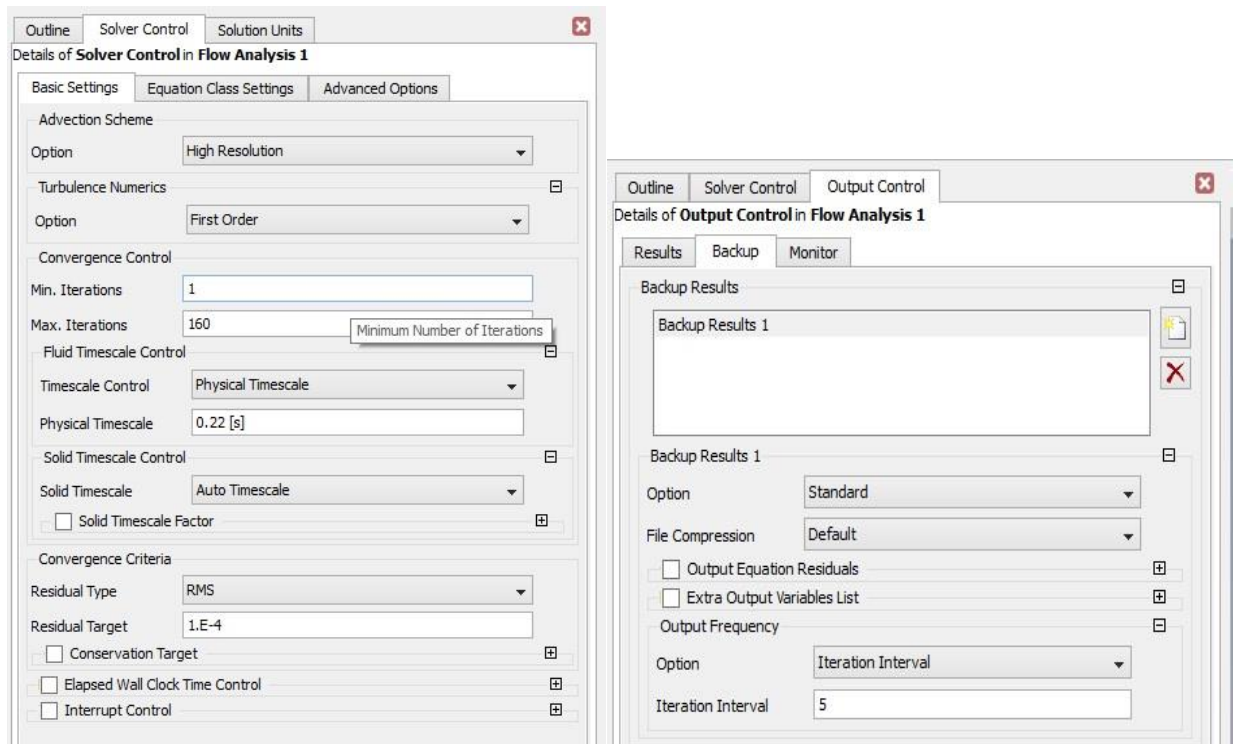


Рисунок 4.11 – Вікно налаштування параметрів для обраховувача та вихідного контролю

Для математичного визначення задачі були задані крайові умови, що включають в себе: геометричні, фізичні, часові, граничні умови. Геометричні умови характеризують форму та розміри розрахункових областей. Геометричні умови автоматично визначалися з побудованих розрахункових сіток. Фізичними умовами для розрахункових областей Air inside (внутрішнє повітря) та Inside (зовнішнє повітря) є термодинамічні параметри повітря, а для розрахункової області Wall (стіни будівлі) були задані термодинамічні параметри червоної цегли. У якості часових умов було розраховано стаціонарний тип розрахунку (тобто отримані результати чисельного експерименту приведені до певного моменту часу). Для всіх поверхонь розрахункових областей задавалися граничні умови. Типи граничних умов до задачі відповідають показаним на (рис. 4.8-4.9). До граничних умов Wall (стінка) були задані температура на твердих стінках (для зовнішнього повітря 4°C, а для підлоги спортивного комплексу 28°C та шорсткість 25 мкм. Температура потоків на виході зі щілин теплової завіси приймалися рівною 40°C. В задачі був обрахований характер роботи теплової завіси в залежності від кутів спрямування її потоків β та швидкості набігаючого повітря ($w_{ноб} = 0,5; 2$ та 4 м/с). Швидкість потоків теплової завіси була прийнята 5 м/с відповідно до ширини вхідних дверей, для кутів спрямування

потоків теплової завіси відмінних від 0° швидкість розкладалася по компонентам (V_x , V_y та V_z) відповідно до просторових координат з урахуванням знаку. Вихідні дані для різних варіантів розрахунку наведені в (табл. 4.2).

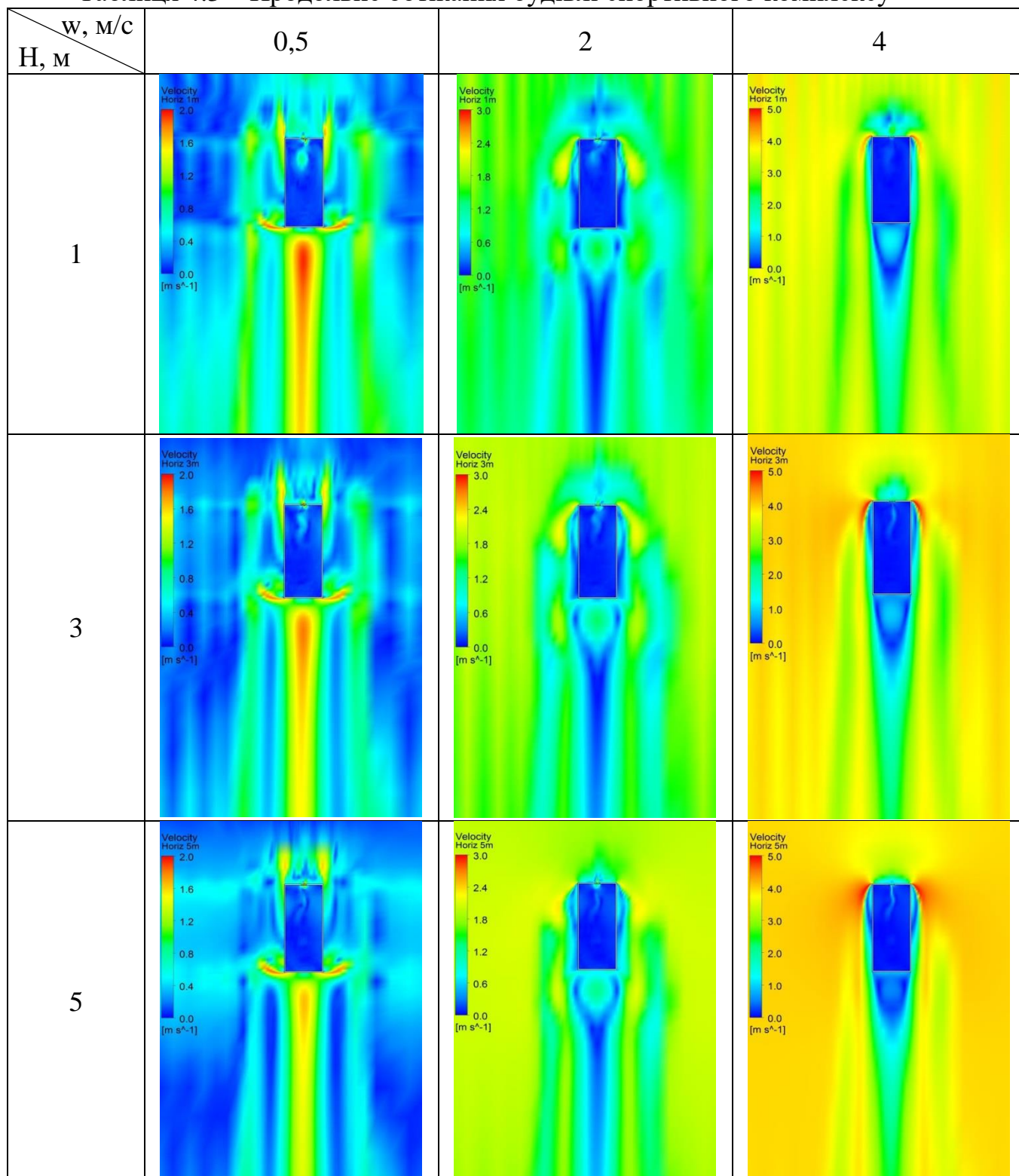
Таблиця 4.2 – Вихідні дані

Кут спрямування $\beta, ^\circ$	Компоненти швидкості		
	$V_x, \text{ м/с}$	$V_y, \text{ м/с}$	$V_z, \text{ м/с}$
0	$V = 5 \text{ м/с}$		
10	+ 4,924	0	- 0,868
20	+ 4,6985	0	- 1,71
30	+ 4,33	0	- 2,5
40	+ 3,83	0	- 3,214

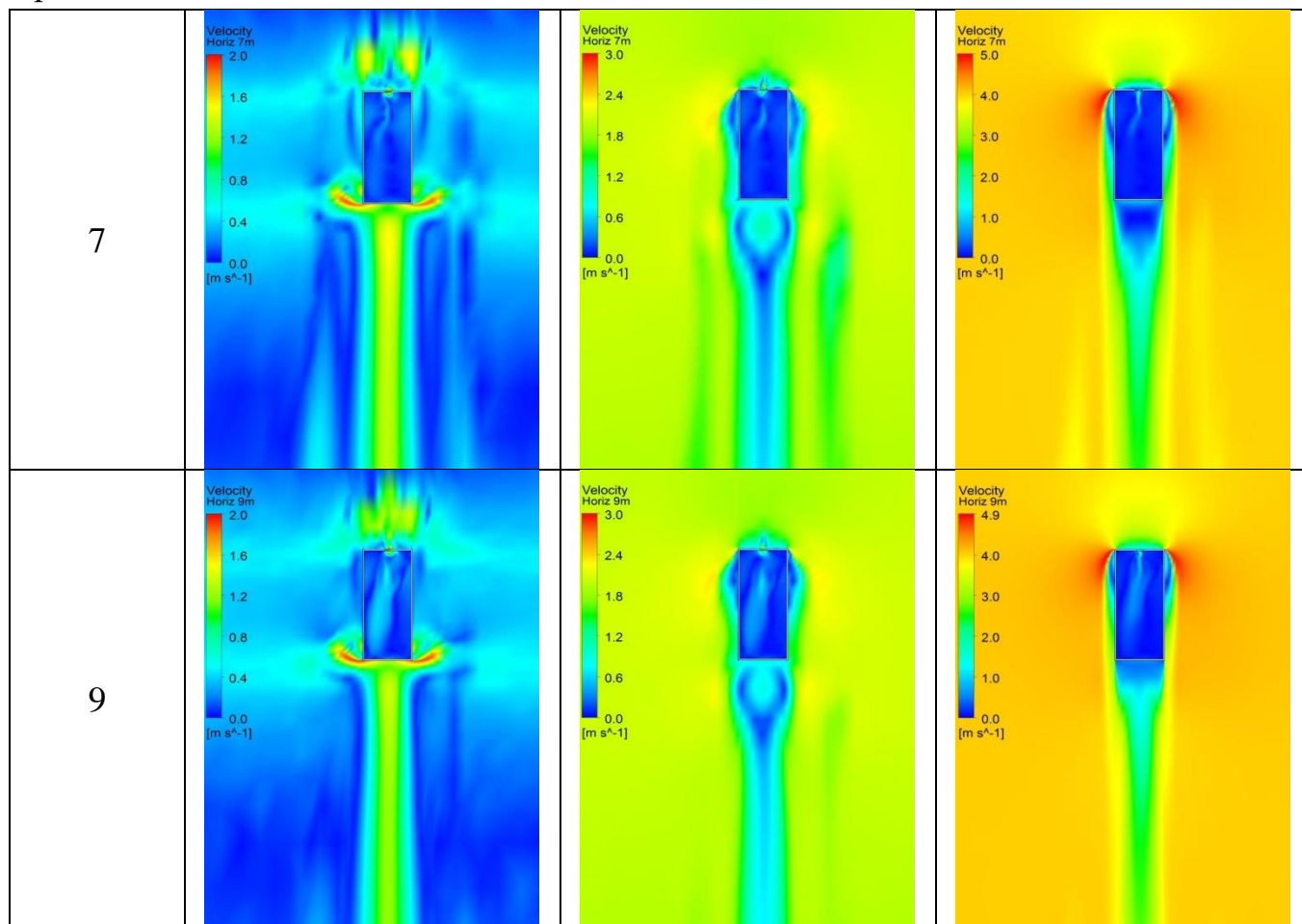
Вирішення задачі здійснювалося за допомогою вбудованих у програмному продукті моделей. В даній задачі не враховувалась модель гравітації (враховує наявність природної конвекції внаслідок теплового розширення повітря) так як розглядався характер роботи теплової завіси, який в першу чергу залежить від зовнішніх чинників (швидкість та напрямок руху зовнішнього повітря). Параметри рідкотільної моделі (Fluid Model) описані в попередньому пункті. Переміщення повітря в розрахункових областях описувалося рівняннями Нав'є-Стокса осередненими за числом Рейнольдса. Для вирішення (замикання) рівнянь Нав'є-Стокса використовувалася $k - \varepsilon$ модель турбулентності.

Розглянемо характер обтікання будівлі цеха набігаючим потоком вітру при різній його швидкості (w , м/с), щоб в подальшому оцінити його вплив на роботу теплової завіси. Розглянемо продольне обтікання будівлі спортивного комплексу (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Продольне обтікання будівлі спортивного комплексу



Продовження таблиці 4.3



В таблиці 4.3 продемонстрована візуалізація характеру обтікання будівлі спортивного комплексу набігаючим повітрям по висоті будівлі.

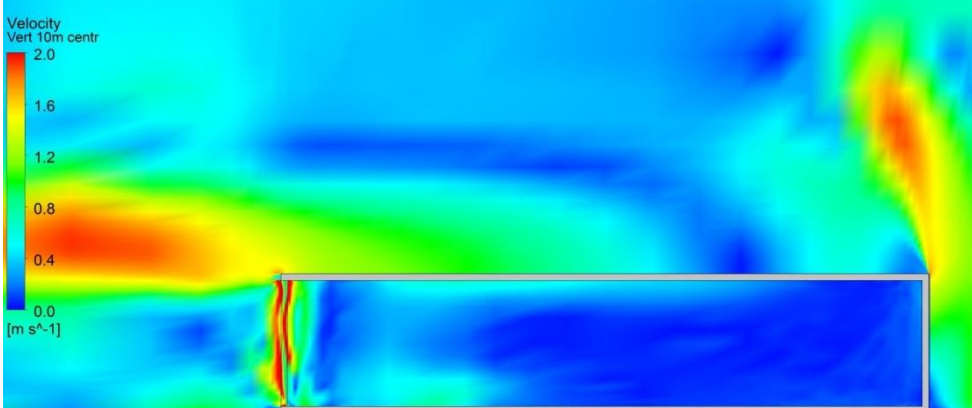
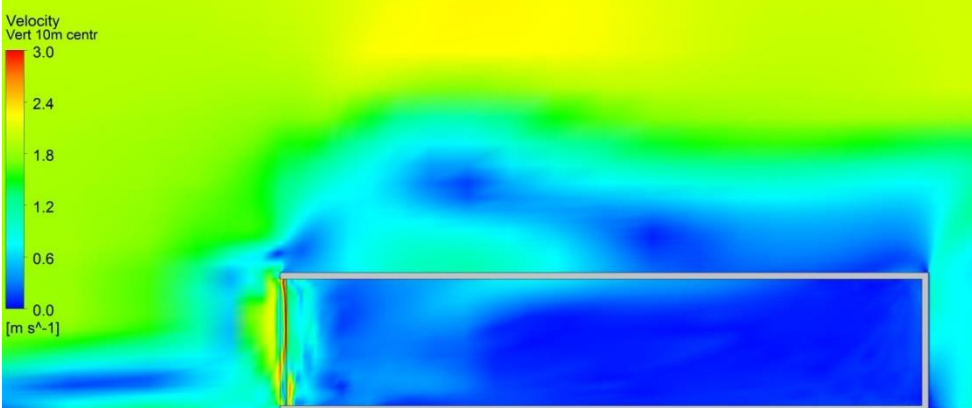
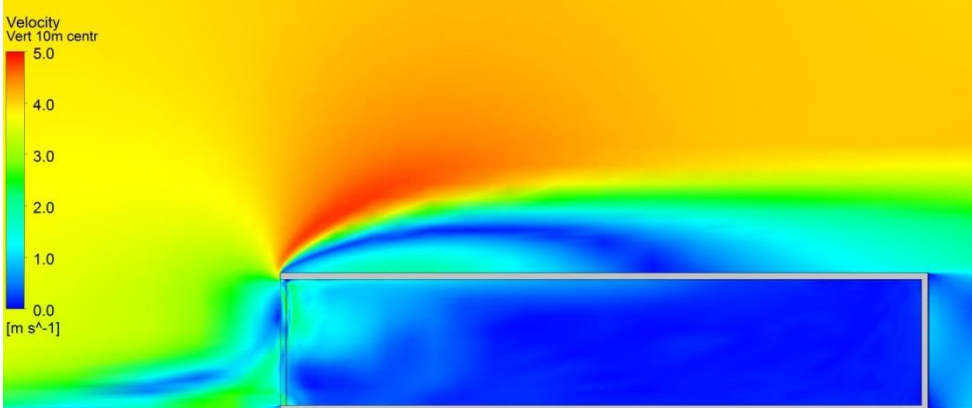
При низькій швидкості вітру (до 0,5 м/с) характер обтікання не є чітко вираженим. Навколо будівлі повітря майже стояче (повільно рухається вздовж будівлі спортивного комплексу), спостерігаються крайові ефекти пришвидшення швидкості руху повітря внаслідок відриву потоку від кутів будівлі.

При підвищенні швидкості набігаючого вітру (2, 4 і більше м/с) обтікання будівлі стає чітко вираженим. Прослідковується прискорення швидкості руху повітря внаслідок відривів по кутам передньої торцевої частини будівлі, при чому пришвидшення руху повітря стає інтенсивнішим по висоті спортивного комплексу (зростає до середини висоти спортивного комплексу (5 м), а потім стабілізується до висоти даху будівлі). При швидкостях вітру 2 і більше м/с помітні бокові сліди загальмованого потоку після його відриву від кутів переднього торця спортивного комплексу, що стають менш вираженими при підвищенні висоти та зникають на рівні трохи вище середини висоти будівлі спортивного комплексу.

В результаті обтікання в задній частині цеха з'являється слід, при чому при малій швидкості вітру (0,5 і менше м/с) виникає прискорення потоку (при збільшенні висоти прискорення стає менш інтенсивним), а при більших швидкостях (2 і більше м/с) – зона застою та загальмований потік. Ширина сліду зменшується при підвищенні висоти.

Розглянемо поперечне обтікання будівлі при різній швидкості вітру (табл. 4.4).

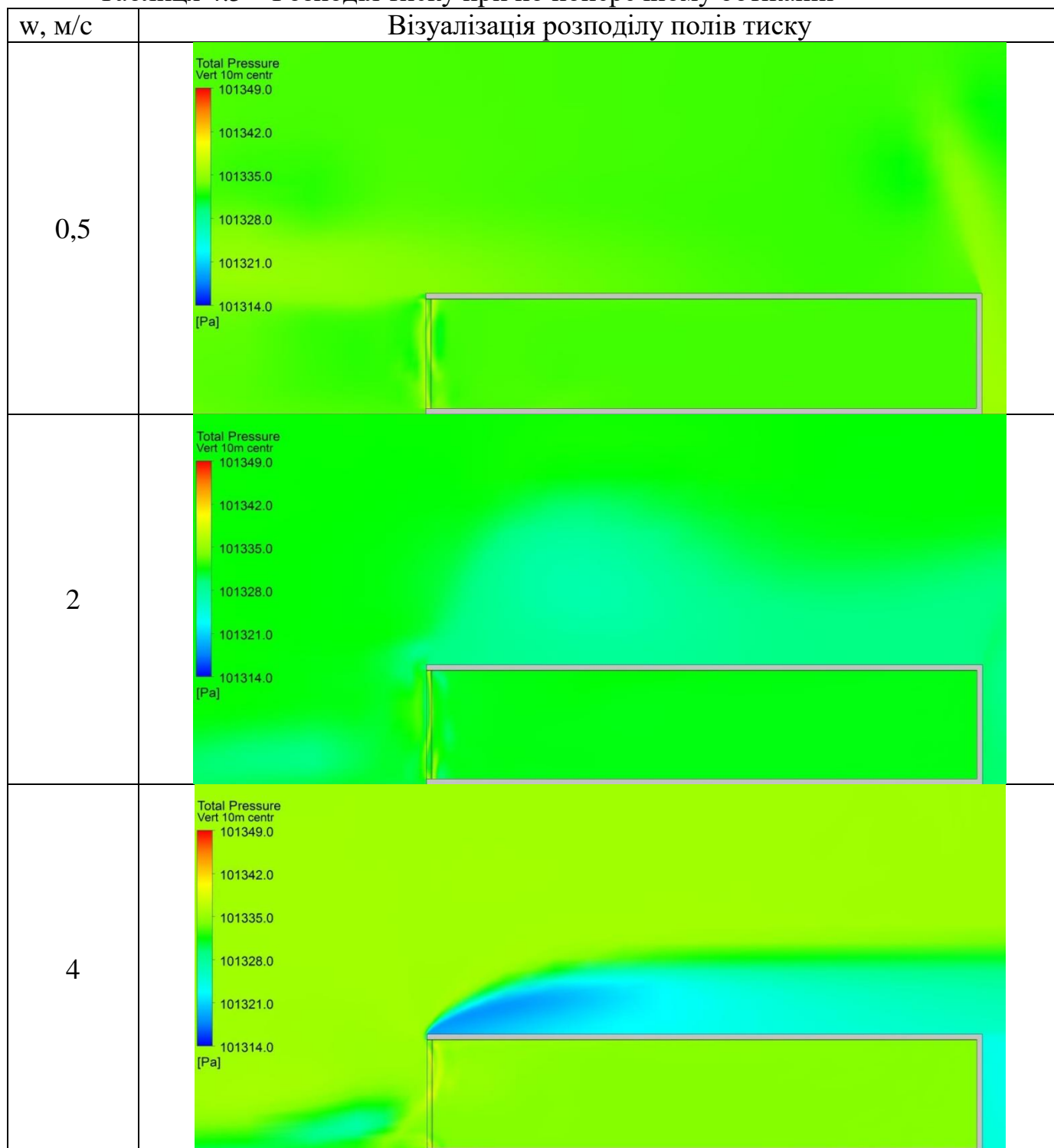
Таблиця 4.4 – Поперечне обтікання будівлі спортивного комплексу

w, м/с	Характер обтікання
0,5	
2	
4	

При низькій швидкості вітру (0,5 і менше м/с) розподіл швидкостей не має чітких особливостей, а при підвищенні швидкості набігаючого потоку повітря виникає лобовий удар набігаючого вітру об будівлю спортивного комплексу, що провокує виникнення вихору перед будівлею (поблизу рівня землі він інтенсивніший, а з висотою він згладжується так як частина потоку рухається (ковзає) над дахом будівлі). Тобто в результаті обтікання будівлі в поперечній площині набігаючий потік повітря відривається, що спричиняє утворення зон низьких швидкостей (вихроутворення перед будівлею та над її дахом).

Картина розподілу тиску в результаті обтікання будівлі в поперечній площині наведена в (табл. 4.5).

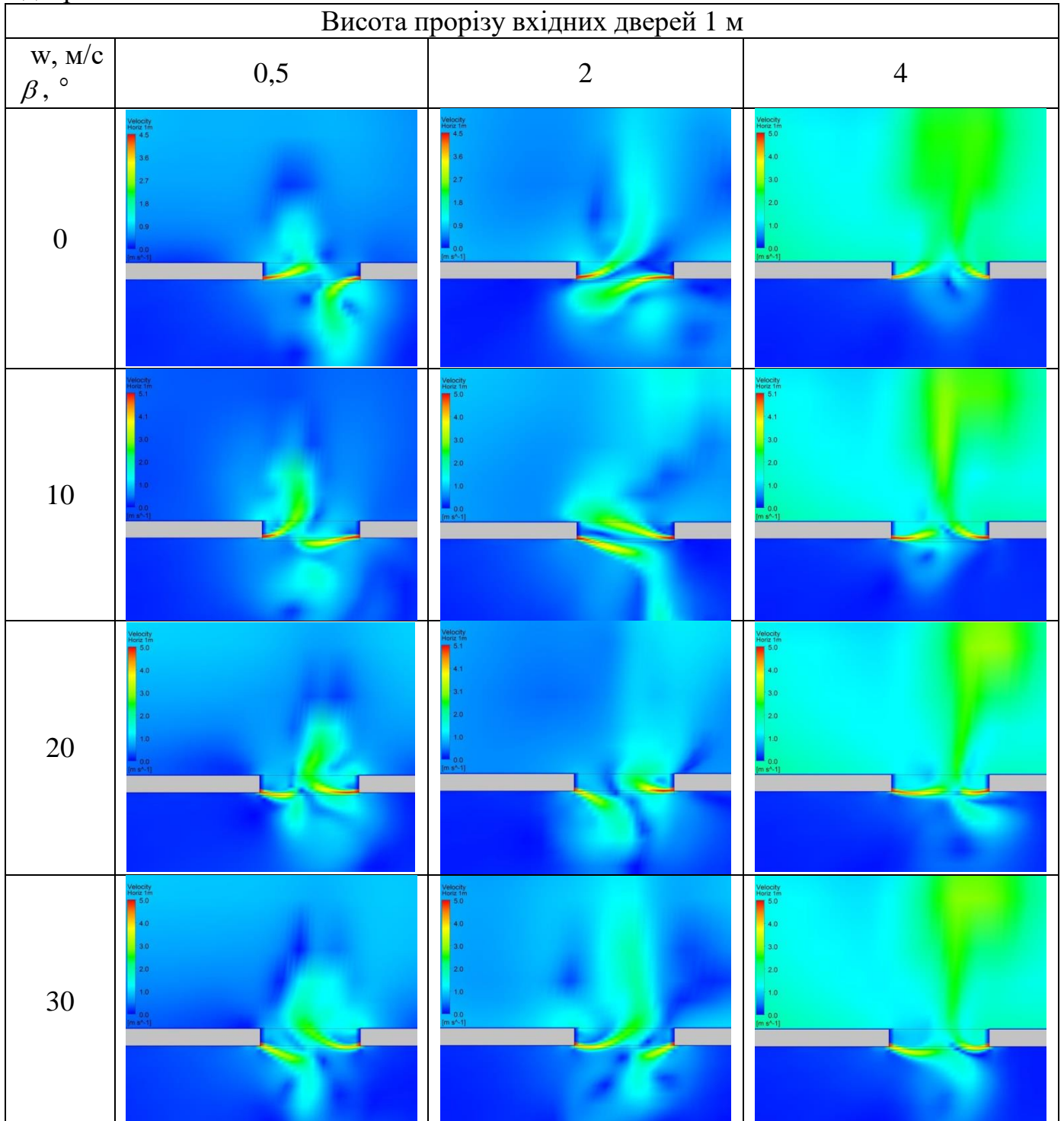
Таблиця 4.5 – Розподіл тиску при поперечному обтіканні



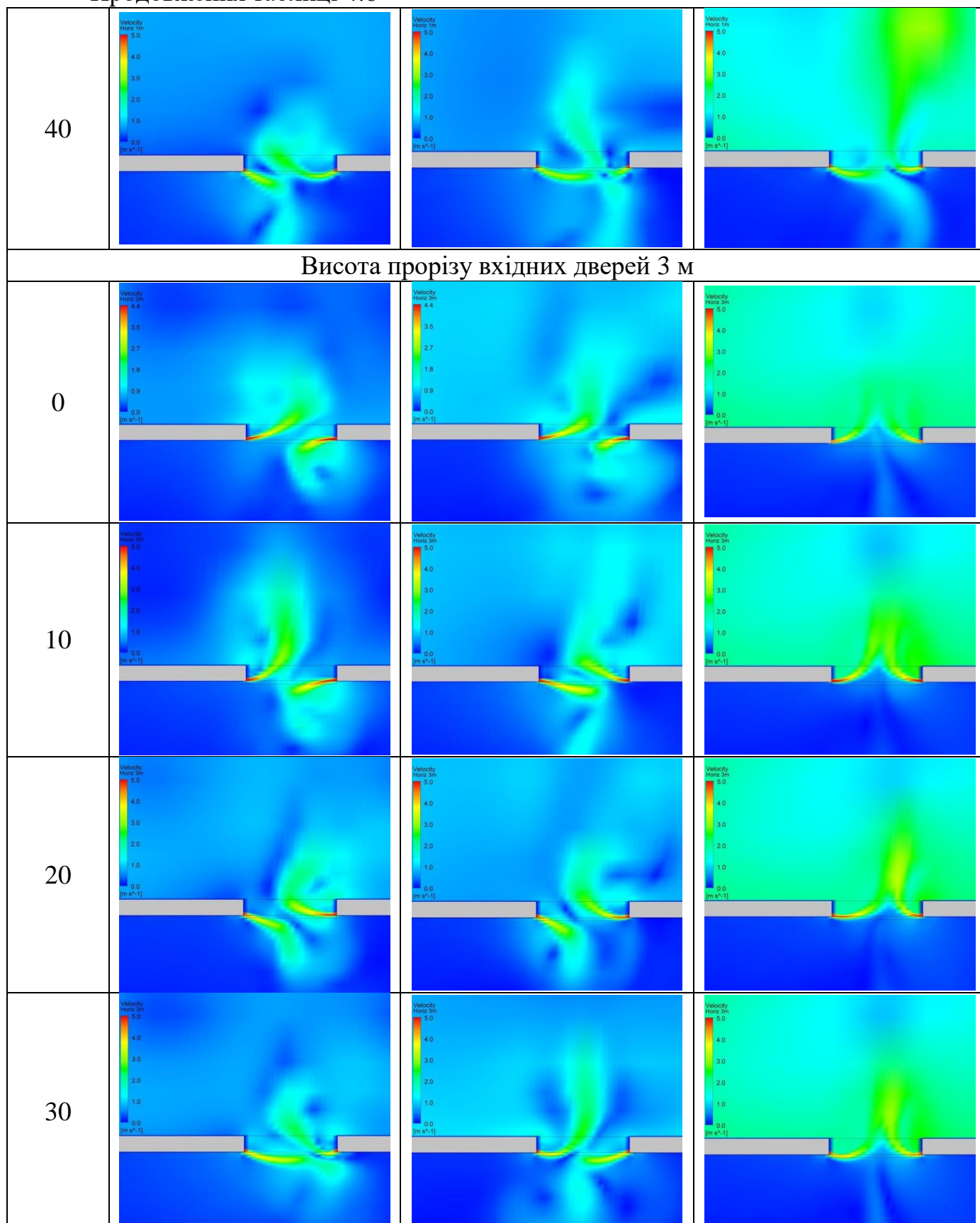
Якщо розглянути картину розподілу тиску в поперечній площині то помітно, що при малих швидкостях вітру зона розрідження майже відсутня, а починаючи від 2 м/с і більших швидкостях вітру виникає зона розрідження перед будівлею, яка впливає на роботу теплової завіси. Зона розрідження розповсюджується на всю висоту спортивного комплексу, а на трохи більше половини його висоти, що говорить про неоднакові умови роботи теплової завіси по висоті прорізу вхідних дверей.

Проведемо оцінку роботи теплової завіси при різних кутах спрямування потоків (напрямок спрямування в середину спортивного комплексу) в залежності від швидкості набігаючого потоку вітру по висоті прорізу входних дверей (табл. 4.6).

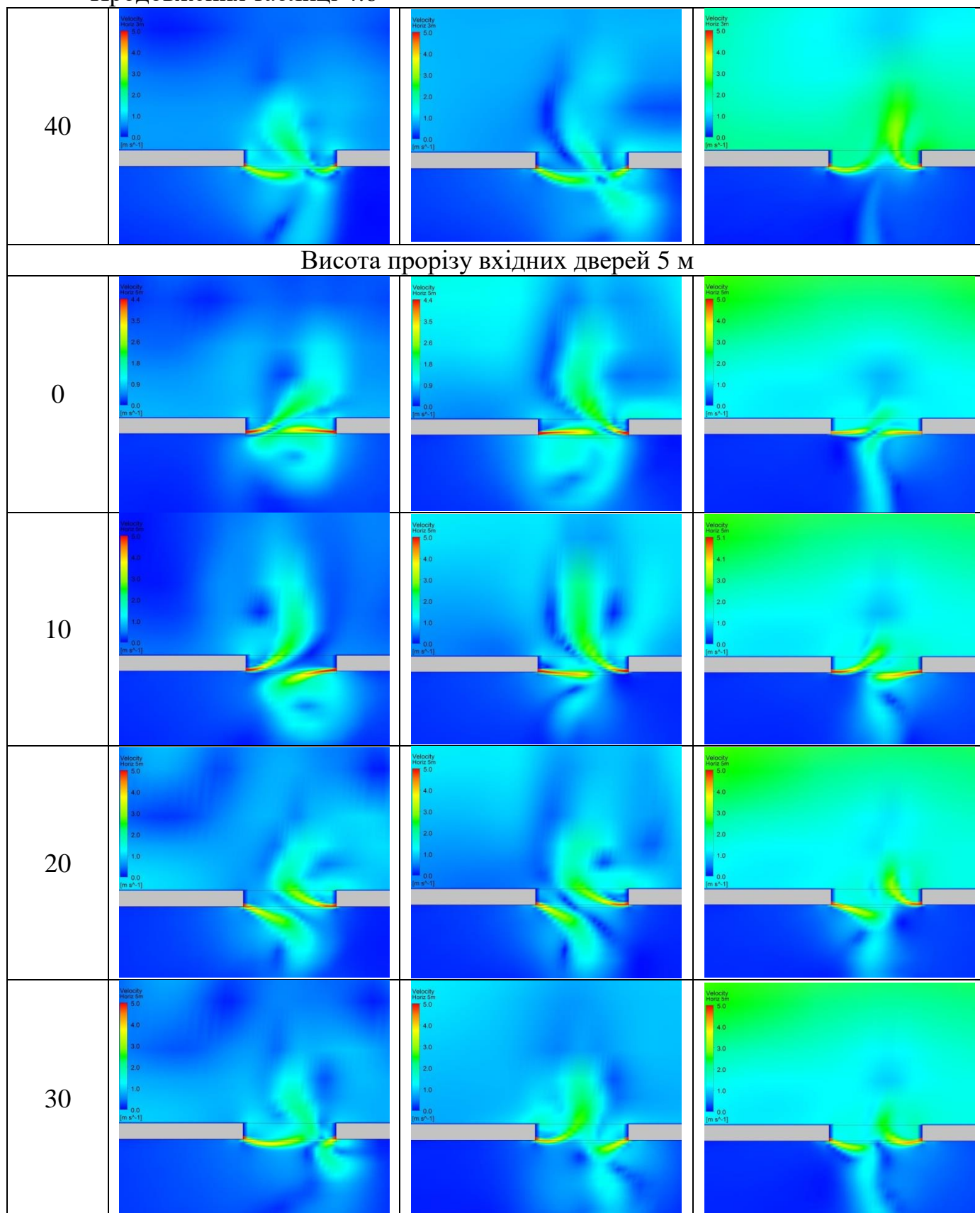
Таблиця 4.6 – Вплив швидкості потоку набігаючого повітря на характер роботи теплової завіси в залежності від кутів спрямування потоків завіси по висоті входних дверей



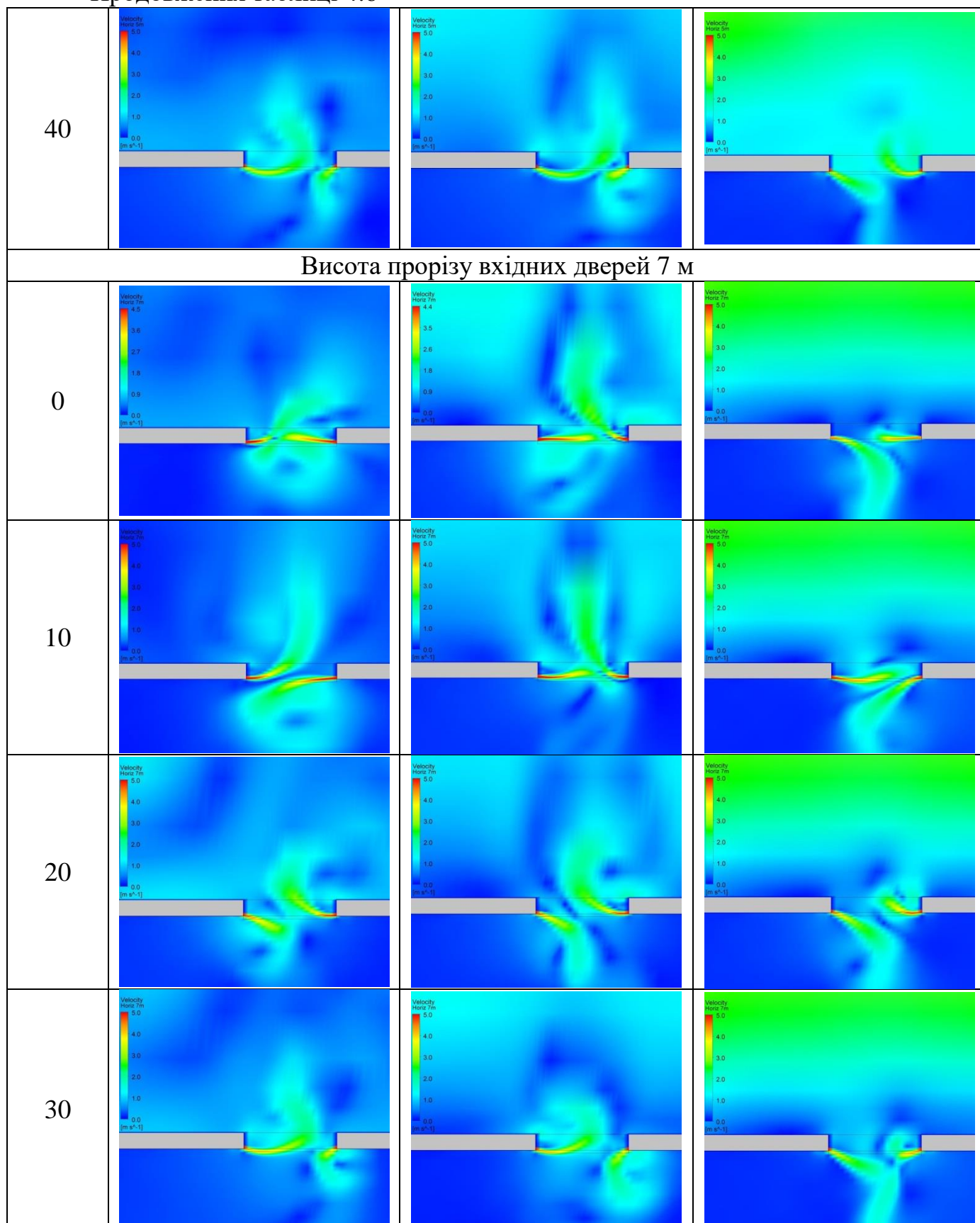
Продовження таблиці 4.6



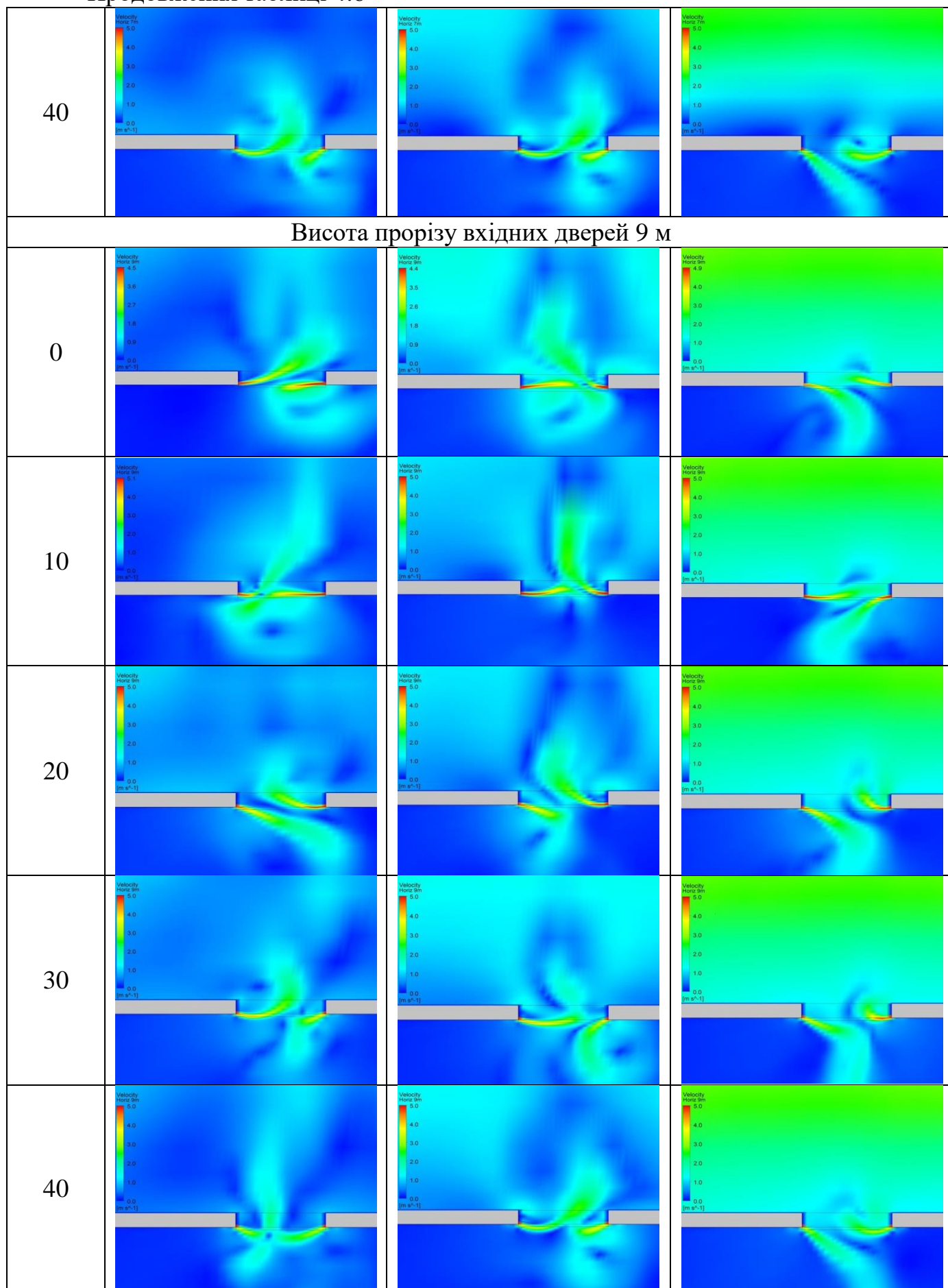
Продовження таблиці 4.6



Продовження таблиці 4.6



Продовження таблиці 4.6



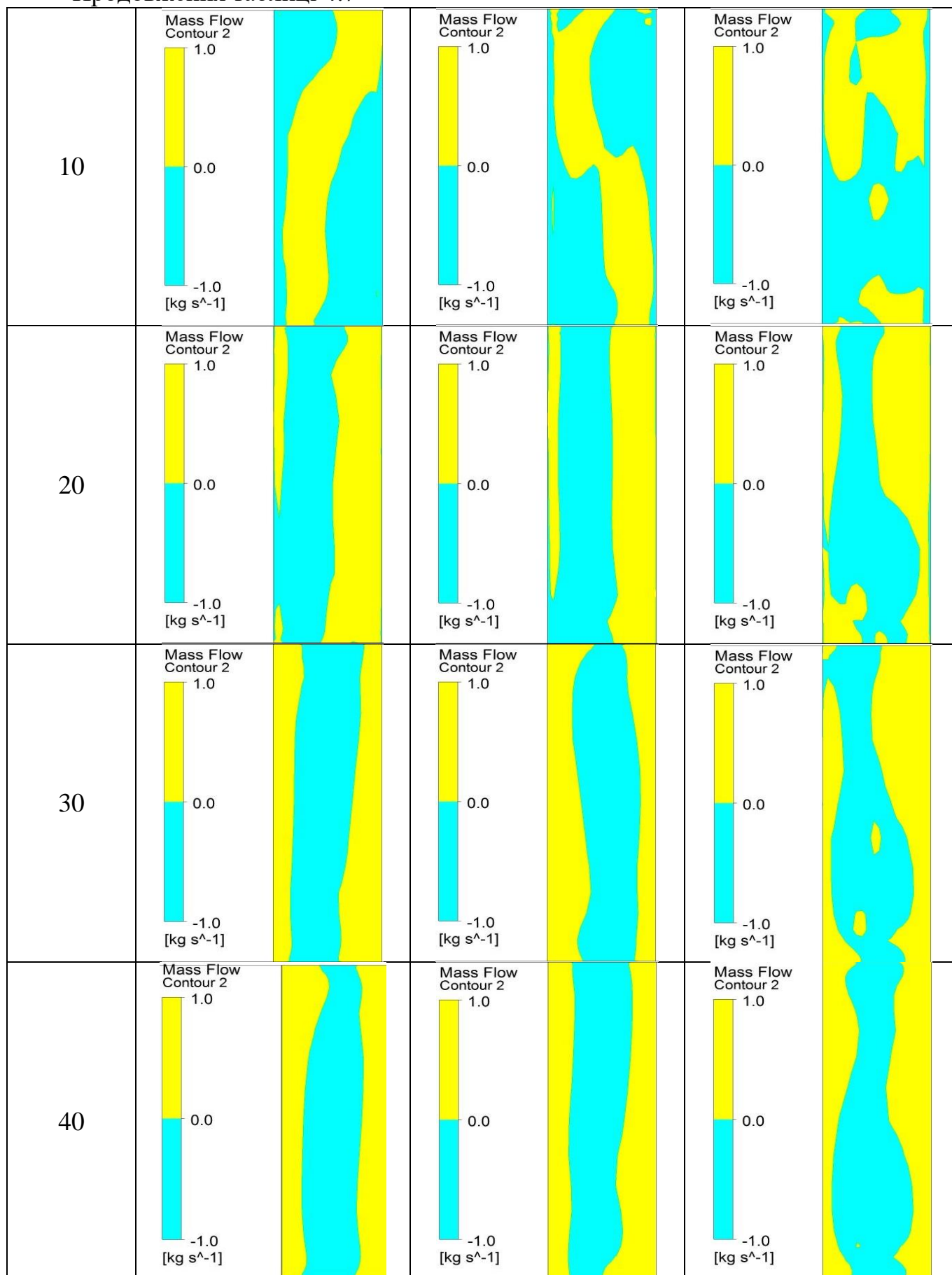
З візуалізацій поданих в таблиці 4.6 визначено закономірності. По-перше не залежно від кута спрямування потоків від теплової завіси при швидкостях вітру 4 і більше м/с тепло від потоків завіси видувається назовні до середини висоти вхідних дверей. Дане явище спричинене впливом зовнішнього обтікання будівлі спортивного комплексу (зона розрідження перед будівлею є причиною витягування теплових потоків від завіси у зовнішнє середовище). При низьких швидкостях повітря зовнішній набігаючий потік повітря майже не впливає на роботу теплової завіси. По-друге потоки від теплової завіси в верхній частині воріт переважно спрямовані всередину спортивного комплексу, а від частини, що внизу – назовні. Тобто якщо висота вхідних дверей велика то умови роботи теплової завіси у верхній і нижній частині вхідних дверей різні. По-третє взаємне положення потоків від теплових завіс (лівої та правої) змінюється залежно від моменту часу.

В будь-якому випадку при роботі теплової завіси частина корисного (від теплової завіси) повітря буде виходити назовні, а частина холодного зовнішнього повітря буде потрапляти всередину. Проаналізуємо зони в прорізі вхідних дверей де повітря буде виходити назовні, а де заходить всередину цеха за допомогою візуалізації (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Співвідношення масових витрат повітря, що входить і виходить з спортивного комплексу в прорізі вхідних дверей

$w, \text{ м/с}$ $\beta, ^\circ$	0,5	2	4
0	<p>Mass Flow Contour 2 1.0 0.0 -1.0 [kg s⁻¹]</p>	<p>Mass Flow Contour 2 1.0 0.0 -1.0 [kg s⁻¹]</p>	<p>Mass Flow Contour 2 1.0 0.0 -1.0 [kg s⁻¹]</p>

Продовження таблиці 4.7



В таблиці 4.7 жовтим кольором зображена зона, через яку повітря з спортивного комплексу виходить назовні, а блакитним – всередину спортивного комплексу. При низьких швидкостях вітру (до 2 м/с) наведені зони мають чітко виражену геометричну форму, а при швидкостях вітру 4 і більше м/с зони дещо змінюють форму у часі, що є причиною підвищеної турбулізації потоків повітря поблизу прорізу вхідних дверей. При кутах спрямування потоків від теплової завіси від 0° до 10° прослідковується відсікання більшості зовнішнього набігаючого повітря при видуванні назовні частини тепла від теплової завіси. А при кутах спрямування потоків від теплової завіси від 20° і більше зовнішнє повітря заходить переважно посередині прорізу вхідних дверей. Таким чином при наведених кутах спрямування потоків виникають так звані «ворота» між потоками (струями) від теплових завіс (див. табл. 4.6) через які і потрапляє холодне повітря з навколишнього середовища. Визначимо масові витрати повітря назовні та всередину спортивного комплексу у прорізі вхідних дверей (рис. 4.12).

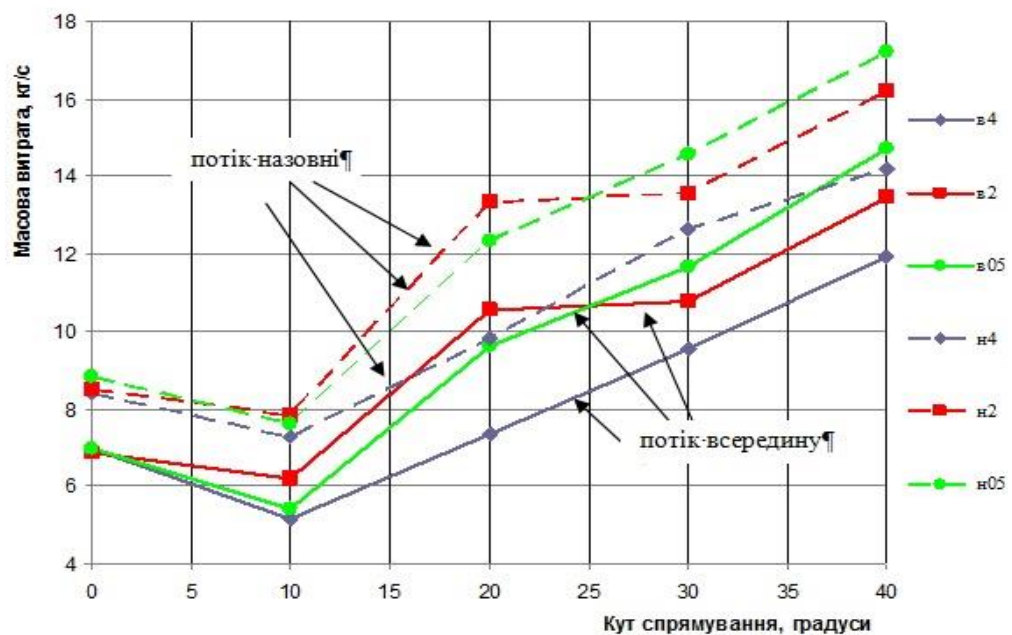


Рисунок 4.12 – Залежність кількості повітря, що витікає назовні та заходить всередину спортивного комплексу

Виходячи з наведеного графіку найефективніший кут спрямування потоків від теплової завіси складає 10° при якому в середину спортивного комплексу надходить найменша кількість холодного зовнішнього повітря і при цьому назовні витрачається мінімальна кількість корисного (нагрітого) повітря.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ, ЩО ОБІГРІВАЄТЬСЯ СИСТЕМОЮ «ТЕПЛА СТІНА»

Метою даної роботи є числове моделювання теплового стану приміщення, яке обігрівається променистою системою опалення «тепла стіна».

В даній роботі розроблено розрахункову модель, що дозволяє отримати інформацію про розподіл температури, швидкості руху повітря, наявності вихроутворень та зон застою в процесі прогрівання приміщення. Проаналізовано розподіл температурних полів в залежності від температури теплоносія (30°C, 32°C, 35°C, 40°C). Отримані залежності зміни температури (осередненої по об'єму та висоті приміщення) від часу прогрівання приміщення. Проаналізовано, при якій температурі теплоносія, умови будуть найбільш комфортними.

За допомогою розробленої моделі можна оцінювати дотримання санітарно-гігієнічних норм і забезпечення комфортних умов для нормальної життєдіяльності людей, а також спрогнозувати найбільш доцільний варіант проектування системи опалення з точки зору енергоефективності та комфорту. Також отримані результати та подальші дослідження нестационарних процесів прогрівання приміщень, які можуть бути в майбутньому використані при розробці систем автоматичного регулювання систем опалення (чергового опалення, пофасадного опалення тощо).

5.1 Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень

5.1.1 Створення тривимірної моделі

Для проведення чисельного експерименту приміщення була створена тривимірна модель за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 5.1).

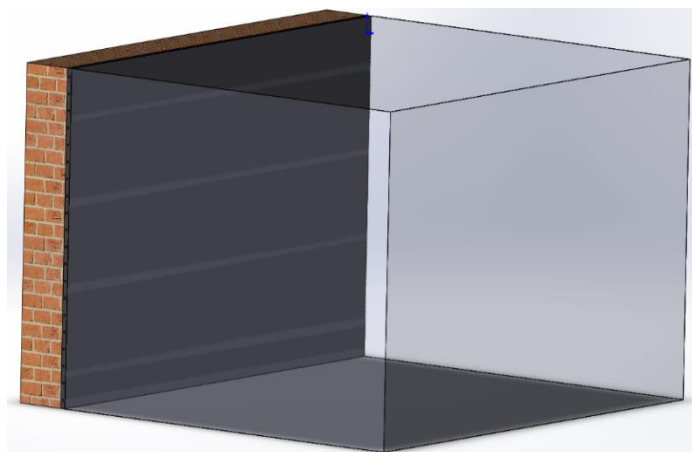


Рисунок 5.1 – Тривимірна модель приміщення

При створенні тривимірної моделі приміщення було наближено до реальних розмірів (4м × 5м × 3 м). При створенні тривимірної моделі приймалися деякі спрощення (ідеалізація моделі), виключалися ті елементи, які не суттєво впливають

на результати експерименту, які важко передбачити або реалізувати. А саме не враховувався вплив елементів інтер'єру. У якості опалювального приладу була спроектована панель радіаційно-конвективного способу передачі теплоти, яка складається з 20 секцій розмірами (довжина 5000 мм, висота 150 мм, товщина 50 мм, нагрівальний елемент \varnothing 20 мм). Зовнішній вигляд спроектованої панелі зображений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд спроектованої опалювальної панелі

Розрахунковою областю в даній розрахунковій задачі є внутрішній об'єм в приміщенні, зовнішня стіна та опалювальна панель (рис. 5.3).

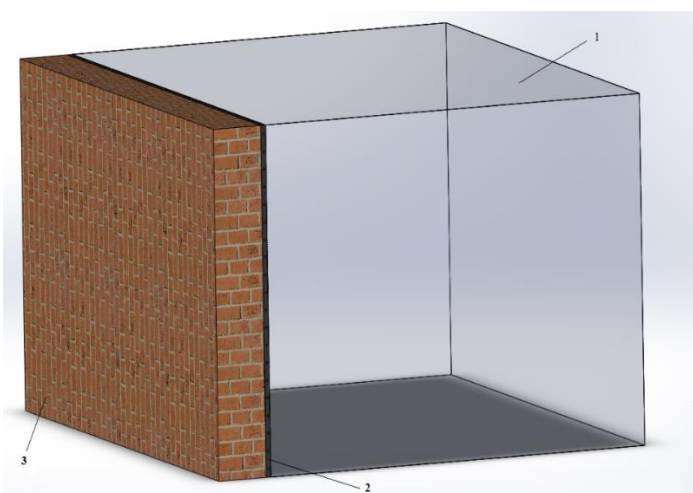


Рисунок 5.3 – Розрахункова область задачі:

1 – об'єм приміщення; 2 – опалювальна панель; 3 – зовнішня стіна

5.1.2 Побудова розрахункової сітки

Побудова розрахункової сітки являється невід'ємною частиною процесу комп'ютерного інженерного моделювання (створення чисельної моделі). Якість розрахункової сітки впливає на точність отриманих результатів, збіжність процесів, об'єм необхідних ресурсів, які будуть затрачені комп'ютером (об'єм оперативної пам'яті) та час необхідний для вирішення задачі.

Після створення тривимірної моделі розрахункової області була побудована розрахункова сітка. Для побудови розрахункової сітки використовувався генератор сіток ICSEM CFD 13. Для спрощення побудови сітки та покращення її якості, приміщення було поділене на три частини (об'єм повітря, опалювальна панель, стіна). В генераторі

ICEM CFD 13 була створена сітка області повітря (рис 5.4), сітка опалювальної панелі (рис. 5.5), сітка стіни (рис. 5.6).

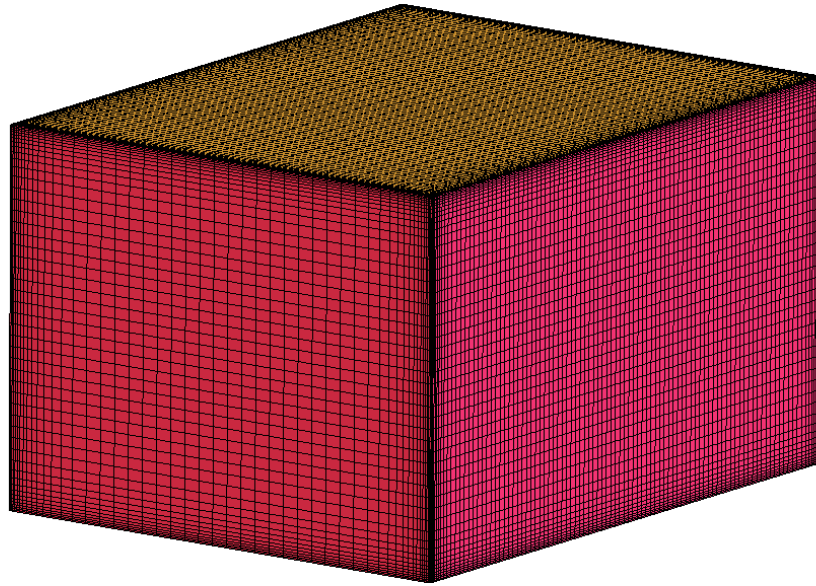


Рисунок 5.4 – Сітка розрахункової області повітря

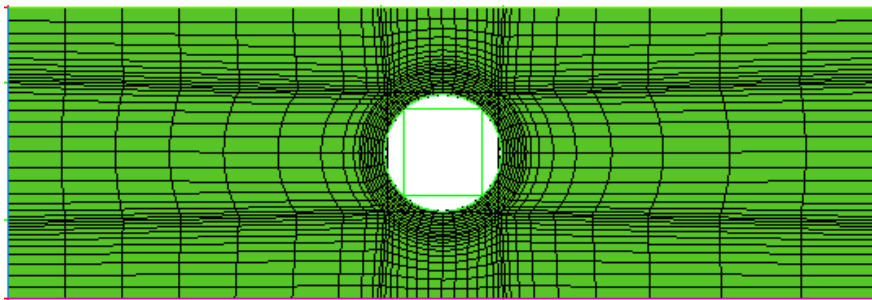


Рисунок 5.5 – Сітка розрахункової області опалювальної панелі

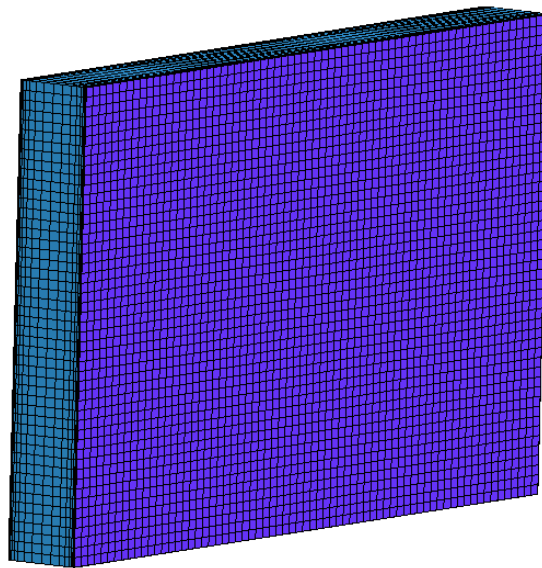


Рисунок 5.6 – Сітка розрахункової області стіни

Дана розрахункова сітка є блочно-структурованою гексаедрною. Сітка є структурованою (упорядкованою), тобто складається виключно з шестигранних

(об'ємних) елементів – гексаедрів, та має регулярну структуру з явними рядами елементів. Вибір такого типу сітки пояснюється тим, що дана геометрична модель розрахункової області представляє собою сукупність достатньо правильних елементарних об'ємів, для яких прийнятна впорядкована сітка елементів. Кожний блок представляє собою паралелепіпед, ребра і грані якого асоціюються з точками, лініями і поверхнями області геометрії. Для кожного блока будується структурована сітка, яка автоматично переноситься на асоційовану з блоком фігуру, тобто кожен блок розбивається на більш дрібні структурні елементи.

Знаючи принцип протікання процесів, які будуть досліджуватися в даній задачі визначаємо місця на геометричній моделі де будуть виникати швидкі зміни параметрів (зміна густини потоків, скачки температур, швидкостей і тд.). Для більш точного врахування цих змін подрібнювалися елементи розрахункової сітки (комірки) в місцях дії опалювальних приладів (рис. 5.7).

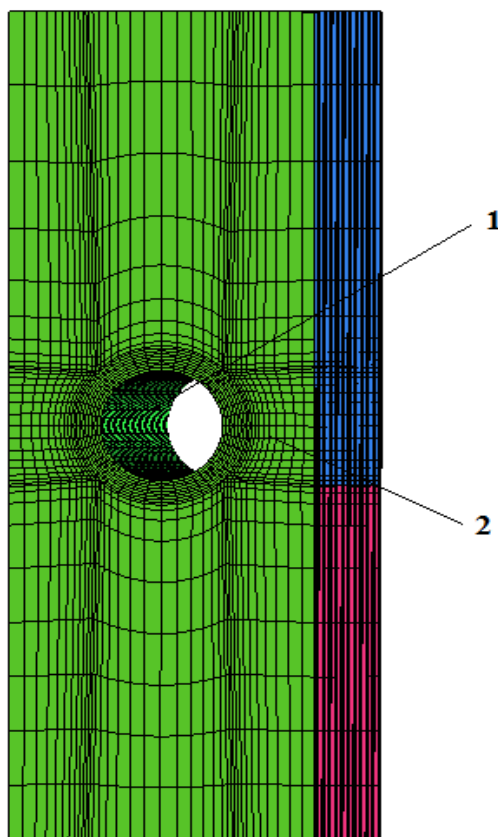


Рисунок 5.7 – Вигляд розрахункової сітки в області дії опалювальної панелі:
1 – трубка опалювальної панелі; 2 – комірка

Для більш коректного описання пристіночних течій поблизу твердих стінок (місць контакту повітря з твердою поверхнею) проводилося згущення комірок, при чому чим ближче до стінки тим комірки більш дрібніші, а чим ближче до внутрішньої зони розрахункової області тим вони крупніші. Крім того для підвищення якості сітки виконаний плавний перехід від комірок малого розміру до великого.

Основні параметри розрахункових сіток (область повітря, опалювальна панель, стіна) наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Основні параметри розрахункових сіток

Назва розрахункової області	Кількість елементів, шт.	Кількість вузлів, шт.
Область повітря	1033963	1000000
Опалювальна панель	1700000	1574000
Стіна	71876	66500
Всього	2805839	2640500

5.1.3 Опис розрахункової моделі

Для задання параметрів розрахункової області розрахункова сітка була імпортована в модуль Препроцесор CFX-Pre (рис. 5.8).

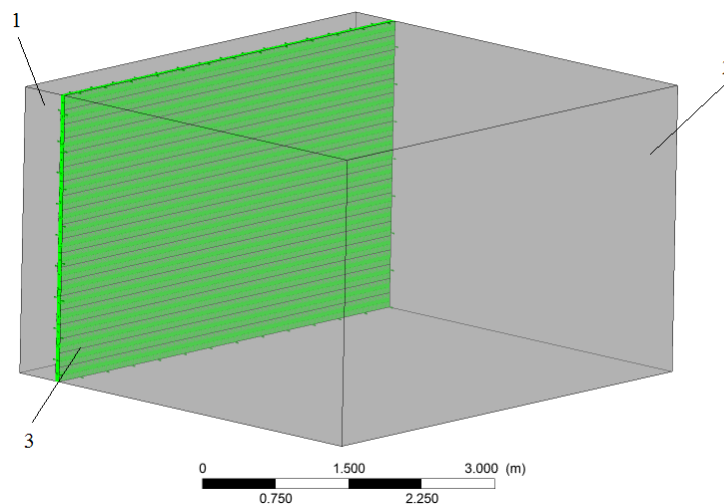


Рисунок 5.8 – Розрахункова область в Препроцесорі:

1 – зовнішня стіна; 2 – розрахункова область повітря; 3 – опалювальна панель

В Препроцесорі задаються умови однозначності (крайові умови) та вибираються математичні моделі, які необхідні для чисельного вирішення задачі (створюється розрахункова модель). За допомогою Препроцесора створювалася розрахункова модель складного теплообміну (радіаційно-конвективного) в розрахунковій області, тобто описані процеси конвективного теплообміну, що супроводжуються тепловим випромінюванням. Конвективний теплообмін – спільний процес перенесення теплоти конвекцією та теплопровідністю. В цій задачі розрахунковою областю є об'єм, який займає повітря в приміщенні тому конкретно буде розглядатися процес передачі тепла від поверхонь твердих стінок (опалювальних приладів, стін, підлоги, стелі, дверей, вікна, меблів) до повітря (складна тепловіддача). При цьому теплота переноситься конвекцією завдяки контактній стінці з повітрям, що її обтікає, і ті самі стінки випромінюють і поглинають енергію, обмінюючись потоками випромінювання з повітрям і навколишніми предметами.

Зазначені вище процеси розповсюдження теплоти в розрахунковій області являються нестационарними (змінюються в часі), тому проведений розрахунок в стаціонарній постановці (приведений до певного моменту в часі). Для математичного визначення даної задачі задавалися умови однозначності (крайові умови) [16], що містять:

- геометричні умови, які характеризують форму і розміри тіла (розрахункової області);
- фізичні умови, які характеризують фізичні властивості тіла (густина, в'язкість, теплопровідність тощо);
- часові умови, які формують особливості перебігу процесу в часі (задаються для нестационарного процесу);
- граничні умови, що характеризують умови протікання процесу на межах тіла (розрахункової області).

Геометричні розміри і форма розрахункової області автоматично визначаються модулем Препроцесор, так як дана геометрична модель представляє собою структуровану сітку, принцип побудови якої описаний в підрозділі 5.1.2.

Робочим тілом в даній розрахунковій області є повітря, термодинамічні параметри якого наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Термодинамічні параметри повітря

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Молярна маса	кг/Кмоль	28,96
Густина	$кг/м^3$	1,284
Питома теплоємність ($p = const$)	Дж/кг·К	1003,8
Тиск	атм	1
Коефіцієнт теплового розширення	$К^{-1}$	0,00366
Динамічна в'язкість	$Па \cdot c$	$1,725 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/м·К	$2,428 \cdot 10^{-2}$
Коефіцієнт поглинання	$м^{-1}$	0,01

При вирішенні задачі з моделювання теплового стану приміщення був розрахований стаціонарний процес розповсюдження теплоти в розрахунковій області за допомогою системи «тепла стіна». Часові умови для розрахунку даних процесів наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Часові умови

Параметри	Розмірність	Чисельне значення
Початковий час	хв.	0
Крок розрахунку	хв.	0,5
Загальний час розрахунку	хв.	360

Граничні умови можна задавати трьома способами. В даному випадку застосовувалися граничні умови першого роду. За граничних умов першого роду задавався розподіл температури на поверхні стінки T_c для кожного проміжку часу τ :

$$T_c = f(x, y, z, \tau), \quad (5.1)$$

де x, y, z – координати поверхні тіла (рис. 5.8).

Оскільки розглядався достатньо вузький проміжок часу (до 1 години), а процес зміни температури стінок достатньо інерційний то приймалося, що температура на поверхні твердих стінок протягом заданого проміжку часу залишається величиною сталою, а рівняння (1) набуває вигляду:

$$T_c = const.$$

Граничні умови на кожному з елементів приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Граничні умови

Тверда стінка	Температура поверхні, К (°C)
Стеля	288 (15)
Стіни	288 (15)
Зовнішня стіна	271,6 (-1,4)
Опалювальна труба	303 (30), 305 (32), 308(35), 313 (40)

Усі тверді стінки були прийняті шорсткими, середнє арифметичне відхилення профілю (R_a) складало 50 мкм.

При розрахунку використовувалась модель гравітації, яка дозволяє врахувати процес вільної (природної) конвекції в замкнутому об'ємі, що обумовлена дією масових (об'ємних) сил. Масові сили – сили, що прикладені до всіх частинок речовини і діють під впливом зовнішніх силових полів (поле гравітації). Природна конвекція виникає під час теплообміну внаслідок теплового розширення нагрітого біля поверхні тепловіддачі повітря (різниці густин нагрітих і холодних об'ємів середовища). Інтенсивність теплового розширення повітря характеризується температурним коефіцієнтом об'ємного (теплового) розширення [17]:

$$\beta = \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_{P=const},$$

де $v = \frac{1}{\rho}$ – питомий об'єм повітря, $\frac{m^3}{kg}$;

ρ – густина повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Для повітря коефіцієнт об'ємного розширення можна наближено отримати, користуючись рівнянням Клапейрона [17]:

$$\beta = \frac{1}{T}.$$

Запишемо значення коефіцієнта об'ємного розширення через різницю питомих об'ємів та густини [17]:

$$\beta \approx \frac{1}{v} \cdot \frac{v - v_p}{t - t_p} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p \cdot (t - t_p)}, \frac{1}{\text{К}},$$

де v_p – питомий об'єм, ρ_p – густина, t_p – температура холодного повітря;

v – питомий об'єм, ρ – густина, t – температура прогрітого повітря.

Наявність різниці густин призводить до того, що на будь-який одиничний об'єм прогрітого повітря діятиме підймальна сила F_{Π} , яка дорівнює алгебраїчній сумі виштовхувальної архімедової сили $A = \rho_p \cdot g$ і сили ваги $G = \rho \cdot g$ [17]:

$$F_{\Pi} = A - G = g \cdot (\rho_p - \rho) = \beta \cdot \rho_p \cdot g \cdot (t - t_p), \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Підймальна сила F_{Π} переміщує прогріте повітря вгору так і виникає природна конвекція. В даній задачі наша розрахункова область побудована в просторових координатах X, Y, Z (рис. 2.13), тому для врахування моделі гравітації по координатній осі Y було задано значення прискорення вільного падіння g :

$$Y = -g = -9,81, \text{м/с}^2.$$

Задавалися наступні значення швидкості руху повітря в приміщенні на початку прогрівання:

$$U_x = 0, \text{м/с};$$

$$U_y = 0, \text{м/с};$$

$$U_z = 0, \text{м/с}.$$

Швидкість по всім трьом координатам рівна нулю, отже в даній задачі розглядалося переміщення повітря залежно від різниці температур на поверхнях твердих стінок (опалювальні прилади, стіни, стеля, підлога і тд.).

Для вирішення задачі використовувалась модель теплообміну в постановці (Thermal Energy), що включає сукупність транспортних рівнянь: нерозривності,

імпульсу, повної енергії (збереження енергії). Зазначені рівняння в подальшому використовуються для вирішення теплового енергетичного рівняння. Рівняння нерозривності, імпульсу, збереження енергії в стаціонарній структурі (операторному вигляді) мають вигляд:

– рівняння нерозривності [18]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U) = 0,$$

де U – вектор швидкості $U_{x,y,z}, \text{м/с}$.

– рівняння імпульсу [9]:

$$\frac{\partial(\rho \cdot U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + S_M,$$

де τ – молекулярний тензор напруження (напруження зсуву), $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$.

5.2 Аналіз та обговорення результатів числового моделювання теплового стану приміщення з системою обігріву «тепла стіна»

5.2.1 Загальний аналіз результатів розрахунків

В результаті чисельного дослідження математичної моделі теплового стану приміщення були отримані основні параметри в розрахунковій області при виході на стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря). Основні гідромеханічні та теплофізичні параметри були осереднені по об'єму площ розрахункових областей. В табл. 5.5, табл. 5.6, табл. 5.7 наведені основні геометричні, гідромеханічні, теплофізичні та оптичні параметри розрахункових областей при досягненні стаціонарного режиму (теплової рівноваги).

Таблиця 5.5 – Основні геометричні, гідромеханічні та теплофізичні параметри розрахункової області повітря

Назва параметру	Розмірність	Область повітря
Ширина	м	4
Висота	м	3
Довжина	м	5
Густина	кг/м^3	1,284

Продовження таблиці 5.5

Назва параметру	Розмірність	Область повітря
Динамічна в'язкість	$\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$	$1,725 \cdot 10^{-5}$
Швидкість	м/с	0,073
Коефіцієнт теплового розширення	K^{-1}	$3,66 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт теплопровідності повітря	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$	$2,428 \cdot 10^{-2}$
Питома теплоємність повітря ($p = \text{const}$)	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$1,0038 \cdot 10^3$
Число Рейнольдса (Re)	-	21288
Число Прандтля (Pr)	-	0,713
Число Грасгофа (Gr)	-	$7,04 \cdot 10^{10}$
Число Релея (Ra)	-	$9,72 \cdot 10^{10}$
Абсолютний коефіцієнт розсіювання	м^{-1}	$1,0 \cdot 10^{-2}$

Таблиця 5.6 – Основні геометричні, гідромеханічні та теплофізичні параметри розрахункової області опалювальної панелі

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Мінімальна ступінь	м	0,05
Максимальна ступінь	м	5,2
Визначальний геометричний розмір	м	0,989
Густина	кг/м^3	2300
Температуропровідність		$6,917 \cdot 10^{-7}$
Коефіцієнт теплопровідності	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$	1,4
Середньо об'ємна температура	$^{\circ}\text{C}$	32

Таблиця 5.7 – Основні геометричні, гідромеханічні та теплофізичні параметри розрахункової області стіни

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Мінімальна ступінь	<i>m</i>	0,4
Максимальна ступінь	<i>m</i>	5,1
Визначальний геометричний розмір	<i>m</i>	2,154
Густина	$кг/м^3$	1920
Температуропровідність		$4,491 \cdot 10^{-7}$
Коефіцієнт теплопровідності	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	0,72
Середньо об'ємна температура	$^{\circ}C$	13,6

Як вже згадувалося в приміщенні відбувається процес вільної термогравітаційної конвекції. Визначальними параметрами цього процесу є безрозмірні числа (критерії) Прандтля (*Pr*), Грасгофа (*Gr*) та Релея (*Ra*). Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості повітря в приміщенні та є однаковим при різних типах опалення. Критерій Грасгофа характеризує відношення підйімальної сили, яка виникає внаслідок різниці густин в різних точках розрахункової області (теплового розширення), до сили в'язкісного тертя. Під час вільної конвекції режим руху повітря характеризується числом Релея. Результати розрахунків демонструють, що в приміщенні число Релея $Ra = Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$, а це означає, що режим руху повітря є турбулентним.

Для оцінки більш повної картини процесів в приміщенні, в табл. 5.8 наведено максимальні та мінімальні значення основних розрахункових параметрів, не враховуючи параметри осереднені по об'єму розрахункової області.

Таблиця 5.8 – Максимальні та мінімальні значення параметрів розрахункової області повітря

Назва параметру	Розмірність	min	max
Статична ентропія	$\frac{Дж}{кг \cdot К}$	65,7	105
Інтенсивність випромінювання	$\frac{Вт}{м^3}$	61,3	271
Швидкість <i>U</i> (координата <i>X</i>)	<i>m/c</i>	- 0,167	0,145
Швидкість <i>V</i> (координата <i>Y</i>)	<i>m/c</i>	- 0,303	0,152

Продовження таблиці 5.8

Назва параметру	Розмірність	min	max
Швидкість W (координата Z)	$м/с$	- 0,161	0,170
Тиск	ат	- 0,0043	0,189
Турбулентна кінетична енергія	-	$5,56 \cdot 10^{-9}$	$2,31 \cdot 10^{-2}$
Швидкість дисипації	-	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-1}$
Турбулентна в'язкість	$Па \cdot с$	$1,62 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Статична ентальпія	$\frac{Дж}{кг}$	$1,85 \cdot 10^4$	$3,02 \cdot 10^4$

Отримані значення швидкостей по трьом просторовим координатам дозволяють охарактеризувати особливості руху повітря в приміщенні. Значення швидкостей руху повітря по координатам X та Z (по ширині та довжині приміщення) змінюються в незначному діапазоні. Значення швидкостей при використанні «теплої стіни» мають достатньо стабільні значення по всьому об'єму приміщення. Більша різниця температур (температурний напір) інтенсифікує процес вільної термогравітаційної конвекції, виникає більша різниця густини повітря в різних точках приміщення і нагріте повітря швидше піднімається вгору (вздовж координати Y).

5.2.2 Аналіз результатів розрахунків

Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму приміщення (стан теплової рівноваги) при прогріванні «теплою стіною» при температурі теплоносія $40^{\circ}C$ (рис. 5.9).

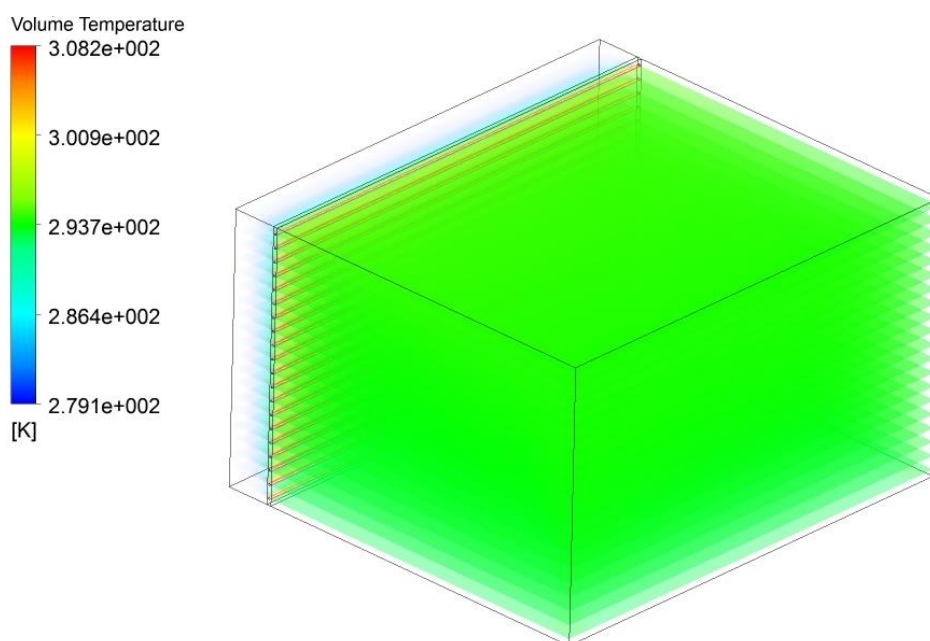


Рисунок 5.9 – Розподіл температури по об'єму приміщення при температурі $40^{\circ}C$

Температура повітря по об'єму приміщення при опаленні «теплою стіною» майже не змінюється і при виході на стаціонарний режим є майже сталою у часі. Якщо взяти дві точки в різних кінцях приміщення, то спостерігається така температура: точка 1 – 293,689 К; точка 2 – 293,879 (рис 5.10). Встановлено, що температура розподіляється майже рівномірно по всьому приміщенню із незначними коливаннями в 0,2°C.

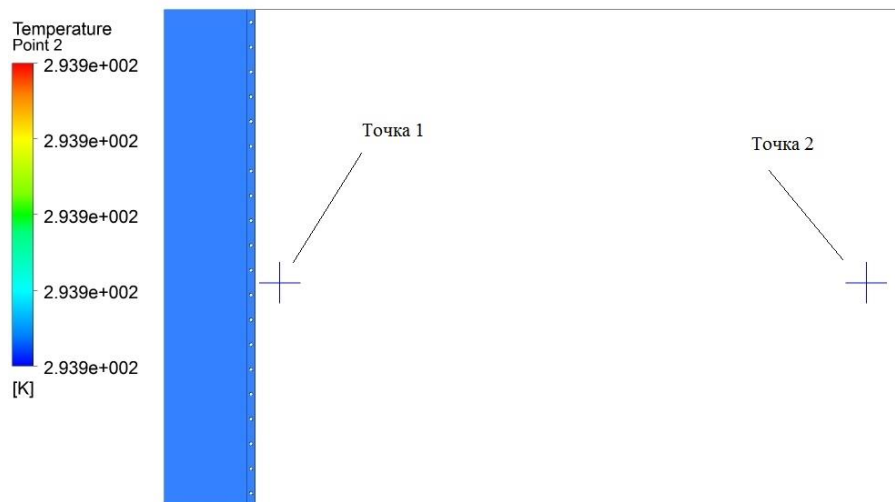


Рисунок 5.10 – Температура приміщення в різних точках

На рисунку 5.11 приведена візуалізація швидкості руху повітря в об'ємі приміщення в стаціонарному режимі. При опаленні приміщення системою «тепла стіна» в приміщенні виникає турбулентний рух повітря з утворенням декількох потужних вихорів, які в процесі прогрівання змінюють свої розміри. Прогріте поверхнею «теплої стіни» повітря підіймається до стелі, потім вздовж стелі рухається до протилежної стіни, далі опускається до підлоги, потім процес повторюється. Тобто в приміщенні прослідковувався круговий рух повітря, утворювалися вихори. Було зазначено, що швидкість руху повітря підвищується у пристіночних зонах, а при наближенні до центру приміщення швидкість руху істотно зменшується. При використанні даного типу опалення забезпечується гарне перемішування повітря, що обумовлює швидке прогрівання приміщення та рівномірний розподіл температури по об'єму.

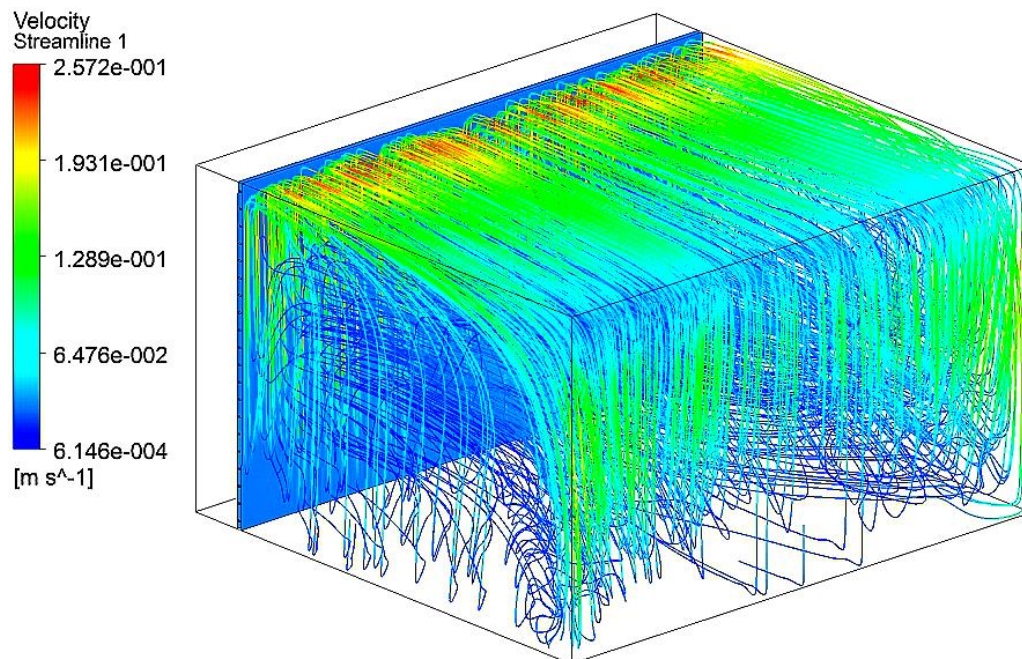


Рисунок 5.11 – Швидкість руху повітря в об’ємі приміщення при температурі 40°C

Проведена візуалізація розподілу температури по висоті приміщення при прогріванні «теплою стіною» (рис. 5.12).

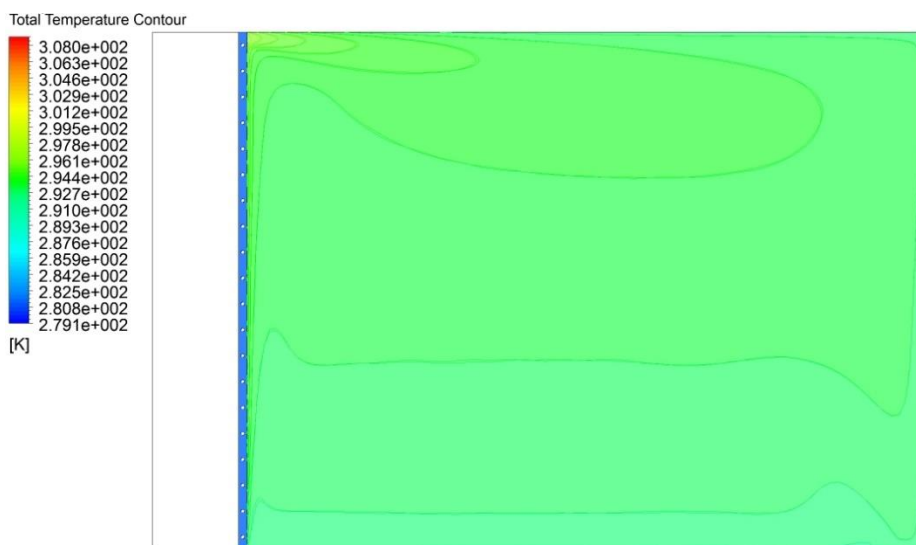


Рисунок 5.12 - Розподіл температури по висоті приміщення

Візуалізація підтверджує, що температура по висоті приміщення змінюється, але не суттєво, тому розподіл температури відбувається рівномірно по всьому об’єму приміщення.

5.2.3 Розподіл температури в приміщенні залежно від температури теплоносія

Розглянутий характер процесу прогрівання приміщення в часі при використанні теплоносія температурою 30°C. Температура осереднена по всьому об’єму приміщення (рис. 5.13).

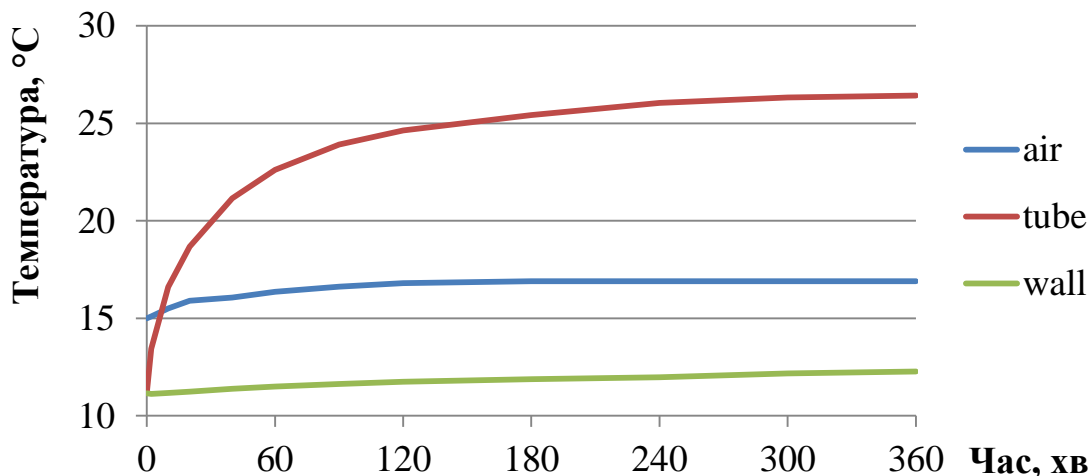


Рисунок 5.13 – Осереднення температури по областям розрахункової моделі

Процес прогрівання приміщення у часі при використанні системи опалення «тепла стіна» в загальному випадку описується поліноміальною залежністю третього порядку:

$$T^V = C_3 \cdot \tau^3 - C_2 \cdot \tau^2 + C_1 \cdot \tau + T_{II}^V,$$

де T^V – осереднена по об'єму температура повітря в приміщенні в момент часу прогрівання τ , K ;

C_1 , C_2 та C_3 – константа;

τ – час прогрівання приміщення, c ;

T_{II}^V – осереднена по об'єму температура в приміщенні до початку його прогрівання, K .

Для нашого випадку розглянутий процес описується залежністю:

$$T^V = 0,0000002 \cdot \tau^3 - 0,0001 \cdot \tau^2 + 0,0259 \cdot \tau + 15,171$$

Значення показника достовірності апроксимації складає $R^2=97,52\%$.

Аналіз графіку демонструє, що при теплоносії $30^\circ C$, об'єм приміщення прогривається до $16,6^\circ C$. Перші 20 хвилин характеризуються швидким прогріванням повітря в приміщенні. За шість годин приміщення прогрілося на $1,6^\circ C$ і вийшло на стаціонарний режим прогрівання. Зовнішня стіна прогрілася за шість годин на $1,1^\circ C$.

Графічно проілюстрований розподіл температури по ширині приміщення у часі (рис. 5.14).

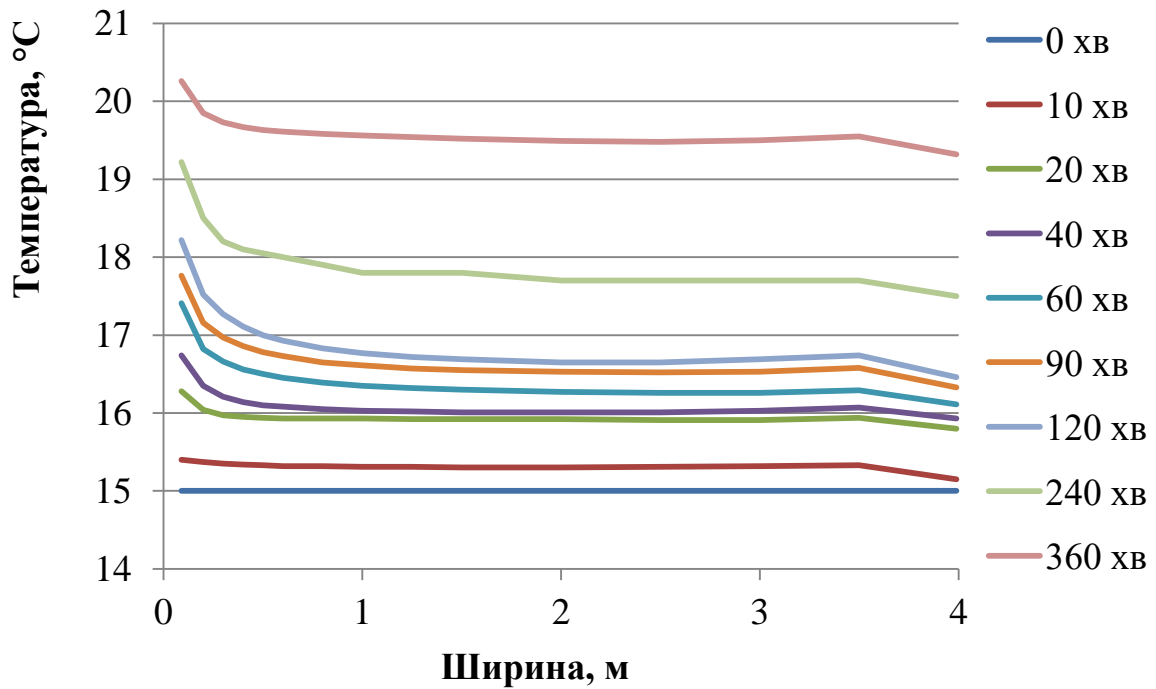


Рисунок 5.14 – Розподіл температури по ширині приміщення

Графічно видно як прогрівається кімната по ширині в часі. Якщо порівняти дві крайні точки кімнати, то температура коливається в межах 1°C , такі умови є комфортними.

Проілюстрований розподіл температури по висоті приміщення у часі (рис. 5.15). Графічно видно як прогрівається кімната по висоті в часі. За 10 хв. прогрівання, температура піднялася на $0,7^{\circ}\text{C}$. Підсумовуючи, температура розподіляється рівномірно по всій висоті приміщення, що є дуже гарно з точки зору комфортності. За шість годин прогрівання температура майже досягає $19,8^{\circ}\text{C}$ і перепад температури по висоті складає $0,5^{\circ}\text{C}$. Як показали результати, температура повітря в приміщенні в діапазоні висот від 0,5 до 2,2 метрів є майже сталою:

$$T^h = const$$

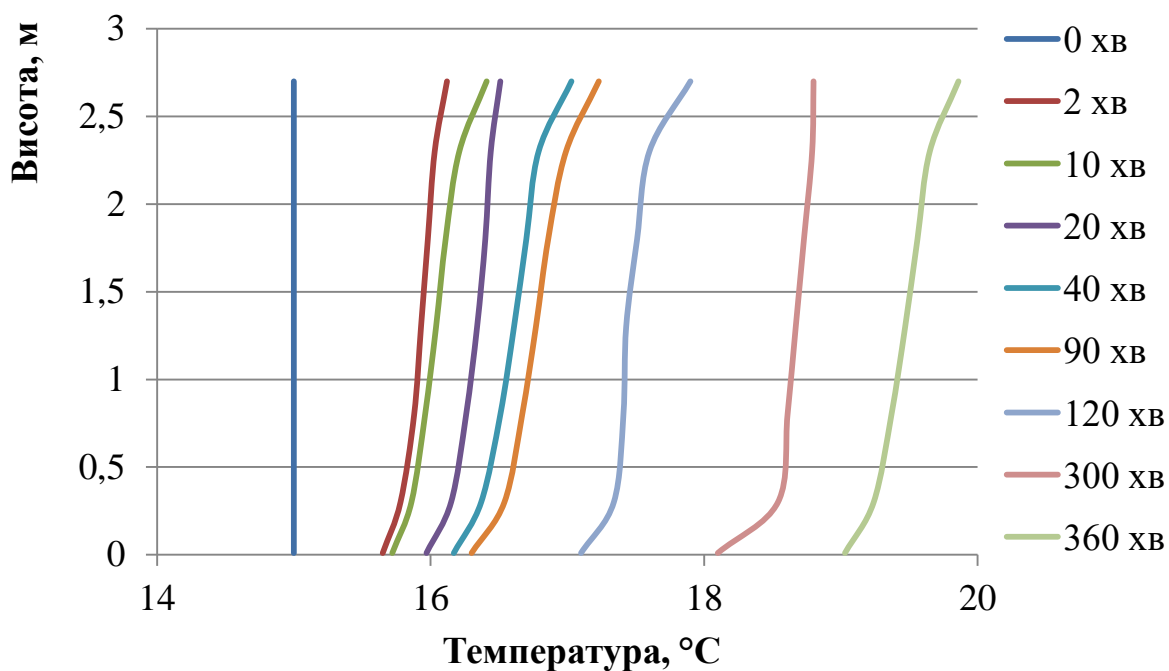


Рисунок 5.15 – Розподіл температури по висоті приміщення

Розглянутий характер процесу прогрівання приміщення в часі при використанні теплоносія 32°C . Температура осереднена по всьому об'єму приміщення (рис. 5.16).

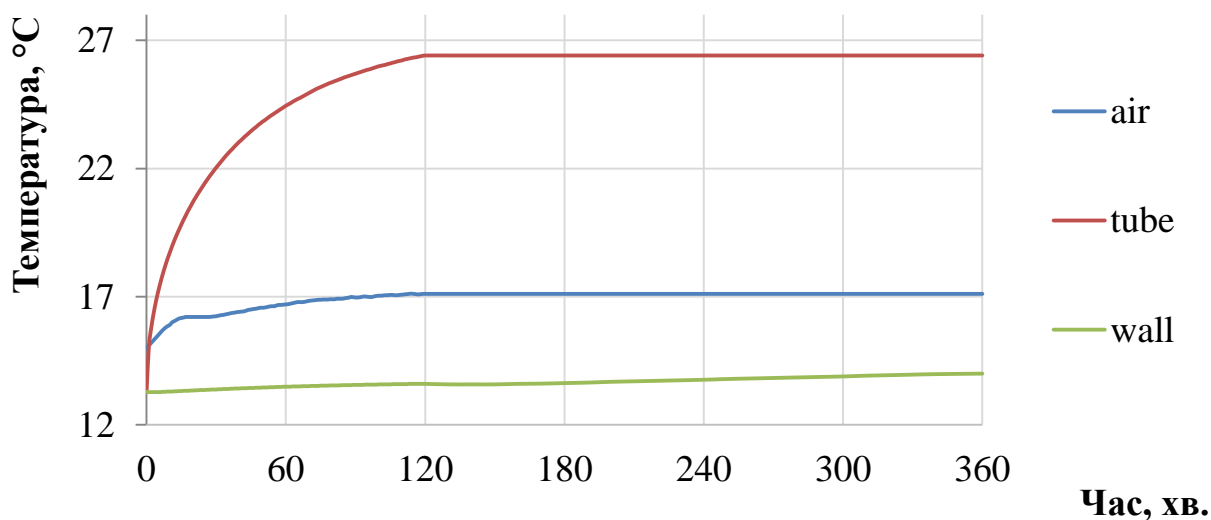


Рисунок 5.16 – Осереднення температури по об'єму приміщення

Аналіз графіку демонструє, що при теплоносії 32°C , об'єм приміщення прогривається до $16,7^{\circ}\text{C}$. Перші 20 хвилин характеризуються швидким прогріванням повітря в приміщенні. За шість годин приміщення прогрілося на $1,7^{\circ}\text{C}$ і вийшло на стаціонарний режим прогрівання. Зовнішня стіна прогрілася за дві години на $1,7^{\circ}\text{C}$.

Графічно проілюстрований розподіл температури по ширині приміщення у часі (рис. 5.17).

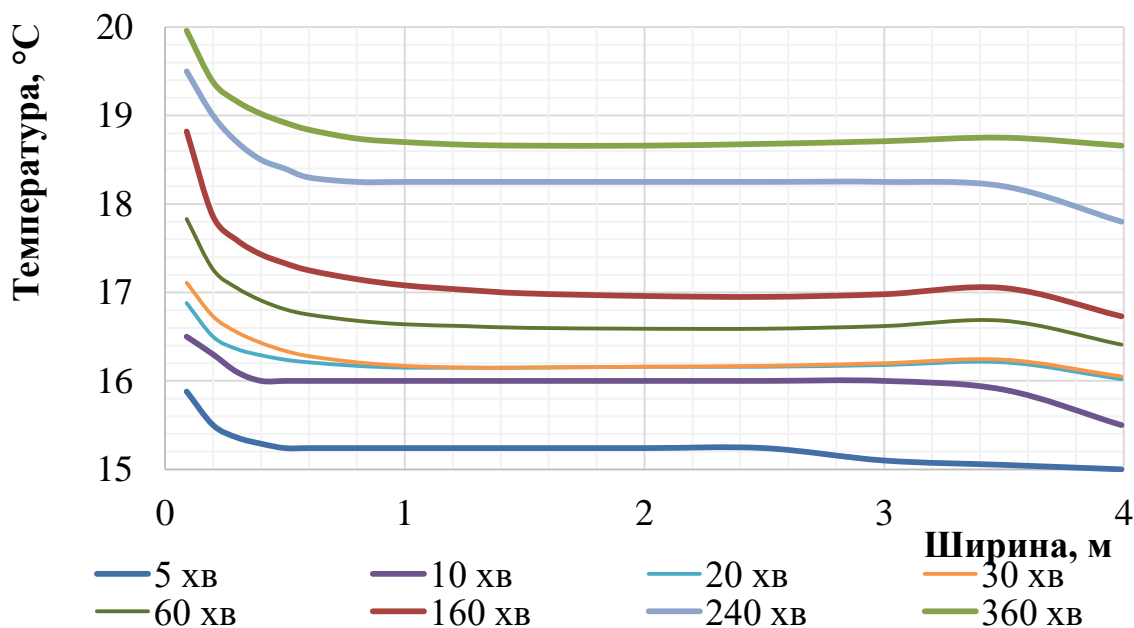


Рисунок 5.17 – Розподіл температури по ширині приміщення

Графічно видно як прогрівається кімната по ширині в часі. Порівнюючи дві крайні точки кімнати, температура коливається в межах $\approx 1,2^{\circ}\text{C}$, такі умови є комфортними.

Проілюстрований розподіл температури по висоті приміщення у часі (рис. 5.18). Графічно видно як прогрівається кімната по висоті в часі. Проаналізувавши графік, температура розподіляється рівномірно по всій висоті приміщення, що є дуже гарно з точки зору комфорту. За шість годин прогрівання температура досягає 20°C і перепад температури по висоті складає $0,5^{\circ}\text{C}$. Як показали результати, температура повітря в приміщенні в діапазоні висот від 0,5 до 2 метрів є майже сталою:

$$T^h = const .$$

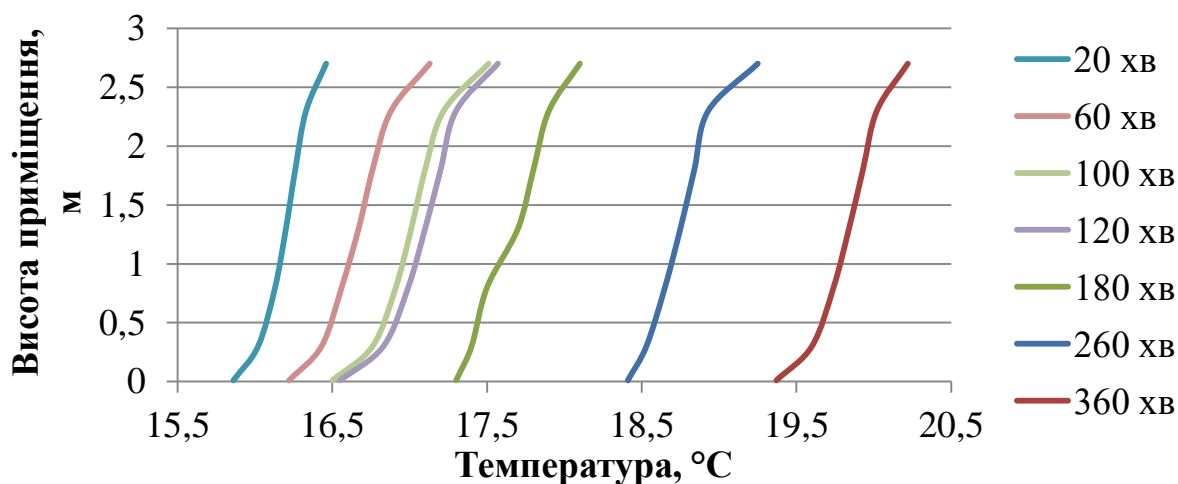


Рисунок 5.18 – Розподіл температури по висоті приміщення

Розглянутий характер процесу прогрівання приміщення в часі при використанні теплоносія 35°C . Температура осереднена по всьому об'єму приміщення (рис. 5.19). Аналіз графіку демонструє, що при теплоносії 35°C , об'єм приміщення прогрівається до $17,9^{\circ}\text{C}$. Перші 30 хвилин характеризуються швидким прогріванням повітря в приміщенні. За шість годин приміщення прогрілося на $2,9^{\circ}\text{C}$ і вийшло на стаціонарний режим прогрівання. Зовнішня стіна прогрілася за шість годин на два градуси.

На рисунку 5.20 графічно проілюстрований розподіл температури по ширині приміщення у часі. Через шість годин прогрівання температура досягає позначки 20°C .

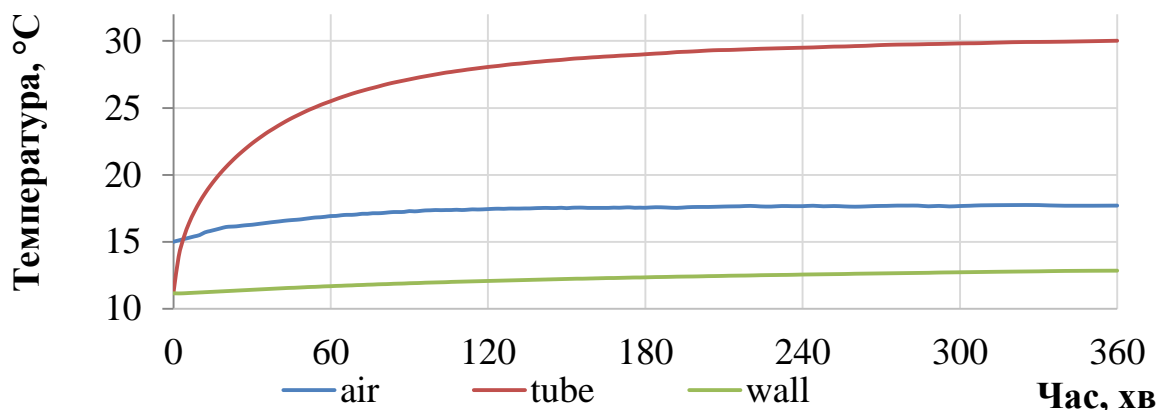


Рисунок 5.19 – Осереднення температури по об'єму приміщення

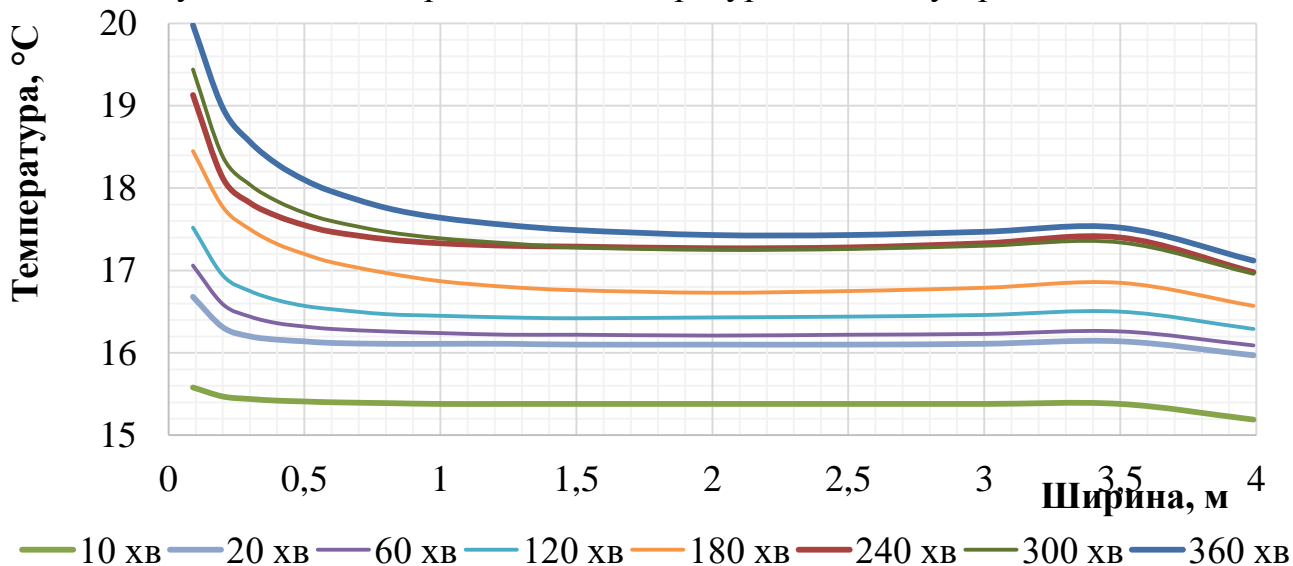


Рисунок 5.20 – Розподіл температури по ширині приміщення у часі

Проілюстрований розподіл температури по висоті приміщення у часі (рис. 5.21). Графічно видно як прогрівається кімната по висоті в часі. В результаті, температура розподіляється рівномірно по всій висоті приміщення, що є дуже гарно з точки зору комфорту. За шість годин прогрівання температура досягає $18,2^{\circ}\text{C}$ і

перепад температури по висоті складає $0,5^{\circ}\text{C}$. Як показали результати, температура повітря в приміщенні в діапазоні висот від $0,5$ до $1,9$ метрів є майже сталою:

$$T^h = \text{const}$$

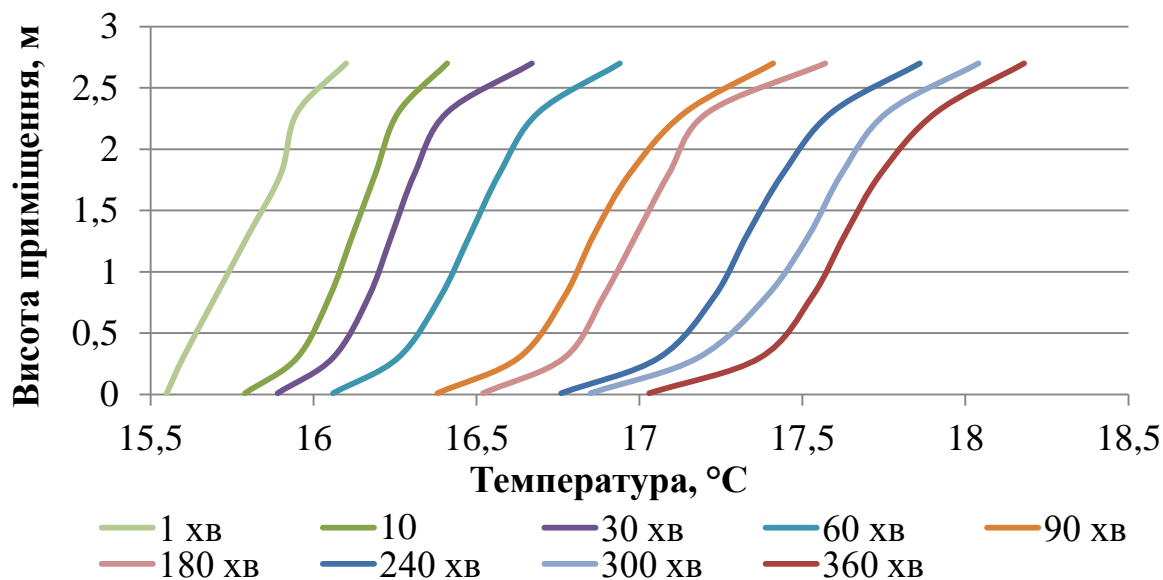
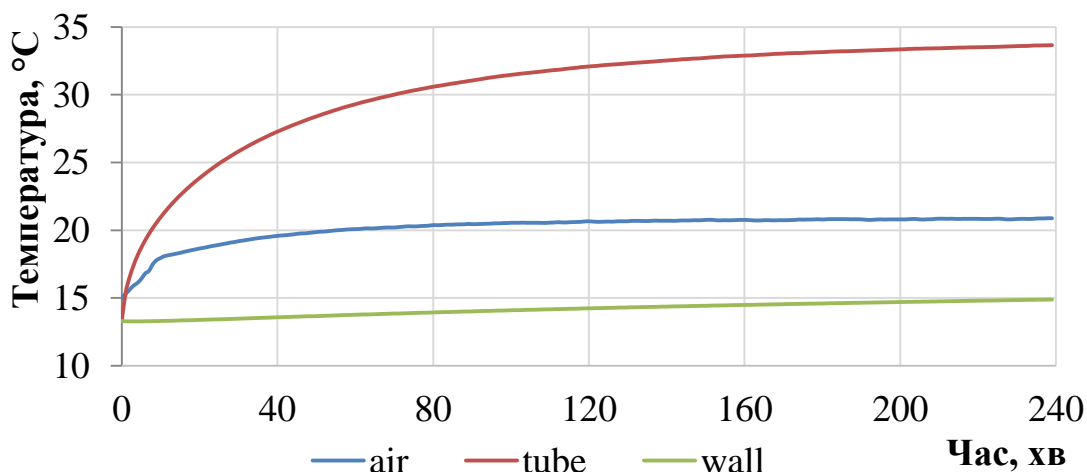


Рисунок 5.21 – Розподіл температури по висоті приміщення

Розглянутий характер процесу прогрівання приміщення в часі при використанні теплоносія 40°C . Температура осереднена по всьому об'єму приміщення (рис. 5.22). Аналіз графіку демонструє, що при теплоносії 40°C , об'єм приміщення прогривається до $20,6^{\circ}\text{C}$. Перші 20 хвилин характеризуються швидким прогріванням повітря в приміщенні. За чотири години приміщення прогрілося на $5,6^{\circ}\text{C}$ і вийшло на стаціонарний режим прогрівання. Зовнішня стіна прогрілася за чотири години на два градуси.

На рисунку 5.23 графічно проілюстрований розподіл температури по ширині приміщення у часі. Проаналізувавши графік, видно як прогривається кімната по ширині у часі. Через 4 години температура досягає позначки 23°C біля «теплої стіни». Перепад температур в різних точках кімнати досягає 1°C



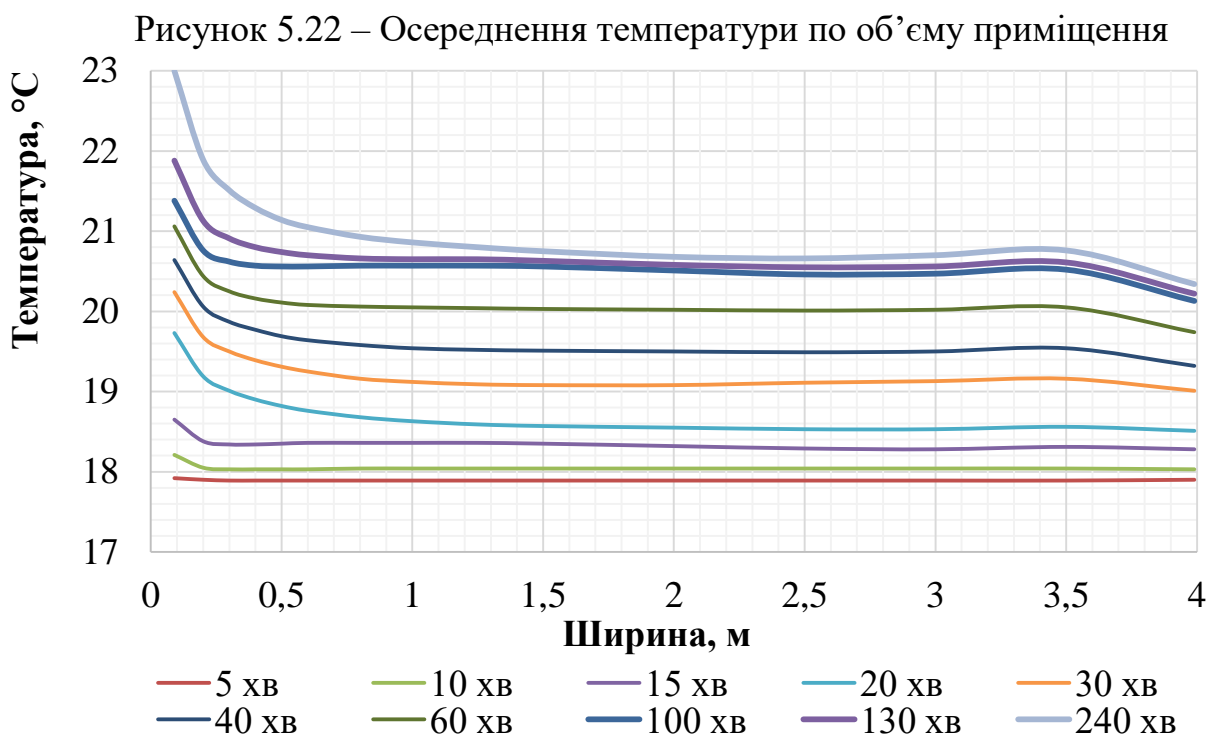


Рисунок 5.23 – Розподіл температури по ширині приміщення

Проілюстрований розподіл температури по висоті приміщення у часі (рис. 5.24). Графічно видно як прогривається кімната по висоті в часі. Як бачимо, температура розподіляється рівномірно по всій висоті приміщення, що є дуже гарно з точки зору комфорту. За чотири години прогрівання температура досягає 21,5°C і перепад температури по висоті складає 0,7°C. Як показали результати, температура повітря в приміщенні в діапазоні висот від 0,5 до 2 метрів є майже сталою:

$$T^h = const$$

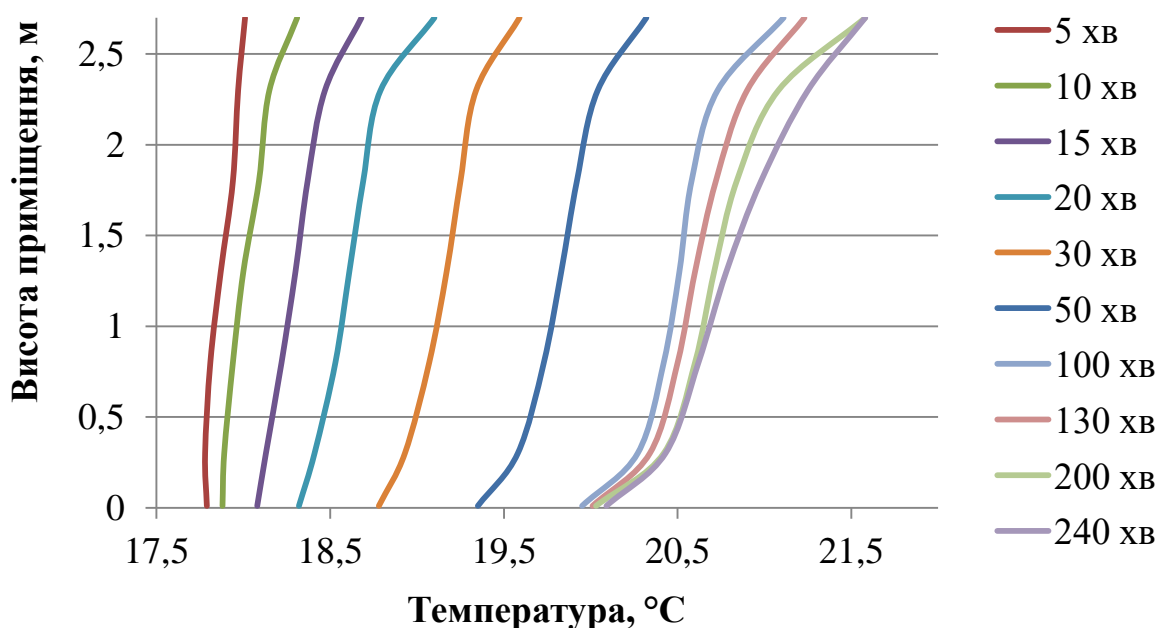


Рисунок 5.24 – Розподіл температури по висоті приміщення

Проілюстровані графічно температури в залежності від температури теплоносія (рис. 5.25).

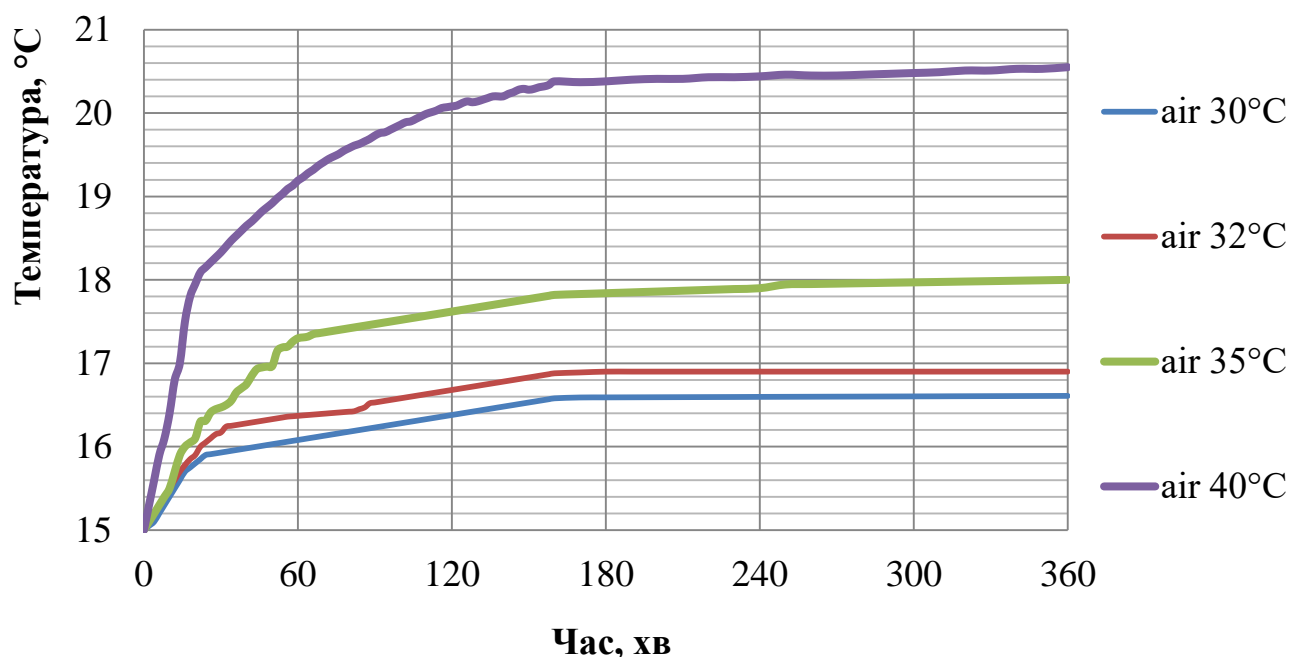


Рисунок 5.25 – Порівняння температур в приміщенні

Аналізуючи приведений графік, температура в приміщенні змінюється залежно від температури теплоносія. Проаналізувавши прогрівання кімнати при теплоносії 30°C, можна зробити висновок, що кімната прогривається рівномірно, тобто вихори які утворюються, не сильно впливають на загальну температурну картину. На 140 хвилині графік виходить на сталий режим, йде рівномірне прогрівання приміщення. Температура в приміщенні досягла позначки 16,6°C, тобто кімната нагрілася на 1,6°C. Проаналізувавши температурний графік при теплоносії 32°C, видно, що через 1 годину 30 хвилин прогрівання встановлюється стала температура, яка майже не змінюється. Так само відбувається і при теплоносії 35°C. Аналізуючи графік при теплоносії 40°C, видно, що температура кімнати рівномірно зростає. Найбільш інтенсивний прогрів йде в перші 30 хв. Температура в кімнаті досягає позначки 20,6°C, ці умови є комфортними для нас.

6 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ЛЕБЕДИНСЬКОГО МЕДИЧНОГО УЧИЛИЩА ІМЕНІ ПРОФЕСОРА М. І. СІТЕНКА ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

Об'єктом обстеження є системи тепло-, електро-, водопостачання, освітлення і огорожувальні конструкції будівель Лебединського медичного училища імені професора М.І.Сітенка. Енергетичне обстеження об'єктів проводилося в період листопад-грудень 2014 року.

Метою представленої роботи було підвищення ефективності використання енергії в бюджетній сфері м. Лебедин, зокрема в медичному училищі імені професора М.І.Сітенка.

Задачі, які вирішувалися при проведенні робіт: розробка енергозберігаючих заходів із економії паливно-енергетичних ресурсів в медичному училищі імені професора М.І.Сітенка м. Лебедин за результатами проведення енергетичного обстеження на зазначеному об'єкті.

Згідно договору були проведені наступні роботи:

- Вивчена проектна документація, перевірено стан та наявність актів повірки вимірювальних пристроїв. Перевірено дійсний стан конструктивно-технологічних елементів обстежуваного об'єкту і енергетичних систем (тепло - та електрозабезпечення, водопостачання і освітлення).

- Вивчено склад паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що використовуються на об'єкті. Проаналізовано обсяги споживання ПЕР з відповідним аналізом отриманих результатів.

- Проведено порівняльний аналіз питомих витрат енергоресурсів на об'єкті енергетичного обстеження з встановленими нормами із енергозбереження, чинними на території України.

- Проведено інструментальне обстеження дійсного стану огорожувальних конструкцій з отриманням їх тепловізійних зображень та представлено аналіз тепловізійного обстеження досліджуваного об'єкта.

- Розрахунково отримано величини основних видів втрат теплової енергії на досліджуваному об'єкті з метою визначення напрямків впровадження першочергових енергозберігаючих заходів.

- Проведено розробку енергозберігаючих заходів з економії ПЕР та розрахунок ефективності їх впровадження.

6.1 Аналіз обсягів споживання ПЕР

Для надання загальної характеристики обсягів витрат ПЕР і води та визначення першочергових можливих напрямків економії енергоспоживання, наведено порівняльну діаграму витрат коштів у відсотках на споживання електричної, теплової енергії та холодної води по навчальним корпусам за 2014 рік. Дані діаграми представлені на рисунках 6.1, 6.2 та рисунку 6.3.



Рисунок 6.1 – Співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів та води за 2014 рік по лабораторному корпусу



Рисунок 6.2 – Співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів та води за 2014 рік по корпусам «А», «Б», «В» та «Д»



Рисунок 6.3 – Співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів та води за 2014 рік по будівлі спорткомплексу

Проаналізувавши зображені на рисунках 6.3, 6.4 та 6.5 діаграми можна зробити висновок, що першочерговим напрямком впровадження енергозберігаючих заходів щодо економії витрат на експлуатацію навчального корпусу є заходи зі збереження теплової енергії.

Кількість теплової енергії спожитої навчальними корпусами по місяцям за 2012, 2013 та 2014 роки наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Кількість теплової енергії спожитої навчальними корпусами у 2012, 2013 та 2014 роках

Період	Лабораторний корпус			Корпуси «А, Б, В, Д»		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал
Січень	10,84	12,55	8,996	22,8	55,9	54,73
Лютий	18,28	15,69	15,86	43,31	85,37	115
Березень	13,43	7,49	7,61	114,5	24,57	42,55
Квітень	3,51	8,45	6,28	12,16	57	27,6
Травень						
Червень						
Липень						
Серпень						
Вересень						
Жовтень	2,55	6,78		9,12	31,18	
Листопад	6,40	5,69	8,79	109,95	30,66	43,65
Грудень	13,18	14,85	24,64	17,5	93,16	119,08
Всього	68,19	71,5	72,18	329,34	377,84	402,61

Величина теплової енергії, яка була спожита за період останнього опалювального року (період 2013-2014 року, 160 діб) становить:

- навчальні корпуси «А, Б, В, Д» - 394,88 Гкал;
- лабораторний корпус - 66,3 Гкал.

На рисунках 6.4 та 6.5 приведена динаміка споживання теплової енергії навчальними корпусами за 2012,2013 та 2014роки (за даними журналу обліку закладу).

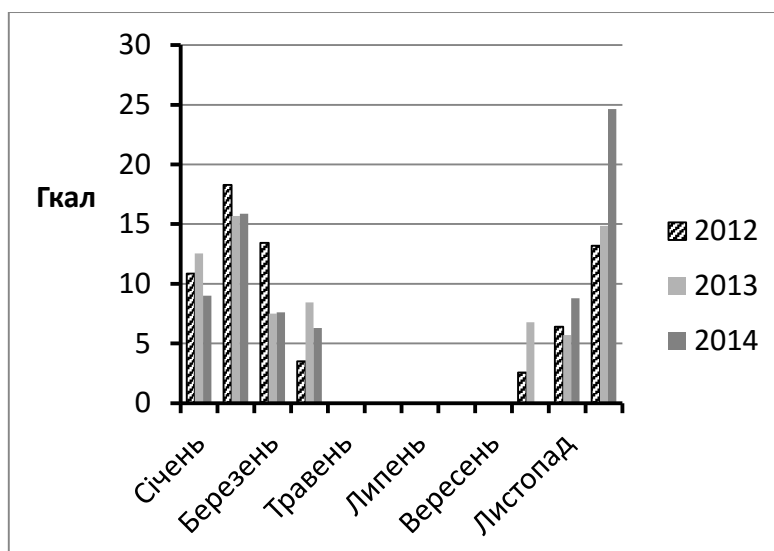


Рисунок 6.4 – Динаміка споживання теплової енергії лабораторним корпусом за 2012,2013 та 2014роки.

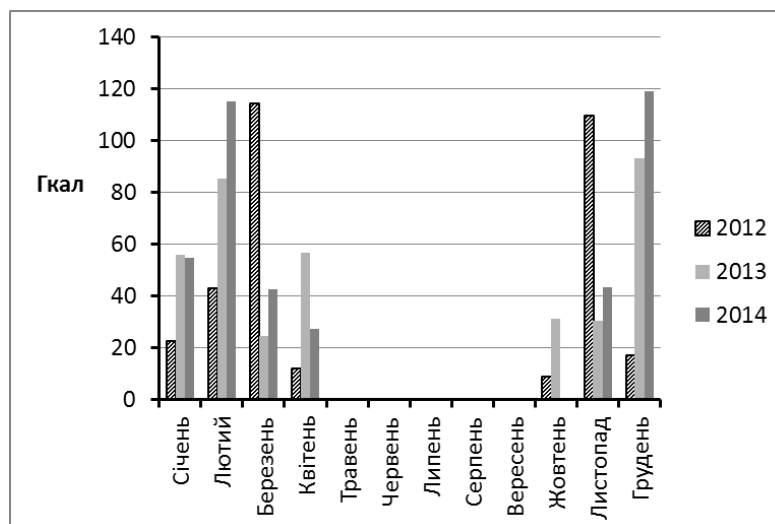


Рисунок 6.5 – Динаміка споживання теплової енергії навчальними корпусами «А», «Б», «В» та «Д» за 2012,2013 та 2014роки.

Максимум споживання теплової енергії на опалення приходить на лютий і грудень, а мінімум – на жовтень і квітень. По лабораторному корпусу у першій половині 2014 року спостерігається тенденція до зниження використання теплової енергії, що пов'язано з досить теплою температурою у січні. У жовтні-грудні 2013 року спостерігалось підвищення споживання порівняно з 2012 роком.

За даними лічильника теплового вузла у корпусі «А» треба відмітити, що на протязі останніх років у відповідні місяці спостерігалася значна розбіжність у динаміці споживання теплової енергії. Це свідчить про відсутність належної системи керування теплоспоживанням. Вірогідно, що коливання величини споживання теплової енергії на опалення залежить від температури навколишнього середовища.

6.2 Порівняльний аналіз обсягів споживання ПЕР з нормованими на досліджуваному об'єкті

З метою надання об'єктивного висновку про ефективність споживання теплової енергії на опалення навчальних корпусів, проведено порівняння дійсних обсягів споживання теплової енергії зі встановленими державними нормами.

Загальна (сумарна) кількість спожитої теплової енергії навчальними корпусами Лебединського медичного училища по місяцям за 2012, 2013 та 2014 роки в одиницях вимірювання за даними журналу обліку теплової енергії на об'єкті наведені в таблиці 5.1.

Питома тепла витрата енергії на опалення будівель за опалювальний період – це кількість теплової енергії за опалювальний період, необхідної для компенсації тепловтрат будинку із врахуванням повітрообміну і додаткових теплонадходжень при нормованих параметрах теплового і повітряного режимів приміщень у ньому, віднесеної до одиниці опалювального об'єму будинку.

$$q_{\text{бюд}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{V_{\text{бюд}}^{\text{он}}}, \quad (6.1)$$

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

$V_{\text{бюд}}^{\text{он}}$ – опалювальний об'єм будинку, м³.

Питомі тепловитрати на опалення будинків повинні відповідати умові:

$$q_{\text{бюд}} \leq E_{\text{max}}, \quad (6.2)$$

де $q_{\text{бюд}}$ – фактичні питомі тепловитрати кВт·год/м³;

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт год/м³.

Нормативні максимальні тепловитрати для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять:

$$E_{\text{max}} = 31 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3} = 0,027 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}$$

6.2.1 Аналіз питомих витрат на опалення по корпусам «А», «Б», «В» та «Д»

Згідно проведених розрахунків фактичні питомі тепловитрати на опалення навчальних будівель за опалювальний період 2012-2013 рік становлять $Q_{\text{оп}} = 359,4$ Гкал за опалювальний період 2013-2014 рік становлять $Q_{\text{оп}} = 395$ Гкал. Тому, середнє значення фактичних питомих тепловитрат становить

$$q_{\text{буд}} = \frac{377,2}{(7313,85 + 2198,7 + 172,5 + 667)} = 0,036 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}$$

Отриманий результат по корпусам «А», «Б», «В» та «Д» не відповідає нормативній умові (6.2).

6.2.2 Аналіз питомих витрат на опалення по лабораторному корпусу

Згідно проведених розрахунків фактичні питомі тепловтрати на опалення будинку за опалювальний період 2012-2013 рік становлять $Q_{\text{оп}}=66,3$ Гкал, за опалювальний період 2013-2014 рік становлять $Q_{\text{оп}}=66,1$ Гкал. Середнє значення фактичних питомих тепловитрат становить

$$q_{\text{буд}} = \frac{66,3}{1664} = 0,04 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}$$

Отриманий результат по лабораторному корпусу не відповідає нормативній умові (5.2).

6.2.3 Аналіз питомих витрат на опалення приміщень спорткомплексу

Кількість виробленої теплової енергії котельнею на опалення, Гкал:

$$Q_{\text{оп}} = V_{\text{Г}} \times Q_{\text{н}}^{\text{р}} \times \eta_{\text{к}} \times 2,39 \times 10^{-7} \quad (6.3)$$

де $V_{\text{Г}}$ – кількість спожитого газу, м^3 ;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – нижча теплота згорання газового палива, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

$\eta_{\text{к}}$ – ККД котла.

Кількість виробленої теплової енергії за опалювальний період 2012-2013:

$$Q_{\text{оп}} = 17018 \times 34000 \times 0,93 \times 2,39 \times 10^{-7} = 128,6 \text{ Гкал}$$

Кількість виробленої теплової енергії за опалювальний період 2013-2014:

$$Q_{\text{оп}} = 15715 \times 34000 \times 0,93 \times 2,39 \times 10^{-7} = 118,8 \text{ Гкал}$$

Згідно проведених розрахунків осереднена фактична питома тепловитрата на опалення приміщень спорткомплексу за опалювальні періоди становить:

$$q_{\text{буд}} = \frac{123,7}{1032,96} = 0,12 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}$$

Отриманий результат по спортивному комплексу не відповідає нормативній умові (6.2).

Отримані результати свідчать, що по всім навчальним корпусам $q_{\text{фод}} > E_{\text{max}}$. Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлях, необхідно вважати незадовільними.

Наслідками такої неузгодженості можуть бути:

- завищене споживання теплової енергії;
- перевитрата палива на теплогенераторах;
- порушення норм комфортності;
- втрати теплової енергії через системи вентиляції в навколишнє середовище;
- високі матеріальні витрати на експлуатацію.

Це, у свою чергу, визначає напрямки вибору енергозберігаючих заходів щодо підвищення рівня енергозбереження в обстежуваних будівлях, впровадження яких необхідно обґрунтовувати визначеними величинами теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій, і результатами зібраної інформації проведених відповідних вимірювань.

6.2.4 Визначення відповідності величини фактичного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій до нормативного значення

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3°C та більше, обов'язкове виконання умови [19]:

$$R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{min}}, \quad (6.4)$$

де $R_{\Sigma \text{пр}}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої або світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$;

$R_{q \text{min}}$ - мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$. Встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку [19].

Розрахункове значення опору теплопередачі багатошарової огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{Вт}}, \quad (6.5)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [19];

α_3 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції $\text{Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ - [19];

λ_{ip} - теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{m} \cdot \text{K})$ [19];

δ_i - товщина і-го шару огорожувальної конструкції, м;
 n - кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;
 R_i - термічний опір і-го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Розрахункові умови експлуатації при розрахунках опору теплопередачі огорожувальних конструкцій приймаються залежно від розрахункового вологісного режиму експлуатації приміщення та конструктивного рішення огороження.

Результати розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій навчальних корпусів медичного училища представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

№ п/п	Найменування конструктивно гоелементу	Матеріал шару	Товщин а шару, δ_i , м	Тепло- провідність λ_i , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma np}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{q \min}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	2	3	4	5	6	7
Лабораторний корпус						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,25	0,81	1,01	3,3
		Деревина (дуб у здовж волокон)	0,12	0,23		
		Цементно піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне перекриття	Глиняна суміш з соломою	0,11	0,8	0,8	4,95
		Дерев'яне набірне перекриття	0,15	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,04	0,93		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в одне скло	0,004	0,76	0,2	0,6
4	Вхідні двері	Дерев'яні	0,05	0,41	0,28	0,5
5	Підлога	Деревина	0,05	0,41	0,4	3,75
Навчальний корпус «А»						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,52	0,81	0,82	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
2	Горищне перекриття	Глиняна суміш з соломою	0,06	0,8	2,55	4,95
		Дерев'яне набірне перекриття	0,20	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,04	0,93		
		Плити зі скловолокна	0,5	0,06		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в одне скло	0,004	0,76	0,2	0,6
4	Вхідні двері	Дерев'яні	0,05	0,41	0,28	0,5
5	Підлога	Бетон	0,2	1,86	0,12	-
		Керамічна плитка	0,01	1,1		
Навчальний корпус «Б»						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81	0,81	3,3
		Цементно-вапняна штукатурка	0,02	0,93		
2	Горищне перекриття	Керамзит	0,25	0,12	2,37	4,95
		Залізобетонна плита	0,27	2,04		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,03	0,93		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в одне скло	0,004	0,76	0,2	0,6
4	Вхідні двері	Металеві пустотні	0,002	58	1,02	0,5
5	Підлога	Дошка	0,05	0,41	0,23	-
		Бетон	0,2	1,86		
Навчальний корпус «Д»						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,52	0,81	2,1	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,04	0,81		
		Плити пінополістірольні	0,05	0,04		
2	Горищне перекриття	Глиняна суміш з соломою	0,11	0,8	0,8	4,95
		Дерев'яне набірне перекриття	0,15	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,04	0,93		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в одне скло	0,004	0,76	0,2	0,6

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
4	Вхідні двері	Металеві пустотні	0,002	58	1,02	0,5
5	Підлога	Бетон	0,2	1,86	0,12	-
		Керамічна плитка	0,01	1,1		
Спорткомплекс						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,52	0,81	0,8	3,3
		Цементно-вапняна штукатурка	0,02	0,93		
2	Горищне перекриття	Керамзит	0,08	0,25	1,04	4,95
		Дерев'яне набірне перекриття	0,2	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,02	0,93		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в одне скло	0,004	0,76	0,2	0,6
4	Вхідні двері	Металеві пустотні	0,002	58	1,02	0,5
5	Підлога	Деревина	0,05	0,41	0,4	3,75

Отримані результати ($R_{\Sigma_{пр}} \gg R_{q_{min}}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам [16]. Можна зробити висновок про незадовільні теплозахисні властивості зовнішніх стін, горищних перекриттів та віконних отворів, це вимагає впровадження енергозберігаючих заходів щодо збільшення опору теплопередачі, тобто проведення робіт з теплоізоляції стін та заміни вікон.

6.3 Тепловізійне обстеження огорожуючих конструкцій будівлі

Під час проведення енергетичного аудиту Лебединського медичного училища імені професора М.І.Сітенка використовувались наступні вимірювальні прилади:

- універсальний вимірювач температури та вологості повітря;
- тепловізор;
- фотометр.

У період проведення обстеження температура зовнішнього повітря становила (мінус) -7°C , а середня температура всередині приміщень становила 17°C .

6.3.1 Аналіз температурного режиму навчальних приміщень

Для визначення температури повітря в приміщеннях та ззовні використовувався універсальний вимірювач температури, вологості та точки роси Testo 605-N1 (рис. 6.6). Його основні технічні характеристики представлені в таблиці 6.3.



Рисунок 6.6 – Універсальний вимірювач Testo 605-N1

Таблиця 6.3 – Технічні характеристики універсального вимірювача Testo605-N1

Параметр	Значення
Діапазон вимірювань	Від -20 до +70 °С
Похибка вимірювань	±0,5
Роздільна здатність	0,1
Робоча температура	Від 0 до +50 °С

Прилад характеризується точністю і стабільністю показань завдяки унікальному датчику вологості, який не боїться води, захищений поворотною кришкою і відкривається в процесі вимірювання. Дисплей розташований на поворотній голівці.

Результати вимірювання температури у приміщеннях, у яких проводилося енергетичне обстеження представлені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати вимірювання температури

Назва приміщення	Середня температура у приміщенні, °С
Головний учбовий корпус (корпус А)	
Коридор 1-го поверху	16,8
Приймальна директора медучилища	15,4
Кабінет заступника директора	14,7
Аудиторія №5	20,4
Аудиторія №4	20,0
Методичний кабінет	19,5
Кабінет бухгалтерії	19,8
Аудиторія №1	19,4
Викладацька	18,3
Аудиторія №2	19,1
Кабінет зав. відділенням	17,5
Коридор 2-го поверху	17,6
Кабінет інформатики (підсобна кімната)	16
Кабінет інформатики (основна аудиторія)	19,4
Аудиторія №10	18,1
Аудиторія №6	18,7
Аудиторія №9	19,5
Аудиторія №12	17,7
Кабінет зав. практики	16,8
Кімната ради самоврядування	17,6
Актова зала	14,5
Аудиторія №11 (цокольний поверх)	17,6
Тренажерна зала	11,0
Навчальний корпус Б	
Кабінет хірургії	10,5
Кабінет фармакології	16,0
Кабінет української мови	16,2
Кабінет хімії і біології	18,2
Кабінет фізики	18,9
Бібліотека	
Читальна зала	17,0
Спорткомплекс	
Гімнастична зала	17,6
Тенісна зала	18,0
Зала важкої атлетики	17,2

Продовження таблиці 6.4

Назва приміщення	Середня температура у приміщенні, °С
Лабораторний корпус	
Кабінет шкірних та венеричних захворювань	17,5
Лекційна кімната	19,0
Кабінет інфекційних хвороб	20,0
Кабінет хірургії	19,5
Допоміжна кімната хірургії	19,8
Навчальна кімната з хірургії	17,2
Кабінет медсестринства в хірургії	16,0
Роздягальня	18,2
Кабінет доклінічної педіатрії	18,1
Викладацька	17,0
Комп'ютерна кімната	16,3
Кабінет доклінічного акушерства	18,5

За отриманими результатами вимірювання температури повітря у навчальних та робочих приміщеннях можна зробити наступні висновки:

1. У більшості приміщень головного навчального корпусу «А» температура повітря не відповідає сучасним вимогам за температурними показниками[19]. Згідно чинних нормативних вимог, температура у навчальних приміщеннях повинна бути 20–22⁰С. Основними факторами, які спричиняють таку ситуацію, є незадовільний стан віконних конструкцій, крізь які у приміщення інфільтрується велика кількість холодного повітря; та значна висота аудиторій, що спричиняє накопичення нагрітого повітря під стелею на висоті більше трьох метрів.

2. У приміщеннях навчального корпусу «Б» температура нижча від нормованої, навіть при задовільній роботі системи опалення, внаслідок порушення щільності конструктивних елементів віконних отворів, що спричиняє інфільтрацію холодного повітря, величина теплонадходження менша величини тепловтрат.

3. У навчальних приміщеннях лабораторного корпусу ситуація з температурним режимом аналогічна до ситуації у корпусах «А» та «Б».

Більш детальне виявлення причин втрат теплоти, що надходить від системи опалення, проведене тепловізійним обстеженням.

6.3.2 Аналіз результатів тепловізійного обстеження

Результати тепловізійного обстеження будівель Лебединського медичного училища імені професора М.І.Сітенка, які характеризують стан зовнішніх огорожувальних конструкцій ззовні та зсередини, представлені у додатку А. Отримані термограми вказують на місця найбільших втрат теплової енергії на об'єкті дослідження.

Для визначення температури, стану огорожувальних конструкцій будівель, місць втрат тепла, порушень роботи опалювальних приладів використовувався тепловізор FlukeTi25 (рис. 6.7). Його основні технічні характеристики представлені у табл.6.5.



Рисунок 6.7 – Тепловізор FlukeTi25

Таблиця 6.5 - Основні технічні характеристики тепловізора FlukeTi25

Діапазон вимірювання температури	від -20°C до $+350^{\circ}\text{C}$
Похибка вимірювання температури	$\pm 2^{\circ}\text{C}$, але не більше $\pm 2\%$
Мінімальна відстань фокусування	Об'єктив тепловізора 15 см, фотооб'єктив 48 см
Частота зміни кадрів	9 Гц
Тип інфрачервоного об'єктива	Об'єктив 20 мм, $F=0,8$
Спектральний діапазон	Від 7,5 мкм до 14 мкм
Час автономної роботи від батареї	3-4 год

Під час тепловізійного обстеження було зроблено 216 термограм. Детальний аналіз термограм дав можливість виявити місця найбільших втрат тепла. Загальну характеристику причин втрат теплоти у будівлях наведено нижче за окремими конструктивними елементами огорожувальних конструкцій.

6.3.2.1 Віконні отвори

З отриманих термограм видно, що основні втрати тепла у навчальних корпусах відбуваються через застарілі дерев'яні віконні отвори. Незадовільний стан значної кількості вікон є результатом порушеної щільності прилягання віконних стулок та послаблення штапикового притиснення скла до елементів віконних конструкцій. Це призводить до значного проникнення холодного повітря всередину навчальних приміщень. На термограмах місця втрат теплової енергії у віконних конструкціях представлені темно-синьою кольоровою палітрою. Холодні ділянки на термограмах

віконних отворів займають у більшості випадків майже увесь периметр місць прилягання віконних стулок та кватирок до основної рами вікна, а також, місця стику віконної рами зі стіною.

Особливо треба відмітити надзвичайно аварійний стан вікон у гімнастичній залі спорткомплексу. Вікна майже не перешкоджають інтенсивному потраплянню холодного повітря. Крім того, велика площа скління збільшує тепловтрати. Такий стан вікон обумовлює збільшене споживання палива на газовій котельні, бо для підтримання прийнятної температури у приміщеннях необхідно нагрівати теплоносії до більш високих температур, щоб компенсувати великі тепловтрати через незадовільний стан вікон гімнастичної зали.

6.3.2.2 Огороджувальні конструкції

Більша кількість будівель навчальних корпусів медичного училища побудовані ще на початку минулого століття. За весь час їх експлуатації стінові конструкції значно втратили свої теплозахисні властивості. Наявні вертикальні тріщини зовнішніх стін; вивітрювання між цегляної стінової кладки; локальна руйнація елементів стінових конструкцій; зволоження матеріалу огороджувальних конструкцій, все це значно погіршує енергоефективність експлуатації будівель.

Можна стверджувати, що стіни будівель, які обстежувалися, не відповідають чинним нормативним вимогам за опором теплопередачі [19]. Фізичне зношення стінових конструкцій призводить до значних тепловтрат з навчальних та робочих приміщень. Це позначається на величині витрат теплової енергії для підтримання прийнятної температури повітря всередині таких будівель.

Великі втрати тепла відбуваються через конструктивні стики між стінами, а також між стінами і стелею. Середня температура внутрішньої поверхні проблемних зовнішніх стін та стелі, з часом буде знижуватись і може досягти точки роси. Це призвело до зволоження стін і прискорення їх руйнації, особливо в місцях стику між неутепленими стінами. Вже відбувається відлущення штукатурки зі стелі та відклеювання шпалер на деяких стінах.

Також великі втрати теплоти з будівлі корпусу «А» відбуваються через незадовільний стан зовнішніх входних дверей, яких у будівлі 3 одиниці (парадний вхід, запасний вхід-вихід, окремий вхід до цокольного поверху).

Треба відмітити, що у корпусах «А», «Б» та у лабораторному корпусу, система опалення працює задовільно, але при існуючому стані огороджувальних конструкцій значна частина теплової енергії втрачається у зовнішнє середовище.

У корпусі «Б» влаштована досить металоємна система опалення, яка на своє функціонування потребує збільшену кількість теплоносія. Це призводить до перегріву деяких приміщень.

За загальним підсумком результатів тепловізійного обстеження, треба відмітити, що значну величину втрат теплоти у навчальних корпусах медичного училища можна ліквідувати, якщо провести комплексний ремонт всіх віконних отворів, зовнішніх дверей та зовнішніх стінових конструкцій.

6.4 Розрахунковий аналіз теплового балансу будівлі

Для оціночного аналізу теплової характеристики обстежуваної будівлі будь-якого призначення без урахування всіх видів тепловтрат і теплонадходжень її теплову потужність розраховано за збільшеними показниками. Такий вид розрахунку найбільш прийнятний для оцінки можливої максимальної потужності системи опалення та для випадку переведення будівлі на автономну систему опалення. При цьому не враховуються основні чинники, що впливають на порушення вимог до тепловологісного балансу будівлі.

Визначення фактичної питомої опалювальної характеристики будівлі [22], Вт/м³·°С, за дійсними параметрами стану огорожувальних конструкцій (таблиця 6.2):

$$q_{num}^{\phi} = \frac{p_{\phi}}{F_{\phi}} \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma np}^{cm}} + g_0 \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma np}^{екн}} - \frac{1}{R_{\Sigma np}^{cm}} \right) \right) + \frac{1}{H_{\phi}} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma np}^{стл}} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma np}^{н\delta л\delta}} \right), \quad (6.6)$$

де p_{ϕ} – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

F_{ϕ} – площа будівлі в межах периметра, м²;

H_{ϕ} – висота будівлі з урахуванням усіх опалюваних приміщень, м;

g_0 – коефіцієнт скління будівлі;

$R_{\Sigma np}^{cm}$ – приведений опір теплопередачі зовнішніх стін, м²·К/Вт;

$R_{\Sigma np}^{стл}$ – приведений опір теплопередачі стелі будівлі, м²·К/Вт;

$R_{\Sigma np}^{н\delta л\delta}$ – термічний опір теплопередачі підлоги будівлі, м²·К/Вт;

$R_{\Sigma np}^{екн}$ – опір теплопередачі вікон, м²·К/Вт;

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі за збільшеними показниками, яка можлива для даної будівлі, Вт, при середньозимовому показнику температури за опалювальний період визначається як:

$$Q_{\phi} = a \cdot q_{num}^{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot (t_{\phi}^{cp} - t_{cp,p}), \quad (6.7)$$

де a – поправковий коефіцієнт: $a = 0,54 + \frac{22}{(t_{\phi}^{cp} - t_{cp,p})} = 0,54 + \frac{22}{(18,1 - (-2,5))} = 1,61$;

V_{ϕ} – зовнішній об'єм будівлі, м³;

t_{ϕ}^{cp} – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{cp,p}$ – середньозимова температура зовнішнього повітря для температурної зони, де розташована будівля [23], °С.

Максимальна теплова потужність будівлі лабораторного корпусу

$$q_{num}^{\phi} = \frac{130}{497,7} \cdot \left(\frac{1}{1,01} + 0,23 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{1,01} \right) \right) + \frac{1}{3,6} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,8} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,4} \right) = 1,23 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С},$$

$$Q_0 = 1,61 \cdot 1,23 \cdot 1664 \cdot (18,1 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 68 \text{ кВт.}$$

Максимальна теплова потужність будівлі навчального корпусу «А»

$$q_{num}^{\phi} = \frac{128,78}{876,46} \cdot \left(\frac{1}{0,82} + 0,23 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,82} \right) \right) + \frac{1}{11} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,82} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,12} \right) = 0,86 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С},$$

$$Q_0 = 1,61 \cdot 0,86 \cdot 7313,85 \cdot (18,1 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 208,6 \text{ кВт.}$$

Максимальна теплова потужність будівлі навчального корпусу «Б»

$$q_{num}^{\phi} = \frac{144,68}{473,94} \cdot \left(\frac{1}{0,81} + 0,04 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,81} \right) \right) + \frac{1}{5,35} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,81} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,12} \right) = 1,56 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С},$$

$$Q_0 = 1,61 \cdot 1,56 \cdot 2198,7 \cdot (18,1 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 114 \text{ кВт.}$$

Максимальна теплова потужність будівлі навчального корпусу «Д»

$$q_{num}^{\phi} = \frac{75,45}{149,86} \cdot \left(\frac{1}{1,01} + 0,2 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{1,01} \right) \right) + \frac{1}{2,8} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{1,01} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,2} \right) = 2,3 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С},$$

$$Q_0 = 1,61 \cdot 2,3 \cdot 667 \cdot (18,1 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 50 \text{ кВт.}$$

6.5 Визначення основних видів втрат теплової енергії на досліджуваному об'єкті

Даний розрахунок необхідний для визначення об'ємів втрат теплової енергії, щоб встановити потенціал економії споживання енергоносіїв після впровадження енергозберігаючих заходів.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі (стіни, вікна, перекриття даху, підлога, вхідні двері) розраховуємо за формулою:

$$Q_0 = \frac{F_{np}}{R_{\Sigma np}} \cdot (t_b - t_{cp.p}) \cdot n, \quad (6.8)$$

де F_{np} - площа поверхні огорожувальної конструкції (за результатами проведених вимірювань), м²;

$R_{\Sigma np}$ - розрахунковий опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт (табл. 2.1);

$t_b, t_{cp.p}$ - відповідно температури всередині приміщень і середньозимова зовнішнього повітря, °С;

n - коефіцієнт, що приймається згідно з [19] в залежності від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції відносно зовнішнього середовища.

Для розрахунку тепловтрат приймаємо $t_в = 18,1^\circ\text{C}$ (за результатами проведених вимірювань).

Для стін, вікон, горищного перекриття, дверей приймаємо $n=1$.

Сумарні тепловтрати через огорожувальні конструкції:

$$Q_0 = Q_{\text{стіни}} + Q_{\text{вікна}} + Q_{\text{стл}} + Q_{\text{ндл}} + Q_{\text{двері}} \quad (6.9)$$

де $Q_{\text{стіни}}$ -втрати теплоти через зовнішні стіни, розраховані по кожному приміщенню, Вт;

$Q_{\text{вікна}}$ -втрати теплоти через вікна, Вт;

$Q_{\text{стл}}$ -втрати теплоти через дах, Вт.

$Q_{\text{ндл}}$ -втрати теплоти через підлогу для приміщень 1 поверху, Вт;

$Q_{\text{двері}}$ -сумарні втрати теплоти через зовнішні входні двері, Вт.

Додаткові втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель зумовлені наявністю неврахованих факторів, що збільшують величину основних тепловтрат.

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, визначені орієнтацією будівлі, розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{ор}}^{\text{д}} = Q_{\text{стіни}} \cdot \beta_{\text{ор}} \quad (6.10)$$

де $Q_{\text{стіни}}$ - тепловтрати через кожен зовнішню стіну будівлі, Вт;

$\beta_{\text{ор}}$ -коефіцієнт поправки на орієнтацію зовнішньої стіни відносно сторін горизонту.

Допускається для практичних розрахунків для всіх зовнішніх стін будівлі, незалежно від орієнтації $\beta_{\text{ор}} = 0,13$ - при двох та більше зовнішніх стінах в будівлі.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через вікна розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{інф}} = 0,28 \cdot F_{\text{отв}} \cdot G_H \cdot c \cdot (t_в - t_{\text{ср.р}}), \quad (6.11)$$

де c -питома теплоємність повітря ($c=1,005$ кДж/(кг \cdot °C));

$t_в, t_{\text{ср.р}}$ -відповідно температури внутрішнього повітря приміщень і зовнішнього повітря (за результатами проведених вимірювань), °C;

G_H -повітропроникність(за результатами проведених вимірювань): для дерев'яних вікон $G_H = 10,0$ кг/(м 2 ·год);

$F_{\text{отв}}$ -площа віконних отворів, м 2 .

Додаткові тепловтрати на відкривання зовнішніх дверей.

Цей вид додаткових тепловтрат обумовлений нагріванням холодного повітря, що проникає в приміщення внаслідок частого відкривання зовнішніх дверей. Величина цих втрат залежить від конструкції такого прорізу. Розрахунок проводиться для

зовнішніх дверей, у яких немає повітряно-теплових завіс для будівель громадського або побутового призначення:

$$Q_{з.д}^{\circ} = Q_{двери} \cdot \beta_{відкр}, \quad (6.12)$$

де $Q_{двери}$ – втрати теплоти крізь зовнішні двері, кВт;

$\beta_{відкр}$ – коефіцієнт поправки на відкривання дверей (для одинарних дверей громадських будинків при частому відкриванні $\beta_{відкр} = 4$).

У випадку тільки витяжної вентиляції (природної) з припливом зовнішнього повітря крізь нещільності огорожувальних конструкцій або крізь спеціальні вентиляційні отвори розрахунок втрат теплоти на вентиляцію Q_v , Вт, виконується за наступною залежністю:

$$Q_v = 0,28 \cdot V_{\Pi} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_v - t_{з.п}) \cdot n_k \cdot k_v, \quad (6.13)$$

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

$t_v, t_{з.п}$ – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і зовнішнього повітря, °С;

V_{Π} – внутрішній об'єм приміщення (будівлі), м³;

ρ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, $\rho = 1,3$ кг/м³;

n_k – кратність повітрообміну приміщення, год⁻¹;

k_v – коефіцієнт, що враховує зменшення внутрішнього об'єму приміщення внаслідок розташування в ньому різного обладнання (приймається $k_v = 0,85 - 1,0$).

Сумарні розрахункові тепловтрати приміщень визначаємо за формулою:

$$\Sigma Q_{ТВ} = \Sigma Q_0 + \Sigma Q_{op}^{\circ} + \Sigma Q_{инф}^{\circ} + Q_v, \quad (6.14)$$

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

ΣQ_{op}° - сумарні додаткові втрати теплоти через зовнішні стіни, визначені орієнтацією будівлі, Вт;

$\Sigma Q_{инф}^{\circ}$ - сумарні додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря через вікната двері, Вт.

Величини теплових втрат за їх видами у навчальних будівлях медичного училища при дійсному стані огорожувальних конструкцій та середньозимовій температурі зовнішнього повітря $-2,5^{\circ}\text{C}$ наведені в таблицях 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 та представлені на рисунках 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12.

Таблиця 6.6 – Величини тепловтрат будівлі лабораторного корпусу

Види тепловтрат							
Через стіни $Q_{\text{стіни}}$, кВт	Через вікна $Q_{\text{вікна}}$, кВт	Через підлогу $Q_{\text{підлога}}$, кВт	Через стелю, $Q_{\text{стеля}}$, кВт	Через двері, $Q_{\text{двері}}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{\text{ор}}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{\text{в.інф}}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{\text{д.інф}}$, кВт
8,069	9,548	3,74	11,902	0,239	1,05	5,374	0,956

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі лабораторного корпусу становлять

$$Q_{\text{втр.лб}} = 8,069 + 9,548 + 3,74 + 11,902 + 0,239 + 1,05 + 5,374 + 0,956 = 40,878 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі лабораторного корпусу представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рисунку 5.8.

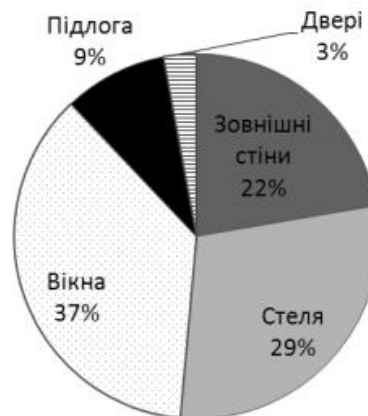


Рисунок 6.8 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі лабораторного корпусу.

Таблиця 6.7 – Величини тепловтрат будівлі навчального корпусу «А»

Види тепловтрат								
Через стіни $Q_{\text{стіни}}$, кВт	Через вікна $Q_{\text{вікна}}$, кВт	Через підлогу, $Q_{\text{підлога}}$, кВт	Через стелю, $Q_{\text{стеля}}$, кВт	Через двері, $Q_{\text{двері}}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{\text{ор}}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{\text{в.інф}}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{\text{д.інф}}$, кВт	На вентиляцію $Q_{\text{вент}}$, кВт
24,2	22,37	1,0	5,37	0,542	3,14	12,59	2,17	88,6

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі навчального корпусу «А» становлять

$$Q_{\text{втр.А}} = 24,2 + 22,37 + 1,0 + 5,37 + 0,542 + 3,14 + 12,59 + 2,17 + 88,6 = 158 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі навчального корпусу «А», представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рисунку 6.9.

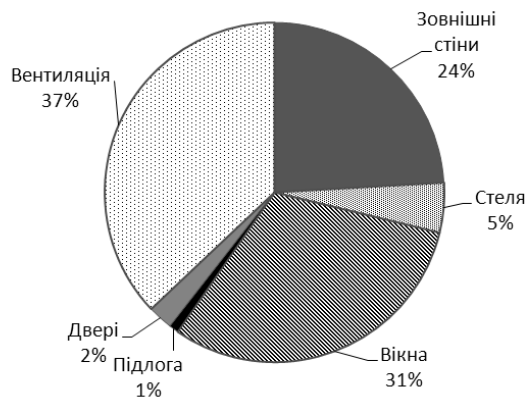


Рисунок 6.9 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі навчального корпусу «А».

Таблиця 6.8– Величини тепловтрат будівлі навчального корпусу «Б»

Види тепловтрат							
Через стіни $Q_{\text{стіни}}$, кВт	Через вікна $Q_{\text{вікна}}$, кВт	Через підлогу, $Q_{\text{підлога}}$, кВт	Через стелю, $Q_{\text{стеля}}$, кВт	Через двері, $Q_{\text{двері}}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{\text{ор}}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{\text{в.інф}}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{\text{д.інф}}$, кВт
24,17	7,2	1,27	3,97	0,08	3,14	2,23	0,32

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі навчального корпусу «Б» становлять

$$Q_{\text{втр.Б}} = 24,17 + 7,2 + 1,27 + 3,97 + 0,08 + 3,14 + 2,23 + 0,32 = 42,4 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі навчального корпусу «Б», представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рисунку 6.10.

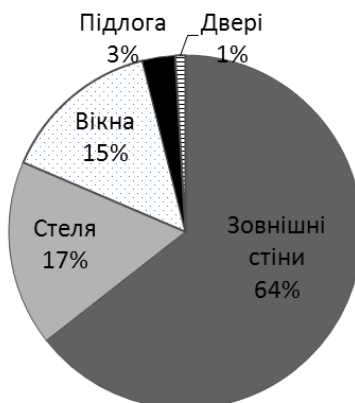


Рисунок 6.10 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі навчального корпусу «Б».

Таблиця 6.9 – Величини тепловтрат будівлі навчального корпусу «Д»

Види тепловтрат							
Через стіни $Q_{\text{стіни}}$, кВт	Через вікна $Q_{\text{вікна}}$, кВт	Через підлогу, $Q_{\text{підлога}}$, кВт	Через стелю, $Q_{\text{стеля}}$, кВт	Через двері, $Q_{\text{двері}}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{\text{ор}}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{\text{в.інф}}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{\text{д.інф}}$, кВт
1,46	3,1	0,357	5,9	0,04	0,2	1,73	0,16

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі навчального корпусу «Д» становлять

$$Q_{\text{втр.Д}} = 1,46 + 3,1 + 0,357 + 5,9 + 0,04 + 0,2 + 1,73 + 0,16 = 13 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі навчального корпусу «Д», представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рисунку 6.11.

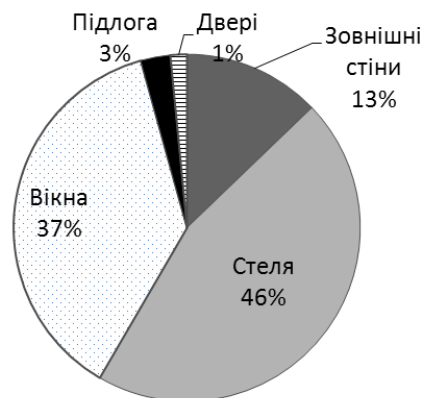


Рисунок 6.11 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі навчального корпусу «Д».

Таблиця 6.10 – Величини тепловтрат будівлі спорткомплексу

Види тепловтрат								
Через стіни $Q_{\text{стіни}}$, кВт	Через вікна $Q_{\text{вікна}}$, кВт	Через підлогу, $Q_{\text{підлога}}$, кВт	Через стелю, $Q_{\text{стеля}}$, кВт	Через двері, $Q_{\text{двері}}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{\text{ор}}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{\text{в.інф}}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{\text{д.інф}}$, кВт	На вентиляцію $Q_{\text{вент}}$, кВт
16,72	12,44	1,016	11,27	0,85	2,17	7,0	3,4	15,14

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі спорткомплексу становлять

$$Q_{\text{втр.сп}} = 16,72 + 12,44 + 1,016 + 11,27 + 0,85 + 2,17 + 7 + 3,4 + 15,14 = 70 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі спорткомплексу, представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рисунку 6.12.

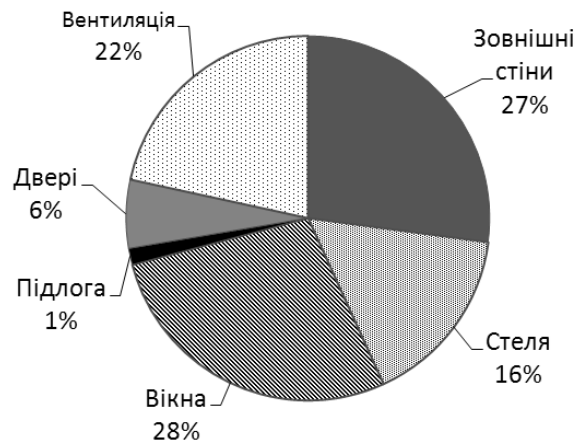


Рисунок 6.12 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі спорткомплексу.

З отриманих діаграм можна оцінити співвідношення величин тепловтрат у навчальних приміщеннях. Найбільші тепловтрати це тепловтрати через вікна, так як площа скління є досить значною і стан вікон незадовільний. Також значна частина теплоти втрачається через стіни та стелю. По корпусу «А» значна частка теплоти втрачається через систему вентиляції.

Встановлені фактори найбільших величин тепловтрат обумовлюють запровадження першочергових заходів щодо їх зменшення.

6.6 Розроблення енергозберігаючих заходів з економії ПЕР

6.6.1 Встановлення зарядіаторних рефлекторних (теповідбиваючих) екранів

З метою зменшення втрат теплоти у докілья через ділянки огорожувальних конструкцій за опалювальними приладами систем опалення, слід встановити зарядіаторні рефлекторні екрани із теплоізоляційного матеріалу завтовшки 5–10 мм, вкритого шаром алюмінієвої фольги. Такий захід запобігає втратам теплоти у докілья і перевитратам теплоти опалювальними приладами за умови додержання чистої дзеркальної поверхні екрана протягом усього терміну експлуатації.

6.6.2 Утеплення огорожувальних конструкцій

Огороджувальні конструкції навчальних корпусів мають недостатній опір теплопередачі (таблиця 6.2), тому крізь них втрачається значна частина теплової енергії, що надходить від системи опалення. Аналіз балансу втрат теплової енергії показує, що велика частка втрат тепла припадає на втрати через огорожувальні

конструкції будівлі, такі як зовнішні стіни, перекриття горищ та віконні і дверні отвори. Додаткове утеплення огорожувальних конструкцій спеціальними матеріалами здатне значно скоротити втрати теплової енергії загалом у навчальних корпусах, відповідно, зменшити потужність системи опалення та фінансові витрати за спожиту теплову енергію. Фасад будівлі при цьому приймає оновлений та естетичний вигляд. Враховуючи умову, що будівля навчального корпусу «А» є архітектурною пам'яткою міста, змінювати історичний вигляд фасаду не дозволяється, тому утеплення зовнішніх стін цієї будівлі не рекомендується.

6.6.3 Ремонт та заміна віконних отворів

Аналіз балансів теплової енергії показує, що велика частка втрат тепла у навчальних корпусах медичного училища припадає на втрати через вікна. Тому заміна застарілих віконних конструкцій на нові більш енергозберігаючі, або проведення їх капітального ремонту, здатне значно скоротити втрати теплової енергії загалом у будівлях і, відповідно, зменшити потужність системи опалення та платню за спожиту теплову енергію. Необхідно повністю демонтувати старі дерев'яні вікна та змонтувати нові металопластикові вікна з двокамерними енергозберігаючими склопакетами.

6.6.4 Встановлення повітряної (теплової) завіси на зовнішні двері

Повітряні завіси призначені для поділу зон з різною температурою по різні боки відкритих входних дверей і воріт. За рахунок подачі високошвидкісного повітряного потоку утворюється «невидима завіса», що не дає теплову повітря виходити назовні і не впускає холодне повітря в приміщення. У такий спосіб поліпшується внутрішній температурний режим, зникають протяги, значно знижуються тепловтрати, а отже, і витрати на обігрів.

При закритих дверях повітряна завіса може працювати як тепловентилятор. Влітку повітряна завіса однаковою мірою також є енергозберігаючим устаткуванням, що забезпечує значне зниження витрат на кондиціонування приміщень.

Даний захід рекомендується запровадити на дверному отворі корпусу «А» з боку внутрішньої території медичного училища.

6.6.5 Встановлення рекуператора теплоти в системі вентиляції

Аналіз балансу теплової енергії показує, що значна частка втрат тепла (до 37%) у навчальному корпусі «А» припадає на втрати у системі витяжної вентиляції. Тому встановлення рекуператора теплоти у системі вентиляції здатне значно скоротити втрати теплової енергії загалом по будівлі і, відповідно, зменшити потужність опалення та оплату за спожиту теплову енергію.

6.7 Розрахунковий аналіз заходів в системі тепlopостачання

6.7.1 Утеплення стін та горищного перекриття

У зв'язку з тим, що отримані результати ($R_{\Sigma \text{пр}} \ll R_{q \text{min}}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам (таблиця 6.2), необхідним є проведення відповідних розрахунків щодо заходів з покращення теплозахисних властивостей зовнішніх стін. Виведення показника опору теплопередачі стін на рівень нормативної величини здійснюється за допомогою теплоізоляції огорожувальних конструкцій спеціальними теплоізоляційними матеріалами.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару δ_{yt} для утеплення огорожувальної конструкції проводиться за формулою [20]:

$$\delta_{yt} = [R_{q \text{min}} - R_{\Sigma \text{пр}}] \cdot \lambda_{yt}, \quad (6.15)$$

де, λ_{yt} - теплопровідність теплоізолюючого матеріалу, Вт/(м · К) [19];

$R_{\Sigma \text{пр}}$ - приведений (дійсний) опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт;

$R_{q \text{min}}$ - нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт [19].

При запровадженні утеплення огорожувальних конструкцій теплоізоляційними матеріалами з визначеною товщиною, буде забезпечена нормативна вимога за величиною опору теплопередачі, що задовольнятиме умову $R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{min}}$.

Для розрахунку необхідної товщини теплоізоляційного шару зовнішніх стін, обираємо теплоізоляційний матеріал - пінополістирол марки ПСБ-С-25 з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{yt}=0,043$ Вт/(м·К):

1. Товщина теплоізоляції стін лабораторного корпусу

$$\delta_{yt} = [3,3 - 1,01] \cdot 0,043 = 0,098 \text{ м}$$

Найближче більше стандартне значення товщини плит пінополістирольних, що є у продажу – 0,1 м.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для горищного перекриття. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки Техноніколь (Мат Техно 50 мм (1000×50×8000) Теплоролл Утеплювач):

$$\delta_{ym} = [4,95 - 0,8] \cdot 0,042 = 0,174 \text{ м}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати– 0,2 м.

2. Товщина теплоізоляції стін навчального корпусу «Б»

$$\delta_{ym} = [3,3 - 0,81] \cdot 0,043 = 0,107 \text{ м}$$

Найближче стандартне значення товщини плит пінополістирольних, що є у продажу – 0,1 м.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для горищного перекриття. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки Техноніколь (Мат Техно 50 мм (1000×50×8000) Теплололл Утеплювач):

$$\delta_{ym} = [4,95 - 2,37] \cdot 0,042 = 0,108 \text{ м}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати– 0,15 м.

3. Товщина теплоізоляції стін будівлі спорткомплексу

$$\delta_{ym} = [3,3 - 0,8] \cdot 0,043 = 0,108 \text{ м}$$

Найближче стандартне значення товщини плит пінополістирольних, що є у продажу – 0,1 м.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для горищного перекриття. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки Техноніколь (Мат Техно 50 мм (1000×50×8000) Теплололл Утеплювач):

$$\delta_{ym} = [4,95 - 1,04] \cdot 0,042 = 0,164 \text{ м}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати– 0,2 м.

Економічний ефект від утеплення огорожувальних конструкцій за опалювальний період розраховується за середньорічним показником температури:

$$Q_{\text{Ек.рік}} = F \cdot (1/R_{\Sigma \text{пр}} - 1/R_{\text{qmin}}) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.оп}}) \cdot n \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7}, \text{ Гкал} \quad (6.16)$$

де $R_{\Sigma пр}$ - приведений (дійсний) опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (таблиця 4.2);

$R_{q \min}$ - нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції після теплоізоляції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [16];

F – площа огорожувальної конструкції, яка утеплюється, м^2 ;

$t_{\text{вн}}$ - внутрішня температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{ср.оп}}$ - середньорічна температура опалювального сезону, $^{\circ}\text{C}$;

n - кількість днів опалювального сезону.

1. Економічний ефект від утеплення лабораторного корпусу
- для зовнішніх стін

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 395,6 \cdot (1/1,01 - 1/3,3) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 18,40 \text{ Гкал}$$

- для горищного перекриття

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 462,2 \cdot (1/0,8 - 1/4,95) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 32,8 \text{ Гкал}$$

2. Економічний ефект від утеплення навчального корпусу «Б»
- для зовнішніх стін з висотою приміщень 2,3 м

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 574,08 \cdot (1/0,81 - 1/3,3) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 36,2 \text{ Гкал}$$

- для горищного перекриття

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 832,4 \cdot (1/2,37 - 1/4,95) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 12,4 \text{ Гкал}$$

3. Економічний ефект від утеплення будівлі спорткомплексу
- для зовнішніх стін

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 652,32 \cdot (1/0,8 - 1/3,3) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 41,8 \text{ Гкал}$$

- для горищного перекриття

$$Q_{\text{Ек.рік}} = 571,8 \cdot (1/1,04 - 1/4,95) \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 160 \cdot 24 \cdot 8,6 \times 10^{-7} = 29,4 \text{ Гкал}$$

6.7.2 Встановлення радіаторних рефлекторних (теповідбиваючих) екранів

Розрахунок представлено для одного опалювального приладу – чавунний секційний радіатор типу МС-140 на 8 секцій (висота 0,6 м, довжина 0,8 м). У якості рефлектора обирається фольгоізол товщиною 5 мм і коефіцієнтом теплопровідності 0,046 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. В залежності від запланованої кількості модернізованих місць за опалювальними приладами, загальний результат економії витрат теплової енергії від

впровадження даного енергозберігаючого заходу буде дорівнювати добутку їх кількості на величину економії від одного модернізованого місця. Розрахунок представлено на прикладі лабораторного корпусу, бо у ньому використовуються тільки чавунні секційні радіатори типу МС-140.

Річні втрати теплоти крізь стіни, без встановлених рефлекторних екранів, кВт·год/рік:

$$Q_{\text{стн}} = \frac{F_{\text{стн}}}{R_{\Sigma\text{пр}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ср.р}}) \cdot 1,05 \cdot 24 \cdot n_{\text{оп}} \cdot 10^{-3} \quad (6.17)$$

$F_{\text{стн}}$ – розрахункова площа зовнішніх стін по периметру опалювального приладу, м²;

$R_{\Sigma\text{пр}}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (за результатами проведених розрахунків), м²·°C/Вт;

$t_{\text{в}}$ – внутрішня температура приміщення, °C;

$t_{\text{ср.р}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C.

$n_{\text{оп}}$ – тривалість опалювального періоду, діб.

$$Q_{\text{стн}} = \frac{(0,8 \cdot 0,6)}{1,01} \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 1,05 \cdot 24 \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 39,3 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Сумарний тепловий опір стін та рефлекторів, м²·°C/Вт

$$R_{\text{сум}} = R_{\Sigma\text{пр}} + R_{\text{р}} \quad (6.18)$$

де $R_{\text{р}}$ – величина опору теплопередачі рефлекторного екрану, м²·°C/Вт.

$$R_{\text{сум}} = 1,01 + 0,005/0,046 = 1,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Економія теплової енергії за рік за рахунок зменшення теплопередачі крізь стіни при встановленні рефлекторних тепловідбиваючих екранів, кВт·год/рік

$$Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік1}} = Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} \cdot \left(\frac{F_{\text{р}}}{F_{\text{стн}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_{\Sigma\text{пр}}}{R_{\text{сум}}} \right) \quad (6.19)$$

де $F_{\text{р}}$ – розрахункова величина площі рефлекторного екрану, м². Приймається як площа опалювального приладу в межах його периметру, збільшена у 1,2...1,5 рази.

$$Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік1}} = 39,3 \cdot \left(\frac{0,6}{0,48} \right) \cdot \left(1 - \frac{1,01}{1,12} \right) = 4,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Зменшення теплового потоку, який передається поверхні стіни шляхом випромінювання, визначається як різниця енергій випромінювання для випадку відсутності рефлекторного екрану за опалювальним пристроєм (до впровадження

заходу) та для випадку його встановлення (після впровадження заходу), і визначається за наступною формулою, Вт:

$$Q_{\text{випр}} = C_s \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_p \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_{2.1}^{-1} - 1} - \frac{1}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_{2.2}^{-1} - 1} \right) \quad (6.20)$$

де $C_s = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

T_1 – розрахункова температура поверхні опалювального приладу (осереднена за результатами вимірювання – 56°C), К;

T_2 – розрахункова температура стіни за опалювальним пристроєм (приймається, як $T_1/1,2$), К;

ε_1 – ступінь чорноти радіатора (пофарбовано у білий колір), дорівнює 0,1;

ε_2 – ступінь чорноти поверхні за радіатором: стіни (світла фарба) дорівнює $\varepsilon_{2.1}=0,2$; ступінь чорноти тепловідбивача (рефлекторного екрану) – $\varepsilon_{2.2}=0,01$.

$$\begin{aligned} Q_{\text{випр}}^{\text{ЕК}} &= 5,7 \cdot \left[\left(\frac{329}{100} \right)^4 - \left(\frac{274}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,576 \cdot \left(\frac{1}{0,1^{-1} + 0,2^{-1} - 1} - \frac{1}{0,1^{-1} + 0,01^{-1} - 1} \right) \\ &= 12,4 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Річна економія теплової енергії за рахунок зменшення випромінювання, кВт·год/рік:

$$Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік2}} = Q_{\text{випр}}^{\text{ЕК}} \cdot n_{\text{оп}} \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (6.21)$$

$$Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік2}} = 12,4 \cdot 160 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 47,62 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$$

Річна економія теплової енергії від впровадження заходу з установаження рефлекторного екрану за опалювальними приладами, кВт·год/рік, складе:

$$\Delta Q_{\text{екр}}^{\text{ЕК,рік}} = Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік1}} + Q_{\text{ЕК}}^{\text{рік2}} \quad (6.22)$$

$$\Delta Q_{\text{екр}}^{\text{ЕК,рік}} = 4,8 + 47,62 = 52,42 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік} \text{ або } \Delta Q_{\text{екр}}^{\text{ЕК,рік}} = 0,045 \text{ Гкал}/\text{рік}$$

6.7.3 Ремонт та заміна віконних отворів

Розрахунок ведеться для випадку заміни всіх віконних отворів у навчальному корпусі. Величина економії теплової енергії розраховується для умов середньозимової температури для даного регіону. Заміну пошкодженого віконного отвору з деревени рекомендується провести на нові металопластикові вікна. Для впровадження рекомендується вікно з ПВХ, з двокамерним склопакетом, між скляною відстанню 12 мм, опором теплопередачі $0,58 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [19]. Конструкція

сучасного віконного отвору має якісне ущільнення, тому можлива величина інфільтрації повітря крізь нього дуже мала, у розрахунках нею можна знехтувати.

1. Розрахунок економії теплової енергії від заміни вікон у лабораторному корпусі

Тепловтрати крізь віконні отвори у будівлі лабораторного корпусу до впровадження енергозберігаючого заходу складають (див. таблиця 5.6):

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 9,548 + 5,374 = 14,922 \text{ кВт}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть згідно формули (6.8):

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{92,74}{0,58} (18 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 3,278 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{ВКН}} &= (Q_{\text{ВКН}}^1 - Q_{\text{ВКН}}^2) \cdot n_{\text{оп}} \cdot 24, \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \\ \Delta Q_{\text{ВКН}} &= (14,922 - 3,278) \cdot 160 \cdot 24 = 44713 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \end{aligned} \quad (6.23)$$

або

$$\Delta Q_{\text{ВКН}} = 44713 \times 8,6^{-4} = 38 \text{ Гкал/рік}$$

2. Розрахунок економії теплової енергії від заміни віконних отворів у будівлі навчального корпусу «А»

Тепловтрати крізь віконні отвори у будівлі навчального корпусу «А» до впровадження енергозберігаючого заходу складають (див. таблиця 6.7):

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 22,37 + 12,59 = 34,96 \text{ кВт}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть згідно формули (4.8):

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{218,24}{0,58} (18 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 7,7 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон (6.23):

$$\Delta Q_{\text{ВКН}} = (34,96 - 7,7) \cdot 160 \cdot 24 = 104678,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

або

$$\Delta Q_{\text{вкн}} = 104678,4 \times 8,6^{-4} = 90 \text{ Гкал/рік}$$

2. Розрахунок економії теплової енергії від заміни віконних отворів у будівлі навчального корпусу «Б»

Тепловтрати крізь віконні отвори у навчальному корпусі «Б» до впровадження енергозберігаючого заходу складають (див. таблиця 6.8):

$$Q_{\text{вкн}}^1 = Q_{\text{вкн}} + Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 7,2 + 2,3 = 9,5 \text{ кВт}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть згідно формули (6.3):

$$Q_{\text{вкн}}^2 = \frac{38,72}{0,58} (18 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 1,4 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон (5.23):

$$\Delta Q_{\text{вкн}} = (9,5 - 1,4) \cdot 160 \cdot 24 = 31104 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

або

$$\Delta Q_{\text{вкн}} = 31104 \times 8,6^{-4} = 26,7 \text{ Гкал/рік}$$

3. Розрахунок економії теплової енергії від заміни віконних отворів у будівлі навчального корпусу «Д»

Тепловтрати крізь віконні отвори у будівлі навчального корпусу «Д» до впровадження енергозберігаючого заходу складають (див. таблиця 6.9):

$$Q_{\text{вкн}}^1 = Q_{\text{вкн}} + Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 3,1 + 1,73 = 4,83 \text{ кВт}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть згідно формули (6.8):

$$Q_{\text{вкн}}^2 = \frac{29,94}{0,58} (18 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 1,06 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон (6.9):

$$\Delta Q_{\text{вкн}} = (4,83 - 1,06) \cdot 160 \cdot 24 = 14476,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

або

$$\Delta Q_{\text{вкн}} = 14476,8 \times 8,6^{-4} = 12,4 \text{ Гкал/рік}$$

4. Розрахунок економії теплової енергії від заміни віконних отворів у будівлі спорткомплексу

Тепловтрати крізь віконні отвори у будівлі спорткомплексу до впровадження енергозберігаючого заходу складають (див. таблиця 6.10):

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 12,44 + 7,0 = 19,44 \text{ кВт}$$

Для приміщення спортзали з баскетбольним майданчиком рекомендується зменшити площу віконних отворів у кількості 5 шт з розміру $4,9 \times 3,5$ м до розміру $3,5 \times 3,5$ м. Таким чином, загальна площа всіх віконних отворів будівлі спорткомплексу складе $96,88 \text{ м}^2$. Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть згідно формули (6.8):

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{96,88}{0,58} (18 - (-2,5)) \times 10^{-3} = 3,4 \text{ кВт}$$

Зменшення річних втрат теплоти після заміни вікон (6.23):

$$\Delta Q_{\text{ВКН}} = (19,44 - 3,4) \cdot 160 \cdot 24 = 61593,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

або

$$\Delta Q_{\text{ВКН}} = 61593,6 \times 8,6^{-4} = 53 \text{ Гкал/рік}$$

6.7.4 Встановлення повітряної (теплової) завіси на зовнішні двері

Розрахунок представлений для вхідних дверей розмірами $1,6 \times 2,0$ м. З урахуванням дії вітру масова витрата повітря, що надходить через відкриті двері будівлі навчального корпусу «А» без повітряної завіси, кг/с, визначається рівнянням [21]:

$$G_{\text{вр}} = B \cdot H \cdot [0,33 \cdot k_q \cdot (g \cdot H \cdot \Delta \rho / \rho_c) \cdot 0,5 + 0,125 \cdot v] \cdot \rho_c \quad (6.24)$$

де: B і H – відповідно ширина – 1,6 м та висота дверей – 2 м;
 k_q – коефіцієнт витрати (для незахищених дверей 0,8);
 g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;
 $\Delta \rho$ – різниця густин повітряних мас, кг/м^3 ;
 v – швидкість вітру під кутом до дверей (І зона – 2 м/с) [19];
 ρ_c – середня густина повітряних мас, кг/м^3 (для нормальних умов $\rho_{\text{н}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$):

$$\rho_c = \frac{353}{[273 + 0,5 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ср.оп}})]} \quad (6.25)$$

$t_{\text{ср.оп}}$ – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{\text{в}}$ – внутрішня температура приміщень будівлі – 18°C ;

$$\Delta \rho = \rho_{\text{н}} - \rho_c = 1,3 - \frac{353}{[273 + 0,5 \cdot (18 - (-2,5))]} = 0,05 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{\text{вр}} = 1,6 \cdot 2 \cdot [0,33 \cdot 0,8 \cdot (9,81 \cdot 2 \cdot 0,05 / 1,25) \cdot 0,5 + 0,125 \cdot 2] \cdot 1,25 = 1,4 \text{ кг/с}$$

Теплова потужність, яка необхідна для нагріву повітря, що надходить у ворота або двері без повітряної завіси, кВт, визначається за формулою:

$$Q_{\text{вр}}^{\text{інф}} = G_{\text{вр}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ср.оп}}) \cdot k_{\text{в}} \quad (6.26)$$

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

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що враховує фактичний час відкривання воріт протягом години (відношення сумарної кількості хвилин на відкривання за годину до кількості хвилин у годину $k_{\text{в}} = 15/60 = 0,25$).

$$Q_{\text{вр}}^{\text{інф}} = 1,4 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-2,5)) \cdot 0,25 = 7,2 \text{ кВт}$$

Теплова потужність, яка необхідна для нагрівання повітря, яке надходить у ворота або двері з працюючою повітряною завісою, кВт, визначається за формулою:

$$Q_{\text{вр}}^3 = G_{\text{вр}}^3 \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ср}}) \cdot k_{\text{в}} \quad (6.27)$$

де: $G_{\text{вр}}^3$ – масова витрата повітря, що надходить у приміщення при діючій завісі, кг/с:

$$G_{\text{вр}}^3 = k_q^3 \cdot G_{\text{вр}} \quad (6.28)$$

де k_q^3 – коефіцієнт витрати повітря через двері, які захищені тепловою завісою (для практичних розрахунків середнє значення дорівнює $0,4$);

$t_{\text{ср}}$ – середня температура повітря, яке надходить у приміщення при встановленій повітряній завісі, $^\circ\text{С}$, визначається за формулою:

$$t_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{вр}}^3 \cdot t_{\text{ср.оп}} + G_3 \cdot t_{\text{звс}}}{G_{\text{вр}}^3 + G_3} \quad (6.29)$$

$t_{\text{звс}}$ – температура повітря, що подається завісою, $^\circ\text{С}$ (якщо повітря забирається вентилятором з приміщення, то $t_{\text{звс}} = t_{\text{в}}$);

G_3 – масова витрата повітря, що створюється завісою, кг/с:

$$G_3 = q \cdot G_{\text{вр}} \quad (6.30)$$

де q – коефіцієнт відносної витрати повітря завісою (для практичних розрахунків середнє значення дорівнює $q = 0,35$).

$$G_{\text{вр}}^3 = 0,4 \cdot 0,9 = 0,36 \text{ кг/с}$$

$$G_3 = 0,35 \cdot 0,9 = 0,315 \text{ кг/с}$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{0,36 \cdot (-2,5) + 0,315 \cdot 18}{0,36 + 0,315} = 7,1^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{вр}}^3 = 0,36 \cdot 1,005 \cdot (18 - 7,1) \cdot 0,25 = 1 \text{ кВт}$$

Зменшення втрат теплоти на нагрівання повітря, яке надходить усередину приміщення при застосуванні повітряної завіси складе, кВт:

$$\Delta Q_{\text{вр}}^3 = Q_{\text{вр}}^{\text{інф}} - Q_{\text{вр}}^3 = 7,2 - 1 = 6,2 \text{ кВт} \quad (6.31)$$

Річна економія теплоти після встановлення теплової завіси, Гкал/рік:

$$Q_{\text{вр}}^{\text{ЕК.рік}} = \Delta Q_{\text{вр}}^3 \cdot n_{\text{р.г}} \cdot n_{\text{р.п}} \cdot 8,6 \times 10^{-4} \quad (6.32)$$

де $n_{\text{р.г}}$ – тривалість періоду роботи повітряної завіси за добу – 8 годин;
 $n_{\text{р.п}}$ – тривалість робочого періоду у приміщенні за період листопад-лютий – 120 діб.

$$Q_{\text{вр}}^{\text{ЕК.рік}} = 6,2 \cdot 8 \cdot 120 \cdot 8,6 \times 10^{-4} = 5,1 \text{ Гкал/рік}$$

7 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МОН УКРАЇНИ У М. СУМИ

З метою визначення реального стану будівель, обсягів споживання ПЕР та необхідності розробки та впровадження енергозберігаючих заходів було проведено енергетичне обстеження будівель 9 навчально-виховних закладів та установ галузі «Освіта»: ССШ №№ 2, 10, 25, ЗОШ №№ 18, 24, ДНЗ №№ 21, 40, НВК ДНЗ № 42, ЦЕНТУМ із використанням тепловізора.

В ході роботи було вивчено проектну документацію закладів, перевірено дійсний стан конструктивно-технологічних елементів обстежуваних об'єктів і енергетичних систем (тепло - та електрозабезпечення, водопостачання і освітлення).

Вивчено склад паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що використовуються на об'єктах, перевірено стан та наявність актів повірки вимірювальних пристроїв. Проаналізовано обсяги споживання ПЕР з відповідним аналізом отриманих результатів. Проведено інструментальне обстеження дійсного стану огорожувальних конструкцій з отриманням їх тепловізійних зображень (термограм) та представлено аналіз тепловізійного обстеження досліджуваних об'єктів. Проведено енергетичне обстеження дійсного стану систем освітлення та систем вентиляції. Проведено порівняльний аналіз питомих витрат енергоресурсів на об'єктах енергетичного обстеження з встановленими нормами енергозбереження, чинними на території України. Розрахунково отримано величини основних видів витрат теплової енергії на досліджуваних об'єктах з метою визначення напрямків впровадження першочергових енергозберігаючих заходів. Складанно енергетичний баланс тепловтрат та теплонадходжень об'єктів до впровадження енергоефективних заходів. Визначено максимальні рівні теплової потужності систем опалення на досліджуваних об'єктах для подальшого можливого переобладнання застарілих теплових пунктів на сучасні індивідуальні теплові пункти (ІТП). Визначено базові рівні енергоспоживання об'єктів з наступним їх порівнянням щодо рівня теплоспоживання за нормованими показниками. Проведено розроблення енергозберігаючих заходів з економії ПЕР для наближення споживання енергоресурсів до нормованих показників та їх розрахункове обґрунтування. Розрахунково обчислено скорочення споживання енергоресурсів з корегуванням по відношенню до базового рівня енергоспоживання. Проведено економічний розрахунок щодо фінансового обґрунтування розроблених заходів з енергозбереження, та визначення можливих термінів окупності після їх впровадження (простий та дисконтований строк окупності на базі прогнозованих тарифів, чиста приведена вартість, рентабельність заходу). Визначено можливий рівень зниження викидів CO₂ за рахунок впровадження розроблених енергозберігаючих заходів.

Нижче приведено результати енергетичного обстеження одного з об'єктів - комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №18 м. Суми.

7.1 Вивчення проектної документації

Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів №18 є комунальним закладом Сумської міської ради. Головна будівля розташована за адресою: вул. Леваневського, 8, м. Суми, Сумська область, 40004.

Телефон (0542) 25-70-20, (0542) 25-02-50.

Сайт: 18-sumy.com.ua.

За ініціативою міського відділу освіти у 1936 році була відкрита і почала діяти Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів №18, як восьмирічна школа.

ЗОШ №18 має три навчальні корпуси загальною площею 7675 м². Для проведення навчального процесу в школі діють 39 навчальних кабінети, 44 навчальні кімнати, 2 майстерні, актові зали, музичний кабінет, бібліотека, кабінет психолога, кабінет соціолога, спортивна зала, їдальня, стоматологічний кабінет, медичний кабінет.

Розподіл кількості викладацького складу ЗОШ №18 за посадами наведений у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Розподіл кількості викладачів за посадами

Посада	Кількість працівників
Викладачі вищої категорії	47
Викладачі I-ї категорії	17
Викладачі II-ї категорії	3
Спеціалісти	5

У закладі встановлений п'ятиденний робочий тиждень. Вихідні дні: субота, неділя. Робочий графік роботи закладу: з 8⁰⁰ години до 17³⁰ години.

Архітектурно-планувальна конструкція не відповідає сучасним вимогам енергоефективності експлуатації будівлі. А саме, великі площі віконних прорізів, високі стелі, великі об'єми рекреаційних приміщень, застаріли конструкції вхідних дверей у будівлю. Вказані фактори обумовлюють погіршення умов тепломасовологічного стану всієї будівлі у цілому.

Підтримання комфортних температур у приміщеннях з завищеними об'ємами вимагає більших витрат теплової енергії. Незадовільний стан вікон застарілої конструкції спричиняють надмірну інфільтрацію холодного повітря до спортивної зали, актові зали, їдальні, кабінету хімії, кабінету заступника директора з господарчої частини та в коридори навчального закладу. Все у сумі підвищує надмірне споживання теплової енергії усім комплексом будівель школи.

Документація щодо технічної характеристики огороджувальних конструкцій будівель школи наведена у додатку А.

Таблиця 7.2 – Загальна технічна характеристика огорожувальних конструкцій будівель школи

Старий корпус А		
№ п/п	Найменування частин будинку	Коротка технічна характеристика
1	Фундамент	Цегляний
2	Зовнішні стіни	Цегляні, розшивання швів
3	Внутрішні стіни	Цегляні, оштукатурені, побілені
3	Перекриття	Дерев'яний накат по балкам з підшивкою
4	Перегородки	Цегляні, деревина, оштукатурені, побілені
5	Дах	Шифер, етерніт
6	Підлога	Дошка, метлахська плитка, лінолеум
7	Віконні заповнення	Подвійні стулки
8	Дверні заповнення	Філенчасті
Старий корпус А1		
1	Фундамент	Бетонний
2	Зовнішні стіни	Цегляні, розшивання швів
3	Внутрішні стіни	Цегляні, оштукатурені, побілені
3	Перекриття	Збірні залізобетонні
4	Перегородки	Цегляні, оштукатурені, побілені
5	Дах	Шифер
6	Підлога	Дошка, метлахська плитка, лінолеум
7	Віконні заповнення	Подвійні стулки
8	Дверні заповнення	Філенчасті
Новий корпус А2		
1	Фундамент	Збірний бетонний
2	Зовнішні стіни	Цегляні, розшивання швів
3	Внутрішні стіни	Цегляні, оштукатурені, побілені
3	Перекриття	Залізобетонні
4	Перегородки	Цегляні, оштукатурені, побілені
5	Дах	Поєднаний рубероїдний
6	Підлога	Цемент, керамічна плитка, лінолеум
7	Віконні заповнення	Спарені
8	Дверні заповнення	Однопільні, двопільні

При вивченні проектної документації і подальшого її зіставлення з дійсним станом будівель, які обстежуються, було встановлено, що за час експлуатації об'єктів

змін у загальну конструкцію стін внесено не було, що свідчить про відповідність стану огорожувальних конструкцій до проектних вимог на час будівництва. Дійсні параметри опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель школи не відповідають чинним на даний час величинам щодо опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [19]. Однак, при проведенні енергетичного обстеження було встановлено, що відбулися зміни у архітектурно-планувальній конструкції закладу, а саме, закладання цеглою шести віконних прорізів першого поверху старого корпусу «А» у зв'язку з облаштуванням музею.

7.2 Вивчення складу ПЕР, що використовуються на досліджуваному об'єкті

7.2.1 Характеристика систем енергозабезпечення об'єкту

Основними системами, що забезпечують функціонування будівель школи, являються системи теплопостачання, електропостачання, водопостачання, вентиляційна система та система водовідведення (каналізації).

Система водовідведення – централізована.

Система теплопостачання

Теплопостачання ЗОШ №18 здійснюється централізовано згідно договору про надання послуг з централізованого опалення, який укладено з ТОВ «Сумитеплоенерго», договір №383-Т від 07.02.14 р. Акт меж розподілу відповідальності за стан та обслуговування теплових мереж між ТОВ «Сумитеплоенерго» та Управлінням освіти та науки Сумської міської ради до об'єкта КУ Сумська ЗОШ I-III ступенів №18 представлений у додатку Ж.

Ввід теплової мережі передбачений до теплового пункту, який розміщений у старому корпусі школи «А», після обліку підведеної теплоти частина теплоносія направляється до розподільчого елеваторного вузлу, який розташовано у новому корпусі школи «А2». Схема теплового пункту надана у додатку Б.

Трубопроводи тепломережі і деталі вузла обліку теплової енергії сталеві, частково ізольовані.

Система теплової мережі у старому корпусі школи двотрубна, а у новому корпусі бівалентна однострубна система; за напрямом з'єднання опалювальних приладів - горизонтальна.

Магістральні розподільчі трубопроводи, прокладені по зовнішній стіні на старому корпусі школи «А» та «А1» та в підвальному приміщенні нового корпусу школи «А2».

Досліджувана система опалення включає наступне устаткування:

- подавальні стояки, які в старому корпусі «А» та новому корпусі «А2» вмонтовані у стіни будівлі;
- підводки;
- опалювальні прилади;

- запірно-регулююча арматура;
- зворотний трубопровід.

В якості опалювальних приладів використовуються в основному чавунні секційні радіатори. Опалювальні прилади розташовані під вікнами в кожному приміщенні. У деяких приміщеннях навчального закладу встановлені конвекційні радіатори опалення (типу "Аккорд"), а саме, в їдальні та бухгалтерії.

Фільтр перед водоміром очищується своєчасно в процесі експлуатації за необхідністю. Необхідність чистки визначається за зменшенням показника витрати води чи за збільшенням різниці показань манометрів до та після водоміра та фільтра.

Доступ до опалювальних приладів необмежений. Система теплопостачання закладу має ряд експлуатаційних недоліків, що впливає на якість теплопередачі від приладів опалення, в результаті чого температура у деяких приміщеннях закладу не відповідає нормативним показникам, що призводить до погіршення комфортних умов перебування в приміщеннях і вимагає більших витрат теплової енергії.

Система водопостачання та водовідведення (каналізації)

Постачання води до ЗОШ №18 здійснюється централізовано від мереж КП «Міськводоканал» Сумської міської ради. Подача води забезпечується за рахунок тиску зовнішньої водопровідної мережі. Об'єми споживання води обраховуються лічильником, що належить закладу.

Внутрішня мережа холодного водопостачання складається з наступних елементів:

- ввід водопроводу в будівлю;
- пункт обліку з лічильником;
- розподільні мережі трубопроводів, виконані зі сталевих труб;
- запірно-регулююча арматура (засувки, вентилі).

Система гарячого водопостачання відсутня. Вода нагрівається бойлером непрямого нагріву лише для потреб їдальні та прибирання класних кімнат. Система водопостачання та водовідведення закладу оснащена застарілими раковинами та змішувачами, на кожному поверсі закладу знаходяться фонтанчики із нержавіючої сталі для пиття води.

Система електропостачання та освітлення

Електропостачання навчальних корпусів Сумської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №18 здійснюється на підставі договору з ВАТ «Сумиобленерго», номер 4004 від 26.01.10 р.

На балансі закладу знаходяться шість власних трансформаторів струму Т-0,66 200/5 (клас точності 0,5S).

До основного електроспоживаючого обладнання закладу належать: дві плити, два холодильника (виробничих) та чотири холодильники (побутових), електросковорода, електродуховка, духовна шафа, тістомісилка, електром'ясорубка,

електрочайники, електричні ваги, метало- та деревообробні станки, комп'ютери, принтери, проектори, телевізори, ноутбуки, магнітофони, кондиціонери.

Систему освітлення складають світильники з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами. Ламп розжарення 325 штук одиничною потужністю 100 Вт, ламп люмінесцентних одиничною потужністю 40 Вт та енергозберігаючих одиничною потужністю 20 Вт - 445 штук. У більшій кількості навчальних кімнат закладу впроваджене зональне освітлення.

7.2.2 Ознайомлення з умовами використання ПЕР

Система теплопостачання

Тариф за тепло (на період енергетичного обстеження) – 1020,13 грн/Гкал.

Згідно договору з ТОВ «Сумитеплоенерго» щомісячно заклад отримує акт прийому-передачі теплової енергії та рахунок за спожиту теплову енергію. Розрахунок за спожиту теплову енергію здійснюється до кінця розрахункового місяця.

Вузол обліку теплової енергії розташований у теплопункті в підвальному приміщенні нового корпусу школи «А2», де є вільний доступ обслуговуючого персоналу до приладів, наявне освітлення, та відповідає вимогам Правил технічної експлуатації тепловикористовуючих устаткувань і теплових мереж.

Технічними умовами передбачено встановлення універсального електронного лічильника тепла типу «Sensus» у новому корпусі школи.

До складу теплолічильника входять:

- теплообчислювач;
- гідравлічний елемент (лічильник води);
- термоелектричні датчики опору.

У 2013 році було проведено планове гідропневматичне промивання системи опалення.

Основними завданнями персоналу, що обслуговує теплопункт є:

- нагляд за технічним станом устаткування, його роботою, регулювання;
- зняття показань лічильника;
- спостереження за параметрами теплоносія з метою забезпечення надійного і якісного теплопостачання, раціонального використання енергії.

Відповідальний за теплогосподарство і теплозабезпечення в школі – заступник директора з господарчої частини.

Система холодного водопостачання та водовідведення (каналізації)

Холодне водопостачання та водовідведення здійснюється згідно договору на водопостачання та прийом стічних вод, який укладено з КП «Міськводоканал» Сумської міської ради.

Тариф на холодну воду (на період енергетичного обстеження) – 6,30 грн/м³.

Кількість спожитої холодної води визначається лічильником обліку холодної води, що встановлений на ввіді у підвальному приміщенні старого корпусу школи

«А», Sehlumberger №00700384 тип ТА4М25. Періодичність повірки - один раз на 3 роки.

Система електропостачання

Облік спожитої електроенергії здійснюється згідно з вимогами ПУЕ та ПКЕЕ.

Оплата за спожиту електроенергію здійснюється щомісячно, на основі показань приладів обліку і рахунків від енергопостачальної організації (розрахунковий період - місяць).

Комерційний облік спожитої електричної енергії на даний момент здійснюється багатофункціональними лічильниками електричної енергії:

- Старий корпус школи «А» - «Енергія -9» СТКЗ №66062612;
- Старий корпус школи «А1» - «Енергія -9» СТКЗ №51603;
- Новий корпус школи «А2» - «Енергія -9» СТКЗ №0981123.

Тариф на електроенергію (на період енергетичного обстеження) - 1,66 грн/кВт·год.

У штаті працівників закладу наявний працівник з групою допуску для виконання оперативної роботи по електрогосподарству.

7.2.3 Перевірка наявності актів здачі вузлів обліку ПЕР

Всі засоби обліку спожитих енергоресурсів та води ЗОШ №18 визнано придатними (згідно з ДСТУ 3339-96) до застосування на підставі результатів проведених повірок. Періодичність повірки: універсального теплотічильника «Sensus» 1 раз на 4 роки, рік останньої повірки – 2013; водолічильника Sehlumberger №00700384 1 раз на 3 роки, рік останньої повірки – 2013; комплексу термоперетворювачів опору платинових (термометр, манометр) 1 раз на 4 роки, рік повірки – 2009; лічильників електричної енергії багатофункціональних типу: «Енергія-9» СТКЗ №66062612; «Енергія -9» СТКЗ №51603; «Енергія -9» СТКЗ №0981123 1 раз в 5 років, рік повірки – 2009.

Повірку проведено підприємствами: теплотічильника та водолічильника - ООО «Інвест-Г»; термометра та манометра - ДП «Сумистандартметрологія»; лічильників електричної енергії - ВАТ «Сумиобленерго».

7.2.4 Аналіз обсягів використання ПЕР на об'єкті енергетичного обстеження

7.2.4.1 Аналіз обсягів споживання теплової енергії

На рисунку 6.1 наведена динаміка споживання теплової енергії навчальними корпусами за 2012, 2013 та 2014 роки (за даними журналу обліку закладу).

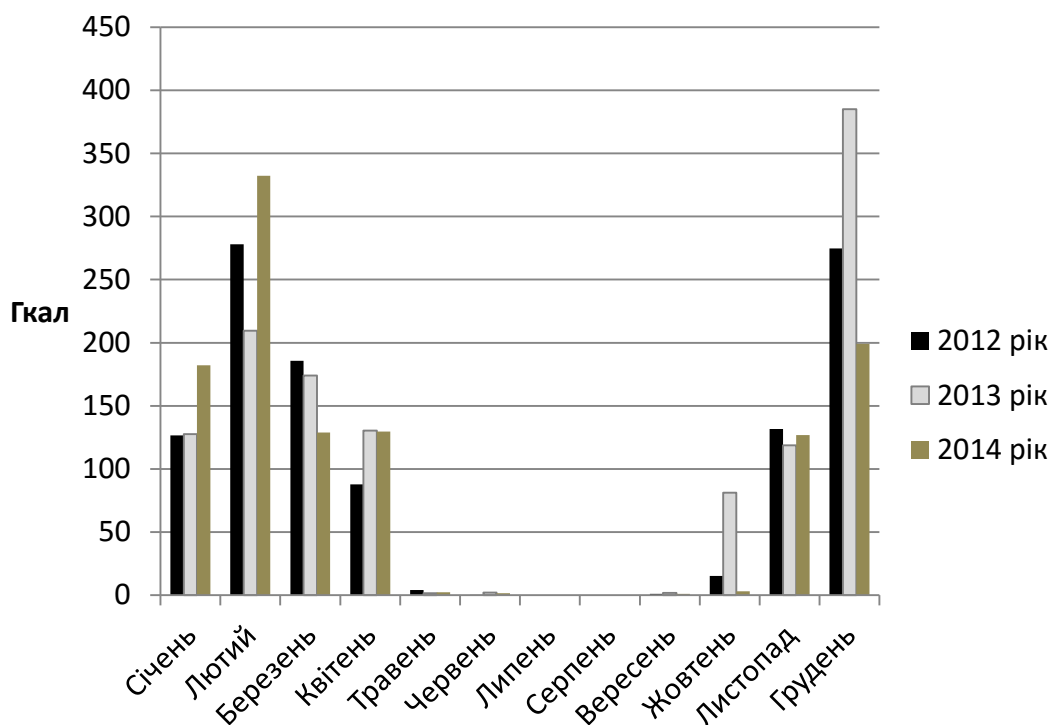


Рисунок 7.1 – Динаміка споживання теплової енергії навчальними корпусами за 2012, 2013 та 2014 роки

Теплову енергію від мережі тепlopостачання навчальний заклад споживає протягом всього року, окрім липня та серпня, у ці місяці вода гріється бойлером непрямого нагріву. Максимум споживання теплової енергії на опалення приходить на лютий і грудень, а мінімум – на жовтень і квітень. Спостерігається різке підвищення споживання теплової енергії у грудні 2013 року порівняно з 2012 роком та у лютому 2014 року порівняно з 2013 та 2012 роками, що обумовлене низькими температурами навколишнього середовища. У жовтні 2014 року спостерігається низьке споживання теплової енергії у порівнянні з іншими роками, що зумовлене підвищенням температури навколишнього середовища, яке малоймовірно в даний період року.

7.2.4.2 Аналіз обсягів споживання електричної енергії

На рисунку 7.2 наведена динаміка споживання електричної енергії навчальними корпусами у 2012, 2013 та 2014 роках.

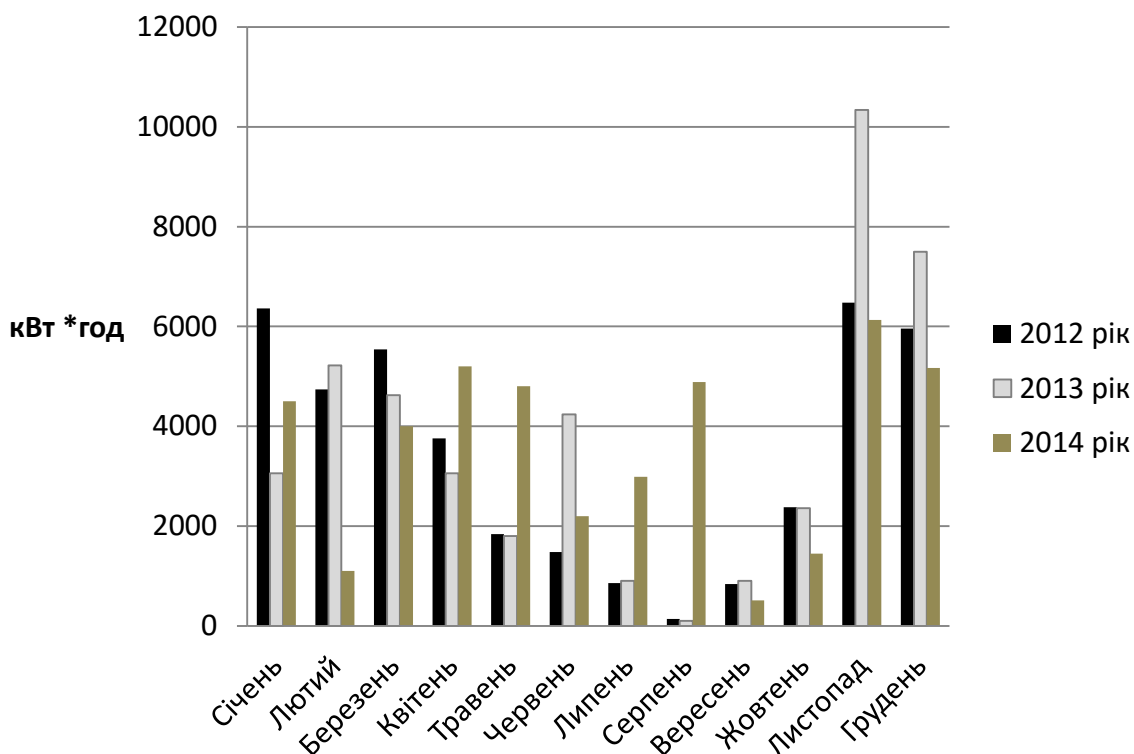


Рисунок 7.2 – Динаміка споживання електричної енергії навчальними корпусами у 2012, 2013 та 2014 роках

Проаналізувавши діаграму споживання електричної енергії ЗОШ № 18 рисунок 1.2, бачимо, що кількість спожитої електроенергії в теплу пору року менша. Це можна пояснити тим, що в теплий період збільшується світловий день і, як результат, зменшується споживання електроенергії на освітлення приміщень. З діаграми бачимо, що найбільше споживання електроенергії спостерігається протягом всього 2014 року, навіть в теплий період, внаслідок проведення ремонтно-будівельних робіт. На період літніх канікул в школі працює табір протягом червня та липня, в липні може працювати в дві зміни (залежить від кількості учнів). Характер споживання електричної енергії залежить від використання енергоспоживаючого обладнання (у січні 2014 року були замінені дві плити потужністю по 12 кВт кожна), режими його роботи пов'язаний з кількістю учнів та особливостями навчального процесу у закладі у відповідний період. Взагалі споживання електричної енергії закладом за роками у відповідні періоди відбувається нерівномірно.

7.2.4.3 Аналіз обсягів споживання холодної води

На рисунку 7.3 наведена діаграма динаміки споживання холодної води навчальними корпусами у 2012, 2013 та 2014 роках (за даними журналу обліку).

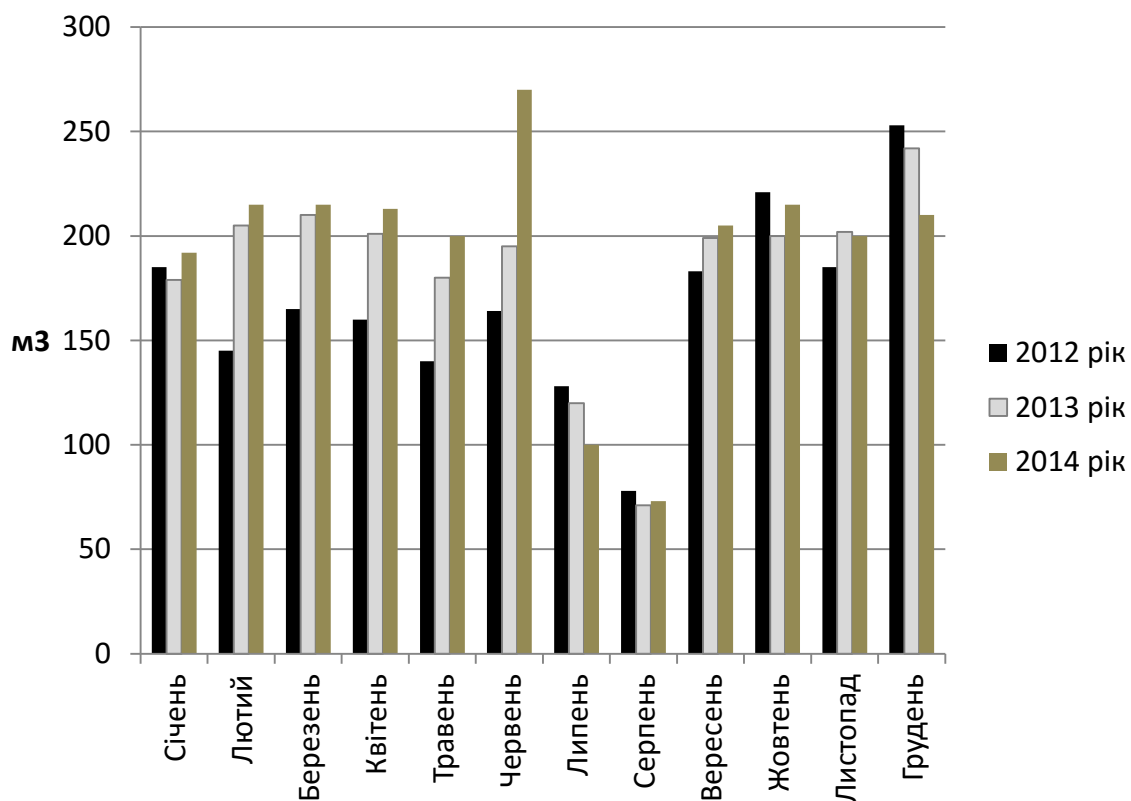


Рисунок 7.3 - Динаміка споживання холодної води навчальними корпусами у 2012, 2013 та 2014 роках

З наведеної діаграми видно загальну тенденцію споживання холодної води в закладі. Зменшення споживання її у літній період року зумовлене зменшенням кількості учнів і, як результат, зниженням обсягів споживання води, яка в основному йде на потреби їдальні та санвузлів. Скачки споживання холодної води пов'язані, як правило, з проведенням господарчих та ремонтно-будівельних робіт. Різкі підвищення споживання холодної води у грудні 2012-2013 років порівняно з 2014 роком обумовлені проведенням ремонтно-будівельних робіт у закладі, а також у червні 2014 року порівняно з іншими роками, що обумовлене роботою літнього табору відпочинку. Взагалі споживання холодної води в закладі за роками у відповідні періоди є рівномірним.

Для надання загальної характеристики обсягів витрат ПЕР і води та визначення першочергових можливих напрямків економії енергоспоживання, наведено порівняльну діаграму витрат коштів у відсотках на споживання електричної, теплової енергії та холодної води по навчальним корпусам за 2014 рік. Дані діаграми представлені на рисунку 7.4.



Рисунок 7.4 – Співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів та води за 2014 рік по навчальним корпусам

Проаналізувавши зображену на рисунку 5.4 діаграму можна зробити висновок, що, першочерговим напрямком впровадження енергозберігаючих заходів щодо економії витрат на експлуатацію навчального закладу є заходи з раціонального використання теплової енергії.

7.3 Тепловізійне обстеження систем тепlopостачання, замір температури зовнішніх огорожувальних конструкцій із визначенням місць необхідного утеплення за допомогою тепловізора

Під час проведення енергетичного аудиту Комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів №18 використовувались наступні вимірювальні прилади:

- тепловізор;
- пірометр;
- цифровий термометр.

Аналіз результатів тепловізійного обстеження

Для зручності проведення аналізу результатів тепловізійного обстеження навчального закладу, була розроблена схема блочного поділу його будівель, яка надана у додатку В.

Результати тепловізійного обстеження будівлі Комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів №18, які характеризують стан зовнішніх огорожувальних конструкцій ззовні та зсередини, представлені у додатку В. Отримані термограми вказують на місця найбільших втрат теплової енергії на об'єкті дослідження.

Під час тепловізійного обстеження було зроблено 73 термограми (додаток Г). Детальний аналіз термограм дав можливість виявити місця найбільших втрат тепла.

Загальну характеристику причин втрат теплоти у будівлях наведено нижче за окремими конструктивними елементами огороджувальних конструкцій.

Віконні отвори

З отриманих термограм видно, що основні втрати тепла у корпусах школи відбуваються через застарілі дерев'яні віконні отвори. Незадовільний стан значної кількості вікон є результатом порушеної щільності прилягання віконних стулок та послаблення штапикового притиснення скла до елементів віконних конструкцій. Це призводить до значного проникнення холодного повітря всередину навчальних приміщень. На термограмах місця втрат теплової енергії у віконних конструкціях представлені темно-синьою кольоровою палітрою. Холодні ділянки на термограмах віконних отворів займають у більшості випадків майже увесь периметр місць прилягання віконних стулок та кватирок до основної рами вікна, а також, місця стику віконної рами зі стіною.

Особливо треба відмітити, що велика площа скління та незадовільний стан віконних конструкцій в актовій залі та спортзалі спричиняє збільшення тепловтрат. Це обумовлює збільшене споживання теплової енергії, бо для підтримання прийнятної температури у приміщеннях необхідно більше відбирати теплової енергії від теплоносія, щоб компенсувати великі тепловтрати.

Тепловізійне обстеження вже заміненних вікон на нові металопластикові виявило поодинокі локальні випадки порушення монтажних з'єднань, які легко можуть бути виправлені, але в загальному підсумку можна сказати, що якість встановлення нових вікон та ефект з теплозбереження від них є на високому рівні.

Огороджувальні конструкції

Корпуси Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів №18 прибудовувались до основного старого корпусу «А», з деякою періодичністю, а саме, старий корпус «А1» добудували у 1963 році, а новий корпус «А2» у 1980 році. За весь час їх експлуатації стінові конструкції значно втратили свої теплозахисні властивості. Наявні вертикальні тріщини зовнішніх стін; вивітрювання міжцегляної стінової кладки; локальна руйнація елементів стінових конструкцій; зволоження матеріалу огороджувальних конструкцій, все це значно погіршує енергоефективність експлуатації будівель.

Можна стверджувати, що стіни будівель, які обстежувалися, не відповідають чинним нормативним вимогам за опором теплопередачі [19]. Фізичне зношення стінових конструкцій призводить до значних тепловтрат з навчальних та робочих приміщень. Це позначається на величині витрат теплової енергії для підтримання прийнятної температури повітря всередині таких будівель.

Великі втрати тепла відбуваються через конструктивні стики між стінами, а також між стінами і стелею. Відбувається відлучення штукатурки та руйнація стелі горищного перекриття (кабінет хімії). Також великі втрати теплоти з будівлі старого корпусу «А» відбуваються через незадовільний стан зовнішніх вхідних дверей. Треба відмітити, що у корпусах школи система опалення по деяким ділянкам працює незадовільно, що обумовлене порушенням циркуляції теплоносія (наявністю

повітряних пробок та внутрішнього забруднення), а також застарілістю конструкції системи опалення.

У новому корпусі «А2» влаштована бівалентна однотрубна система опалення, яка працює з заниженим тиском. Це призводить до перегріву одних приміщень та недогріву інших.

Тепловізійне обстеження зовнішніх стін навчального закладу виявило значні втрати тепла крізь місця стіни, де розташовані прилади опалення та в місцях кутових з'єднань стін, що свідчить про значну втрату стінами опору теплопередачі, а також наявністю вологи у матеріалі стін.

Значні втрати відбуваються через стелю спортивної зали та актової зали. Холодні ділянки на термограмах свідчать про наявність вологи, яка потрапляє з зовнішньої сторони будівлі у покрівельний матеріал даху (застаріла конструкція закладу та не проведення ремонтних робіт по оновленню дахового покриття). Холодні ділянки на стінах у приміщеннях навчального закладу є наслідком насичення стін вологою та втратою стінами теплозахисних властивостей.

За загальним підсумком результатів тепловізійного обстеження, треба відмітити, що значну величину втрат теплоти у корпусах школи можна ліквідувати, якщо провести комплексний ремонт всіх віконних отворів, зовнішніх дверей та утеплити зовнішні стінові конструкції та горищне перекриття.

7.4 Перевірка відповідності об'єкту вимогам енергозбереження, чинних на території України

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

Загальну (сумарну) кількість спожитої теплової енергії навчальними корпусами ЗОШ №18 по місяцям за 2012, 2013 та 2014 роки в одиницях вимірювання можна отримати за даними журналу обліку теплової енергії на об'єкті, за якими побудовано графік теплоспоживання (рисунок 6.1).

Питома тепла витрата енергії на опалення будівель за опалювальний період – це кількість теплової енергії за опалювальний період, необхідної для компенсації тепловтрат будинку із врахуванням повітрообміну і додаткових теплонадходжень при нормованих параметрах теплового і повітряного режимів приміщень у ньому, віднесеної до одиниці опалювального об'єму будинку [19]:

$$q_{\text{буд}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{V_{\text{буд}}^{\text{оп}}}, \quad (7.1)$$

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

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

Питомі тепловитрати на опалення будинків повинні відповідати умові:

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}}, \quad (7.2)$$

де $q_{\text{буд}}$ – фактичні питомі тепловитрати кВт·год/м³;

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт год/м³ [19].

Нормативні максимальні тепловитрати для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять [19]:

$$E_{\text{max}} = 31 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3} = 0,027 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

7.4.1 Аналіз питомих витрат на опалення навчального закладу

Згідно проведених розрахунків фактичні питомі тепловитрати на опалення навчальних будівель становлять:

- за опалювальний період 2012-2013 рік – $Q_{\text{оп}} = 1063,187$ Гкал;

- за опалювальний період 2013-2014 рік – $Q_{\text{оп}} = 1357,757$ Гкал.

Значення фактичних питомих тепловитрат на опалення за опалювальні періоди $q_{\text{буд}}$ (кВт·год/м³) становлять:

$$2012 - 2013 \text{ рік} : q_{\text{буд}} = \frac{1063,187}{31493} = 0,03 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Отриманий результат за 2012-2013 рік не відповідає нормативній умові (7.2).

$$2013 - 2014 \text{ рік} : q_{\text{буд}} = \frac{1357,757}{31493} = 0,04 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Отриманий результат за 2013-2014 рік не відповідає нормативній умові (7.2).

Отримані результати свідчать, що будівля не відповідає вимогам чинної нормативної документації ($q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}}$, а в нашому випадку $q_{\text{буд}} > E_{\text{max}}$). Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлях, необхідно вважати незадовільними.

Наслідками такої неузгодженості можуть бути:

- завищене споживання теплової енергії;
- порушення норм комфортності;
- втрати теплової енергії через системи вентиляції в навколишнє середовище;
- високі матеріальні витрати на експлуатацію.

Це, у свою чергу, визначає напрямки вибору енергозберігаючих заходів щодо підвищення рівня енергозбереження в обстежуваних будівлях, впровадження яких необхідно обґрунтовувати визначеними величинами теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій, і результатами зібраної інформації проведених відповідних вимірювань.

7.5 Визначення відповідності величини фактичного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій до нормативного значення

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3°C та більше, обов'язкове виконання умови [19]:

$$R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{min}}, \quad (7.3)$$

де $R_{\Sigma \text{пр}}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої або світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{q \text{min}}$ - мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку [19].

Розрахункове значення опору теплопередачі багатошарової огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (7.4)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [19];

α_3 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [16];

λ_{ip} - теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [19];

δ_i - товщина i -го шару огорожувальної конструкції, м ;

n - кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

R_i - термічний опір i -го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Розрахункові умови експлуатації при розрахунках опору теплопередачі огорожувальних конструкцій приймаються залежно від розрахункового вологісного режиму експлуатації приміщення та конструктивного рішення огороження.

Результати розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій навчальних корпусів школи представлені у Додатку А. Для зручності розрахунку будівля школи поділена на окремі блоки (див. додаток В).

Отримані результати ($R_{\Sigma_{пр}} \gg R_{q_{min}}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам [19]. Можна зробити висновок про незадовільні теплозахисні властивості зовнішніх стін, горищних перекриттів та віконних отворів, це вимагає впровадження енергозберігаючих заходів щодо збільшення опору теплопередачі, тобто проведення робіт з теплоізоляції стін та заміни вікон.

В результаті обстеження систем енергопостачання будівель навчальних корпусів загальноосвітньої школи №18 були отримані наступні висновки:

1. При проведенні енергетичного обстеження визначені основні характеристики об'єктів обстеження. Зібрана необхідна для подальших розрахунків економічна та технічна інформація. Проаналізовані обсяги споживання ПЕР за місяцями, роками. Визначені питомі витрати енергоспоживання.
2. За наведеною динамікою споживання теплової енергії за періоди 2012–2014 років можна стверджувати, що обсяг теплоспоживання в основному залежить від середньої температури зовнішнього повітря за вказаний період, але не за рахунок підвищення якості експлуатації вказаних систем.
3. Було проведено інструментальне обстеження будівлі та енергоспоживаючих систем: тепловізійне обстеження, фотометричне обстеження. Для аналізу роботи системи опалення оцінювався стан огорожувальних конструкцій будівель (втрати тепла через стіни, двері, вікна, дах або горище).
4. Старі дерев'яні вікна потребують негайного ремонту, так як через них втрачається найбільша кількість теплової енергії для обігріву холодного повітря, що інфільтрується через них, також потрібно зменшити площу скління віконних отворів.
5. Опалювальні прилади працюють в основному задовільно, але спостерігалось порушення циркуляції теплоносія. Як наслідок, знижений температурний показник комфортності у приміщеннях при загальній задовільній роботі системи опалення.
6. Відсутність якісного керування у системі тепlopостачання сприяє нерівномірності температурного режиму у окремих приміщеннях навчальних корпусів, що спричиняє завищені втрати теплоти.
7. При обстеженні системи загального освітлення виявлено, що в основному використовуються малоефективні (з точки зору сучасних технологій) світильники з люмінесцентними лампами. Крім того недосконалі світлотехнічні характеристики світильників призводять до низької ефективності використання електричної енергії.
8. Система природної вентиляції приміщень закладу знаходиться в занедбаному стані. Її робота не відповідає сучасним вимогам з енергозбереження, а саме: відсутні технології регулювання вентиляції приміщень, відбуваються підвищені втрати теплоти через вентиляційні канали. Система природної вентиляції на об'єкті з енергетичного обстеження потребує ремонту та модернізації.

7.6 Розрахунковий аналіз теплового балансу будівлі

За результатами загальної характеристики обсягів витрат ПЕР і води, які були отримані при проведенні першого етапу енергетичного обстеження будівель ЗОШ № 18 м.Суми, наведено порівняльні діаграми витрат коштів у відсотках на споживання електричної, теплової енергії та холодної води за останній звітний період 2014 року.

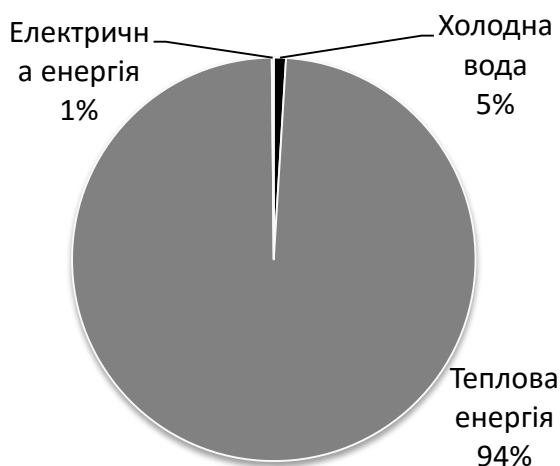


Рисунок 7.5 – Співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів та води за 2014 рік

З діаграми на рис. 7.5 видно, що найбільше коштів витрачається на теплову енергію (94%). Тому, першочерговим напрямком впровадження енергозберігаючих заходів щодо економії витрат на експлуатацію ЗОШ №18 є розроблення заходів зі збереження теплової енергії.

7.6.1 Складання енергетичного теплового балансу об'єкту до впровадження енергоефективних заходів

Даний розрахунок необхідний для визначення обсягів втрат теплової енергії, щоб встановити потенціал економії споживання енергоносіїв після впровадження енергозберігаючих заходів [24].

7.6.1.1 Визначення основних видів втрат теплової енергії на досліджуваному об'єкті

Величини теплових втрат за їх видами у навчальному закладі за окремими блоками при дійсному стані огорожувальних конструкцій, середній внутрішній температурі по всіх приміщеннях школи $t_{в}=19,1^{\circ}\text{C}$ (за результатами проведених вимірювань) та розрахунковій температурі зовнішнього повітря -22°C [19] наведені в таблицях 7.3-7.9 та представлено на рисунках 7.2–7.12.

Розрахунок тепловтрат по новому корпусу «А2» (навчальні приміщення)

Таблиця 7.3 – Величини тепловтрат по будівлі нового корпусу «А2» (навчальні приміщення)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ						
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через підлогу $Q_{пдл}$, кВт	Через стелю $Q_{стл}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На витяжну вентиляцію $Q_{в}$, кВт
34,51	68,23	2,95	37,73	4,49	27,58	54,4

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі нового корпусу «А2» (навчальні приміщення) становлять:

$$\sum Q_{втр.} = 34,51 + 37,73 + 68,23 + 2,95 + 4,49 + 27,58 + 54,4 = 229,89 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (навчальні приміщення) представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 6.6.

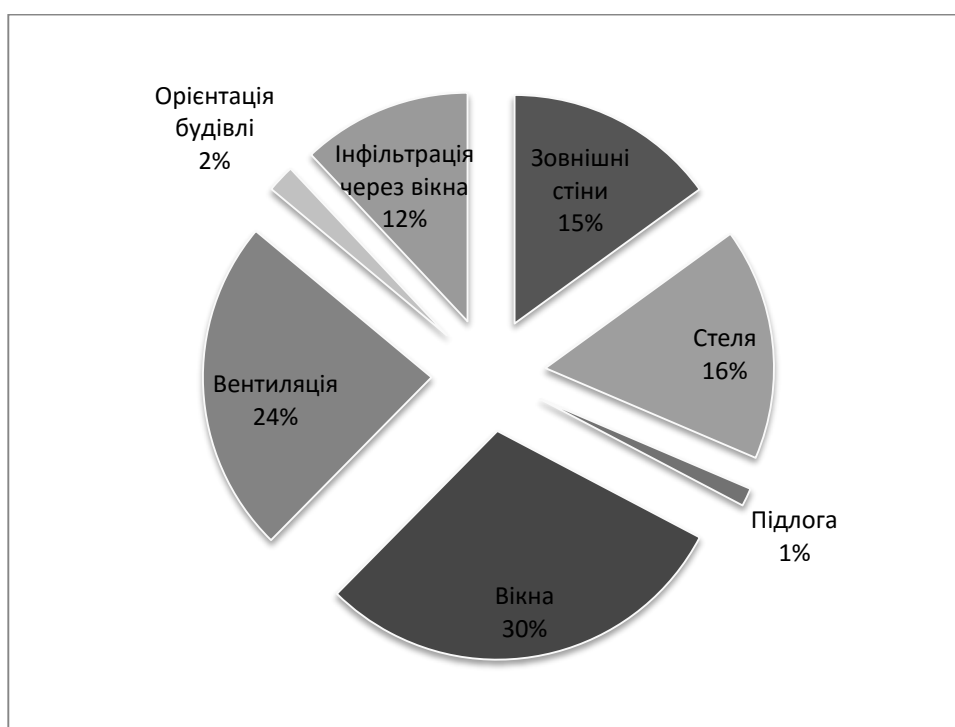


Рисунок 7.6 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (навчальні приміщення)

Розрахунок тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (актова зала)

Таблиця 7.4 – Величини тепловтрат по будівлі нового корпусу «А2» (актова зала)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ						
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через стелю, $Q_{стл}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На вентиляцію Q_v , кВт	По висоті приміщення Q_{e^o} , кВт
4,48	65,85	24,02	0,58	37,06	42,65	0,09

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі нового корпусу «А2» (актова зала) становлять:

$$\sum Q_{втр} = 4,48 + 24,02 + 65,85 + 0,58 + 0,09 + 37,06 + 42,65 = 174,74 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (актова зала), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 7.7.

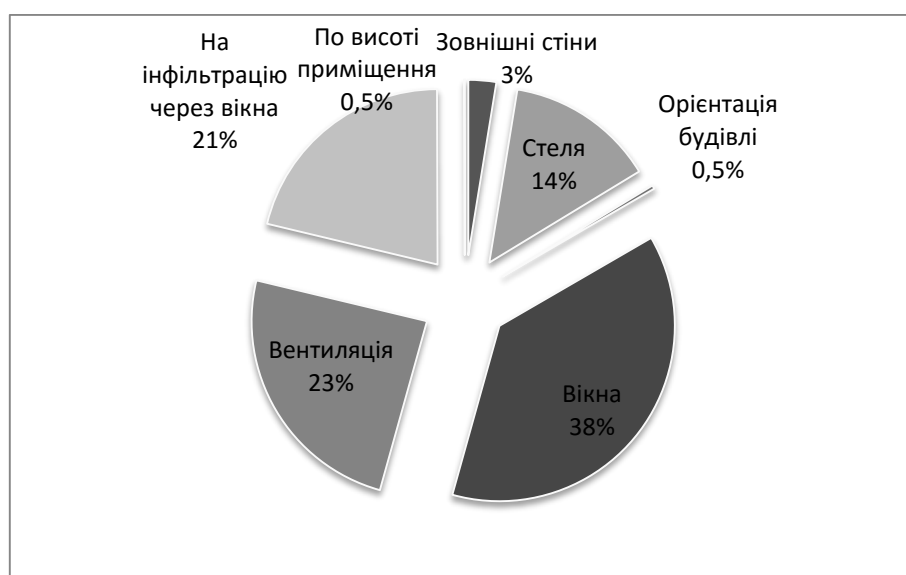


Рисунок 7.7 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (актова зала)

Розрахунок тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (їдальня)

Таблиця 7.5 – Величини тепловтрат по будівлі нового корпусу «А2» (їдальня)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ									
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через підлогу, $Q_{пдл}$, кВт	Через двері, $Q_{двері}$, кВт	Через аварійні двері, $Q_{двері.авар}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна, $Q_{вкн.інф}$, кВт	На інфільтрацію через двері, $Q_{д.інф}$, кВт	На інфільтрацію через аварійні двері, $Q_{д.авар.інф}$, кВт	На витяжну вентиляцію Q_v , кВт
12,02	19,8	1,51	1,01	0,14	1,56	11,14	0,35	0,43	38,02

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі нового корпусу «А2» (їдальня) становлять:

$$\sum Q_{втр} = 12,02 + 19,8 + 1,01 + 0,14 + 1,51 + 1,56 + 11,14 + 0,35 + 0,43 + 38,02 = 85,99 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (їдальня), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 7.8.

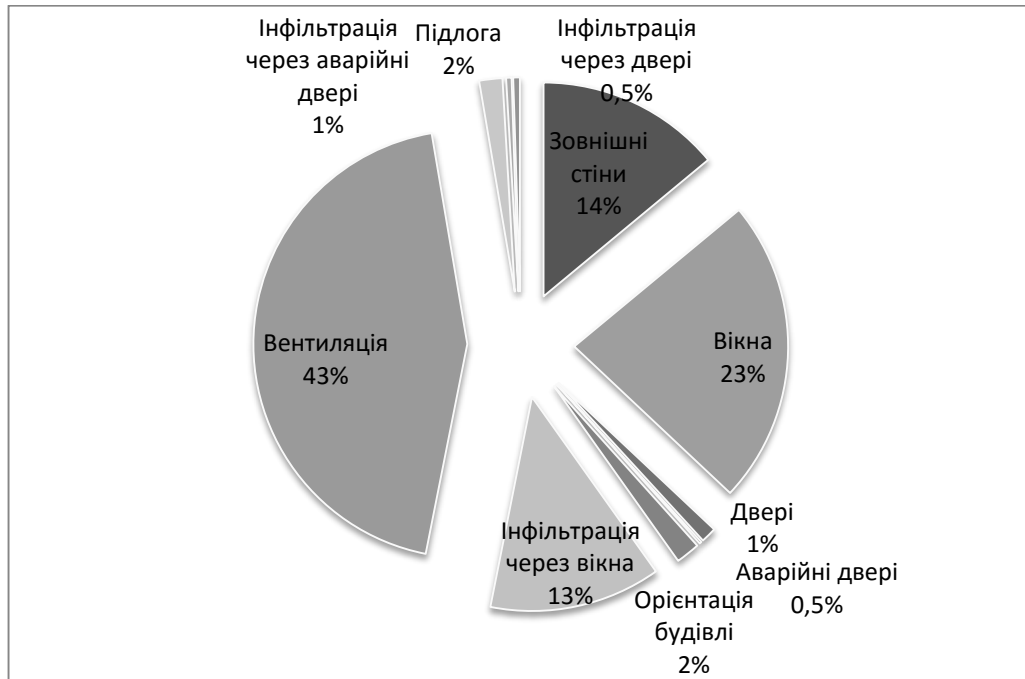


Рисунок 7.8 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі нового корпусу «А2» (їдальня)

Розрахунок тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала)

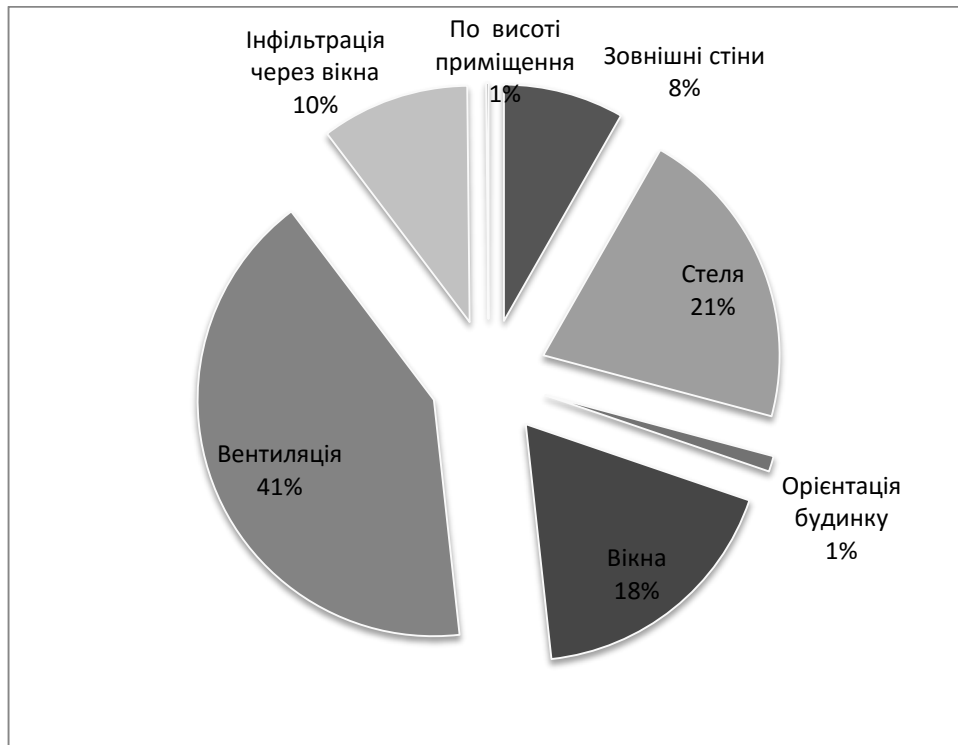
Таблиця 7.6 – Величини тепловтрат по будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ						
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через стелю $Q_{стл}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На витяжну вентиляцію $Q_{в}$, кВт	По висоті приміщення $Q_{в^0}$, кВт
11,89	26	30,15	1,55	14,63	59,72	0,24

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала) становлять:

$$\Sigma Q_{втр} = 11,89+30,15+26+1,55+0,24+14,63+59,72 = 144,18 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис.6.9.



Рисунки 7.9 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала)

Розрахунок тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення)

Таблиця 7.7 – Величини тепловтрат по будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ							
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через підлогу $Q_{пдл}$, кВт	Через двері $Q_{двері}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На інфільтрацію через двері $Q_{д.інф}$, кВт	На вентиляцію $Q_{в}$, кВт
14,32	19,42	3,16	0,36	1,86	2,54	0,35	45,01

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення) становлять:

$$\Sigma Q_{втр} = 14,32+19,42+3,16+0,36+1,86+2,54+0,35+45,01 = 87,03 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 7.10.

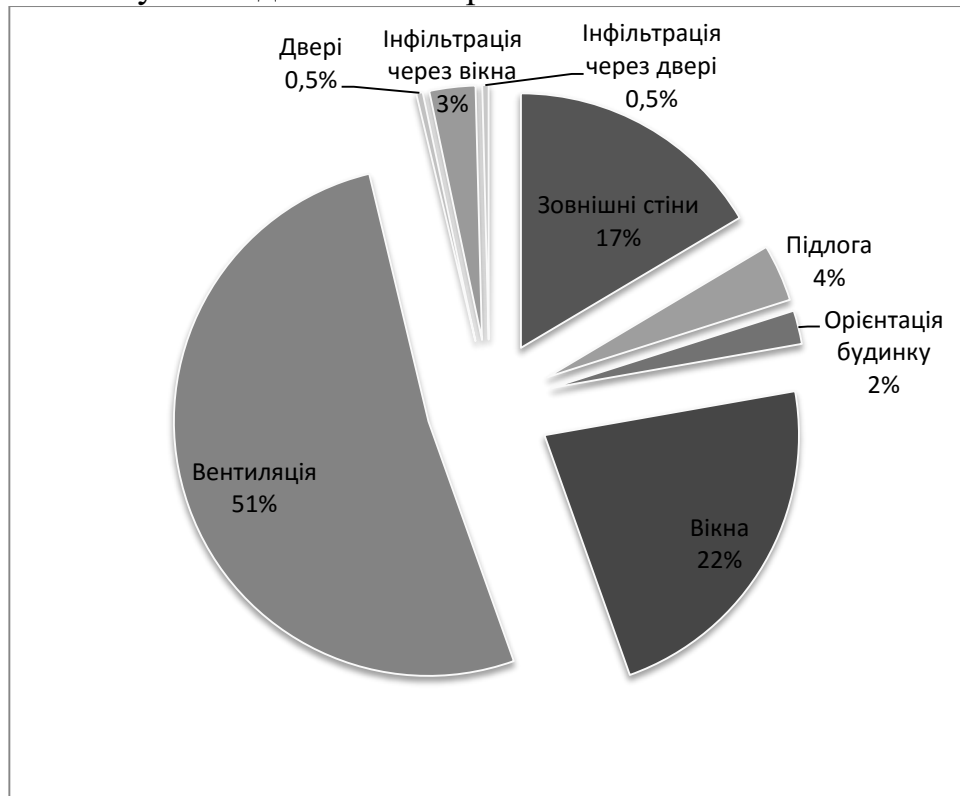


Рисунок 7.10 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення)

Розрахунок тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (центральна частина)

Таблиця 7.8 – Величини тепловтрат по будівлі старого корпусу «А» (центральна частина)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ											
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через підлогу $Q_{плд}$, кВт	Через стелю $Q_{стл}$, кВт	Через двері, $Q_{двері}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі, $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На інфільтрацію через двері $Q_{д.інф}$, кВт	На інфільтрацію через аварійні двері $Q_{д.авар.інф}$, кВт	На вентиляцію Q_v , кВт	Не утеплені підлоги розташовані на ґрунті $Q_{плд}^0$, кВт	На відкриття зовнішніх дверей $Q_{зд}^0$, кВт
18,35	7,42	0,60	11,99	0,83	2,38	1,18	0,48	0,36	29,51	0,03	3,32

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі старого корпусу «А» (центральна частина) становлять:

$$\sum Q_{втр} = 18,35 + 11,99 + 7,42 + 0,83 + 0,60 + 2,38 + 0,03 + 3,32 + 1,18 + 0,48 + 0,36 + 29,51 = 76,45 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (центральна частина), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 7.11.

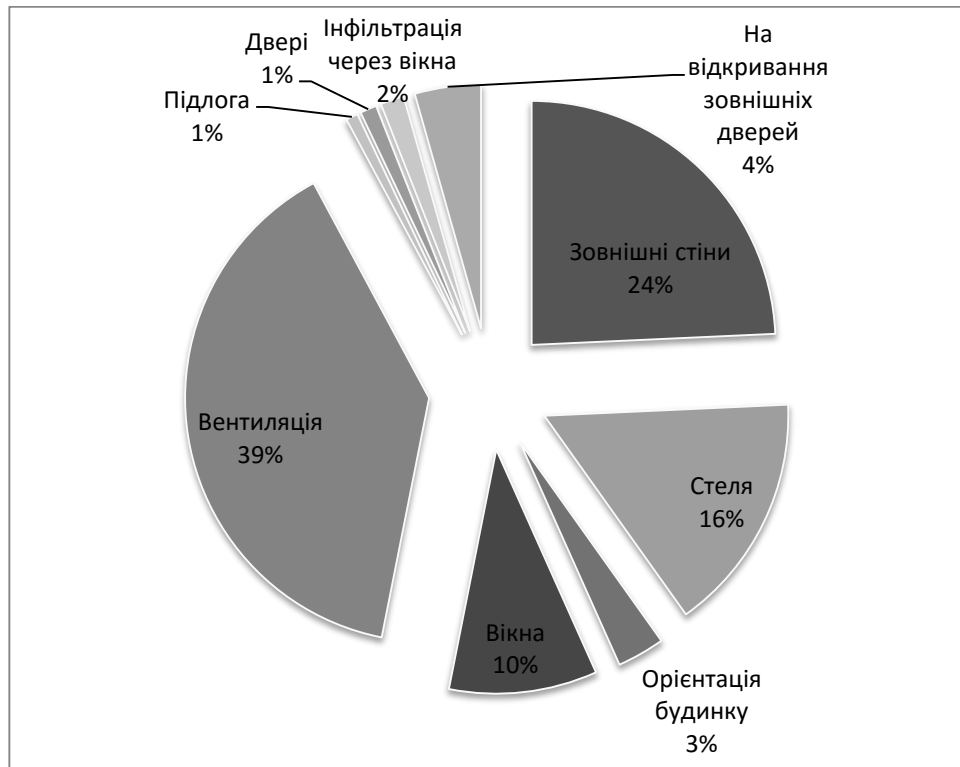


Рисунок 7.11 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (центральна частина)

Розрахунок тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення)

Таблиця 7.9 – Величини тепловтрат по будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення)

ВИДИ ТЕПЛОВТРАТ								
Через стіни $Q_{ст}$, кВт	Через вікна $Q_{вкн}$, кВт	Через підлогу $Q_{плд}$, кВт	Через стелю $Q_{стл}$, кВт	Через двері, $Q_{двері}$, кВт	Зумовлені орієнтацією будівлі $Q_{ор}$, кВт	На інфільтрацію через вікна $Q_{вкн.інф}$, кВт	На інфільтрацію через двері $Q_{д.інф}$, кВт	На вентиляцію $Q_{в}$, кВт
51,1	55,38	1,25	24,16	0,35	6,64	18,79	0,34	69,33

Таким чином, сумарні тепловтрати будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення) становлять:

$$\sum Q_{втр} = 51,1 + 24,16 + 55,38 + 1,25 + 0,35 + 6,64 + 18,79 + 0,34 + 69,33 = 227,34 \text{ кВт}$$

Тепловий баланс, за результатами розрахункового аналізу тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення), представлений на порівняльній діаграмі у відсотковому співвідношенні на рис. 7.12.

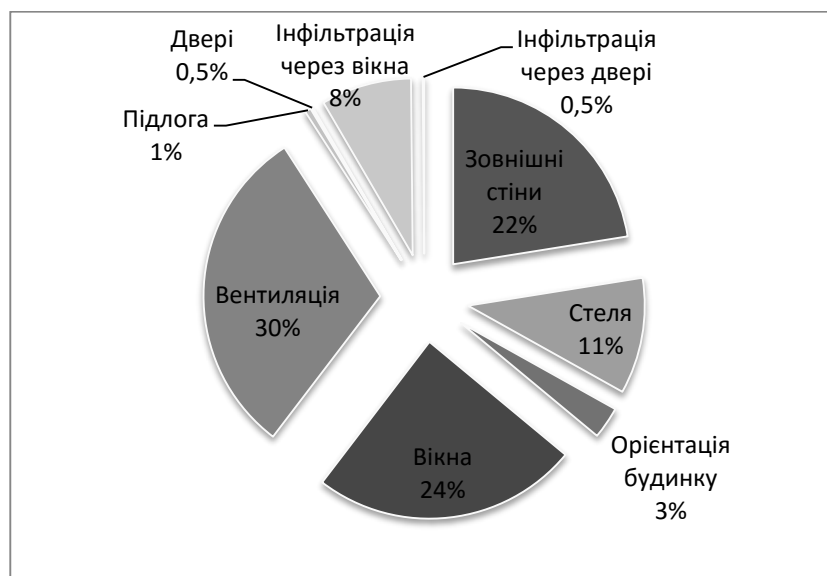


Рисунок 7.12 - Кругова діаграма розподілу основних видів тепловтрат будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення)

З отриманих діаграм можна оцінити співвідношення величин тепловтрат у навчальних приміщеннях. Найбільші тепловтрати це тепловтрати через систему вентиляції, через вікна, так як площа скління є досить значною і стан вікон незадовільний. Також значна частина теплоти втрачається через стіни та стелю. По новому корпусу «А2» (актова зала) значна частка теплоти втрачається через вікна, так як площа скління досить значна. Встановлені фактори найбільших величин тепловтрат обумовлюють запровадження першочергових заходів щодо їх зменшення.

Сумарні тепловтрати по всій будівлі школи (сума тепловтрат по кожному блоку школи)

$$\sum Q_{\text{втр}} = 85,99 + 174,74 + 229,89 + 144,18 + 87,03 + 76,45 + 227,34 = 1025,63 \text{ кВт.}$$

Розподіл всіх тепловтрат по навчальному закладу наведено на рис. 7.13.

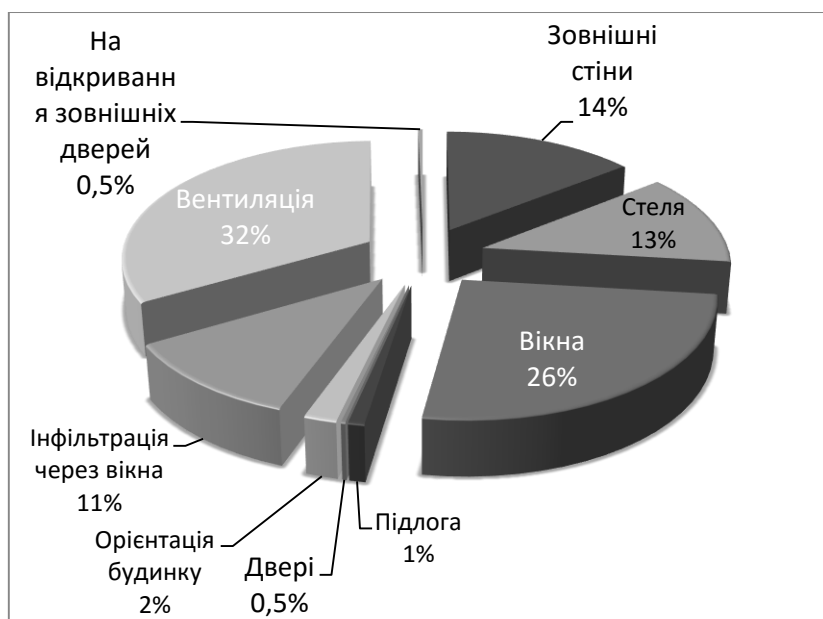


Рисунок 7.13 – Кругова діаграма розподілу тепловтрат будівлі ЗОШ №18

7.6.1.2 Розрахунок теплонадходжень на досліджуваному об'єкті

Величини теплонадходжень за їх видами у навчальному закладі наведені в таблиці 7.10.

Таблиця 7.10 – Величини теплонадходжень по навчальному закладу

ВИДИ ТЕПЛОАДХОДЖЕНЬ			
Від людей Q_l , кВт	Від працюючого електроустаткування $Q_{ел}$, кВт	Від джерел освітлення $Q_{осв}$, кВт	Від сонячної радіації $Q_{рад}$, кВт
91	15,65	28,97	197,35

Таким чином, сумарні теплонадходження будівлі становлять:

$$\sum Q_{тн.} = 91 + 15,65 + 28,97 + 197,35 = 332,97 \text{ кВт}$$

Розподіл всіх теплонадходжень по навчальному закладу наведено на рис. 7.14.

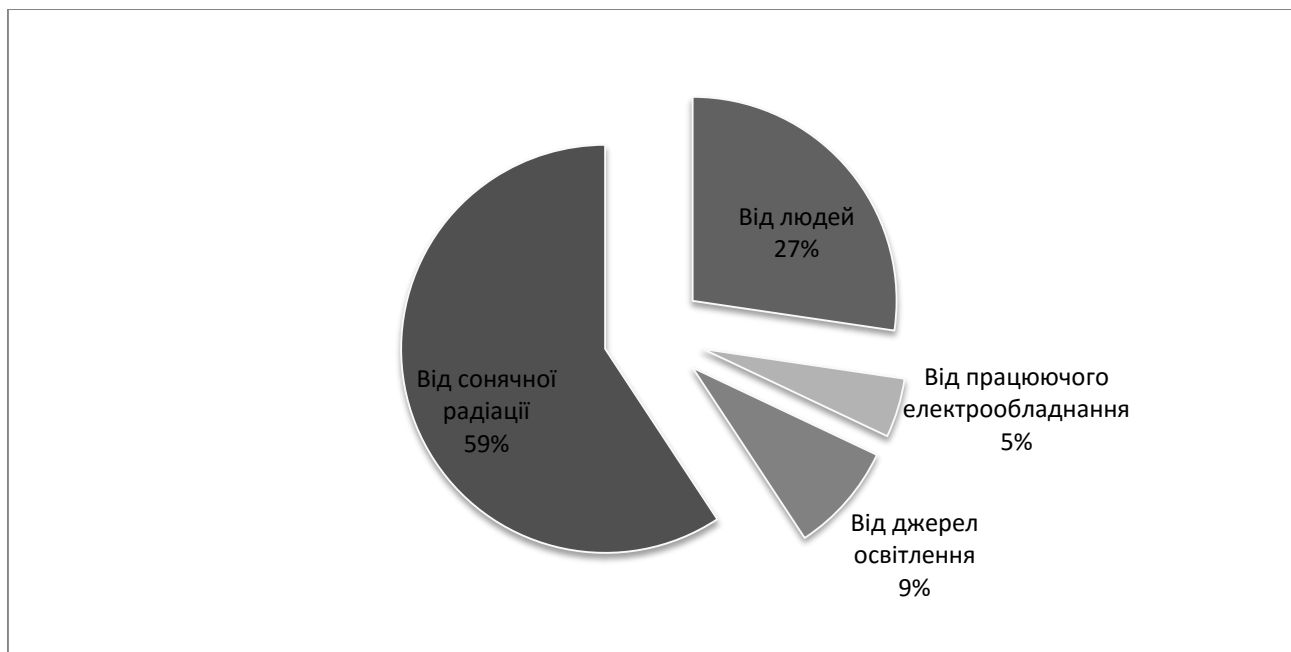


Рисунок 7.14 – Кругова діаграма розподілу теплонадходжень будівлі ЗОШ№18

Теплова потужність всієї будівлі становити:

$$\Delta Q = 1025,63 - 332,97 = 692,65 \text{ кВт.}$$

Розрахункова величина теплової енергії, яку повинно було спожити всією будівлею за опалювальний період 2014-2015 року (183 днів, 24 години на добу), при умові дотримання температурного режиму у системі теплопостачання, та середньозимовій температурі $-1,4^{\circ}\text{C}$ [23], буде становити:

$$Q_{\text{оп}} = 692,65 \cdot (19,1 - (-1,4)) / (19,1 - (-22)) \cdot 24 \cdot 183 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 1305 \text{ Гкал}$$

Згідно даних за опалювальний 2014-2015 рік, фактичні обсяги теплоспоживання на опалення навчального закладу становлять $Q_{\text{оп}} = 842,279 \text{ Гкал}$.

Встановлений факт значної невідповідності у споживанні теплової енергії дійсних показників з розрахунковими свідчить про те, що навчальний заклад не отримує у повному обсязі теплової енергії від системи теплопостачання.

Факт недотримання температурного режиму (за даними першого етапу енергетичного обстеження закладу) також свідчить, що температура теплоносія, який подається у систему опалення, знаходиться у діапазоні $55 \dots 70^{\circ}\text{C}$, коли він повинен бути у діапазоні $70 \dots 110^{\circ}\text{C}$. Враховуючи дійсний стан огорожувальних конструкцій об'єкту щодо їх невідповідності нормованим показникам опору теплопередачі (див. Додаток А), загальний рівень енергоефективності роботи системи теплоспоживання можна охарактеризувати як незадовільний.

7.6.2 Визначення максимального рівня теплової потужності системи опалення на досліджуваному об'єкті

Для оціночного аналізу теплової характеристики обстежуваної будівлі будь-якого призначення без урахування всіх видів тепловтрат і теплонадходжень її теплову потужність можна розрахувати за збільшеними показниками. Такий вид розрахунку найбільш прийнятний для оцінки можливої максимальної потужності системи опалення для випадку переведення будівлі на автономну систему опалення. Також, визначена величина теплової потужності використовується при впровадженні заходу з модернізації теплового пункту застарілої конструкції на об'єкті енергетичного обстеження на сучасний індивідуальний тепловий пункт з елементами автоматичного керування за режимами теплоспоживання. При розрахунку не враховуються основні чинники, що впливають на порушення вимог до тепловологісного балансу будівлі.

Визначення фактичної питомої опалювальної характеристики будівлі [22], Вт/м³·°С, за дійсними параметрами стану огорожувальних конструкцій (див. додаток Г):

$$q_{\text{пит}}^{\phi} = \frac{P_{\phi}}{F_{\phi}} \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} + g_0 \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ВКН}}} - \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} \right) \right) + \frac{1}{H_{\phi}} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТЛ}}} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}} \right), \quad (7.5)$$

де P_{ϕ} – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

F_{ϕ} – площа будівлі в межах периметра, м²;

H_{ϕ} – висота будівлі з урахуванням усіх опалюваних приміщень, м;

g_0 – коефіцієнт скління будівлі;

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}$ – приведений опір теплопередачі зовнішніх стін, м²·К/Вт (Додаток А);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТЛ}}$ – приведений опір теплопередачі стелі будівлі, м²·К/Вт (Додаток А);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}$ – термічний опір теплопередачі підлоги будівлі, м²·К/Вт (Додаток А);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ВКН}}$ – опір теплопередачі вікон, м²·К/В т (Додаток А).

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі за збільшеними показниками, яка можлива для даної будівлі, Вт, при середньозимовому показнику температури за опалювальний період визначається так [22]:

$$Q_{\phi} = a \cdot q_{\text{пит}}^{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{cp}} - t_{\text{з.п}}), \quad (7.6)$$

де V_{ϕ} – зовнішній об'єм будівлі, м³;

$t_{\text{в}}^{\text{cp}}$ – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{\text{з.п}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для температурної зони, де розташована будівля [16], °С;

a – поправковий коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$a = 0,54 + \frac{22}{(t_{\text{в}}^{\text{cp}} - t_{\text{з.п}})} = 0,54 + \frac{22}{(19 - (-22))} = 1,07$$

Максимальна теплова потужність будівлі нового корпусу «А2» (навчальні приміщення)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{95}{595} \cdot \left(\frac{1}{0,72} + 0,3 \cdot \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,51} - \frac{1}{0,72} \right) \right) + \frac{1}{9,5} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,63} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,46} \right) = 0,53 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,53 \cdot 5386,5 \cdot (20 - (-22)) \times 10^{-3} = 128,3 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі нового корпусу «А2» (актова зала)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{77,19}{402} \cdot \left(\frac{1}{0,72} + 0,8 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,72} \right) \right) + \frac{1}{5,27} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,63} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,37} \right) = 0,93 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,93 \cdot 1997,7 \cdot (18 - (-22)) \times 10^{-3} = 79,5 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі нового корпусу «А2» (їдальня)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{89,57}{606} \cdot \left(\frac{1}{0,72} + 0,3 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,72} \right) \right) + \frac{1}{3,6} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,17} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,46} \right) = 0,64 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,64 \cdot 2084 \cdot (18 - (-22)) \times 10^{-3} = 57 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі старого корпусу «А1» (спортивна зала)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{69,7}{550} \cdot \left(\frac{1}{0,95} + 0,3 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,95} \right) \right) + \frac{1}{5,91} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,69} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,42} \right) = 0,34 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,34 \cdot 3067 \cdot (18 - (-22)) \times 10^{-3} = 44,6 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі старого корпусу «А1» (навчальні приміщення)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{74}{640} \cdot \left(\frac{1}{0,95} + 0,4 \cdot \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,51} - \frac{1}{0,95} \right) \right) + \frac{1}{7,14} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{0,17} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,46} \right) = 0,5 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,5 \cdot 4332,55 \cdot (20 - (-22)) \times 10^{-3} = 97 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі старого корпусу «А» (центральна частина)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{41,5}{309} \cdot \left(\frac{1}{0,95} + 0,15 \cdot \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,51} - \frac{1}{0,95} \right) \right) + \frac{1}{11,95} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{1} + 0,6 \cdot \frac{1}{1,31} \right) = 0,28 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,28 \cdot 3417,7 \cdot (20 - (-22)) \times 10^{-3} = 43 \text{ кВт}.$$

Максимальна теплова потужність будівлі старого корпусу «А» (навчальні приміщення)

$$q_{num}^{\phi} = \frac{132,36}{634} \cdot \left(\frac{1}{0,95} + 0,3 \cdot \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,51} - \frac{1}{0,95} \right) \right) + \frac{1}{11,95} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{1} + 0,6 \cdot \frac{1}{1,1} \right) = 0,62 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С.}$$

$$Q_{\phi} = 1,07 \cdot 0,62 \cdot 6883 \cdot (20 - (-22)) \times 10^{-3} = 192 \text{ кВт.}$$

Сумарна теплова потужність всієї будівлі ЗОШ №18, які обчислені за методом збільшених показників становить:

$$\Sigma Q_{\phi} = 128,3 + 79,5 + 57 + 44,6 + 97 + 43 + 192 = 641,4 \text{ кВт}$$

7.6.3 Визначення базового рівня енергоспоживання в системі тепlopостачання об'єкту

Статистичні дані багаторічного моніторингу енергоспоживання будівлями різного призначення свідчать про те, що їх системи тепlopостачання є одними з найбільш енерговитратних, тому при розробленні заходів з енергозбереження для підвищення енергоефективності роботи таких систем, необхідно визначитись з базовим рівнем показників теплоспоживання, від яких буде обраховуватись майбутня економія витрат.

Базовий рівень споживання теплової енергії – показник споживання теплової енергії будівлями до початку впровадження енергоефективних заходів.

При подальшому визначені економії енерговитрат від впровадження енергозберігаючих заходів, базовий показник рівня енергоспоживання буде скоригований з урахуванням необхідності дотримання санітарних умов перебування персоналу та відвідувачів за нормативними показниками при розрахункових температурах зовнішнього повітря, а також враховуються всі індивідуальні конструктивні особливості дійсного стану будівлі на момент проведення енергоаудиту. Таким чином, фактичні величини теплоспоживання за останній звітний період опалювального року вважаються базовими, і у подальшому від них будуть розраховуватися відхилення рівня теплоспоживання.

Розрахунковий рівень теплоспоживання на обраний період за нормованими показниками визначається, як [25]:

$$Q_{p.n} = \Delta Q \cdot \frac{(t_B^{cp} - t_{cp.n})}{(t_B^{cp} - t_{z.p})} \cdot 24 \cdot n_{оп} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (7.7)$$

де t_B^{cp} – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{cp.n}$ – середня температура зовнішнього повітря за відповідний період, де розташована будівля, °С;

$t_{z.p}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря [19], °С;

$n_{оп}$ – кількість діб за відповідний період опалення.

На прикладі листопада місяця (див. Додаток Д), розрахункова величина рівня теплоспоживання становить

$$Q_{р.п} = 692652 \cdot \frac{(20 - 0,2)}{(20 - (-22))} \cdot 24 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 235106 \text{ кВт},$$

або:

$$Q_{р.п} = 235106 \cdot 0,00086 = 202,19 \text{ Гкал.}$$

На рис. 7.15 представлені графіки базового (фактичного) рівня теплоспоживання та за нормативними розрахунковими показниками ЗОШ №18 за опалювальний період 2014-2015 року.

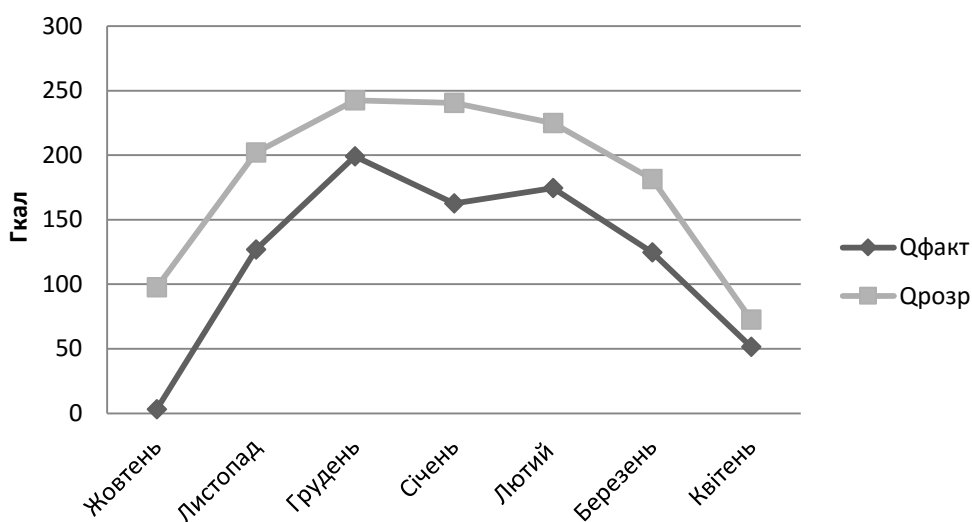


Рисунок 7.15– Співвідношення базового теплоспоживання з розрахунковим теплоспоживанням за опалювальний період 2014-2015 рр.

Аналіз величин відхилення базового рівня тепло споживання від розрахункового рівня тепло споживанням стає об'єктивною характеристикою ефективності експлуатації будівлі, та аргументацією для розроблення тих заходів з енергозбереження, які виведуть обсяги теплоспоживання до рівня сучасних показників енергоефективності. Звичайно, після чергової реновації будівлі необхідно буде встановити нову базову норму для подальшого моніторингу ефективності споживання теплової енергії.

Встановлений факт значної невідповідності у споживанні теплової енергії за базовим рівнем у порівнянні з розрахунковим рівнем за нормованими показниками свідчить про те, що обстежуваний заклад не отримує у повному обсязі теплової енергії від системи тепlopостачання, та не має ефективної технології якісного та кількісного регулювання обсягів споживання теплоенергії.

7.7 Розроблення енергозберігаючих заходів з економії ПЕР

7.7.1 Представлення енергозберігаючих заходів

За результатами проведених робіт за етапами енергетичного обстеження будівель ЗОШ № 18 м.Суми, було зроблено основний висновок – найбільші витрати при експлуатації обстежуваних будівель об'єкту припадають на споживання теплової енергії. Енергетична ефективність будівель, яка обстежувалась, з позиції збереження теплової енергії є дуже низькою. Враховуючи отримані результати по першому етапу енергетичного обстеження, які вказують на основні фактори зменшення енергетичної ефективності будівель, були розроблені першочергові енергозберігаючі заходи з метою зменшення витрат на споживання ПЕР.

Розроблені енергозберігаючі заходи, які надаються до розгляду, враховують всі потенційні можливості до запровадження у Сумській загальноосвітній школі I-III ступенів №18: фінансові, експлуатаційні, матеріально-технічні.

Утеплення огорожувальних конструкцій

Огорожувальні конструкції навчального закладу мають недостатній опір теплопередачі (див. Додаток А), тому крізь них втрачається значна частина теплової енергії, що надходить від системи опалення. Аналіз балансу втрат теплової енергії показує, що велика частка втрат тепла припадає на втрати через огорожувальні конструкції будівлі, такі як зовнішні стіни, суміщене перекриття та віконні і дверні отвори. Додаткове утеплення огорожувальних конструкцій спеціальними матеріалами здатне значно скоротити втрати теплової енергії загалом у навчальному закладі, і відповідно, зменшити потужність системи опалення та фінансові витрати за спожиту теплову енергію. Фасад будівлі при цьому приймає оновлений та естетичний вигляд.

Заміна віконних отворів

Аналіз балансу теплової потужності показує, що велика частка витрат тепла припадає на витрати через вікна. Тому заміна застарілих віконних конструкцій з деревини на нові сучасні більш енергозберігаючі, здатне значно скоротити витрати теплової енергії загалом по будівлі, і відповідно зменшити потужність опалення та платню за спожиту теплову енергію.

Встановлення зарядіаторних рефлекторних (тепловідбиваючих) екранів

З метою зменшення втрат теплоти у довікля через ділянки огорожувальних конструкцій за опалювальними приладами, слід встановити зарядіаторні рефлекторні екрани із теплоізоляційного матеріалу завтовшки 5–10 мм, вкритого шаром алюмінієвої фольги. Такий захід запобігає втратам теплоти у довікля і перевитратам теплоти опалювальними приладами за умови додержання чистої дзеркальної поверхні екрана протягом усього терміну експлуатації.

Запровадження рекуператора теплоти у систему вентиляції будівлі

Аналіз балансу теплової потужності показує, що велика частка витрат тепла припадає на витрати системою витяжної вентиляції. Тому встановлення рекуператора теплоти здатне значно скоротити витрати теплової енергії загалом по будівлі, і відповідно зменшити потужність опалення та фінансові витрати за спожиту теплову енергію.

Рекуперація тепла системи вентиляції – процес повернення частини тепла з відпрацьованого витяжного повітря припливному. Тепле повітря, що виводиться з приміщення, в теплообміннику віддає більшу частину свого тепла холодному повітрю, що надходить з вулиці. Завдяки цьому процесу на вулицю виходить охолоджене повітря, а у приміщення надходить свіже нагріте повітря. Це дозволить значно заощадити на електро- або тепловій енергії, що іде на нагрівання повітря у приміщеннях будівлі.

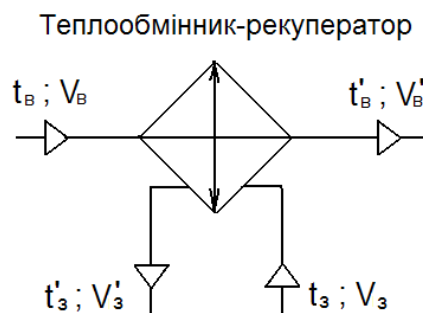


Рисунок 7.16 – Принципова схема рекуперації теплоти у системі вентиляції

Промивка систем опалення

Накип, що збирається на стінках труб і батарей, є причиною численних проблем. По-перше, це сприяє швидкому механічному зносу самих труб. А по-друге, зменшується тепловіддача системи опалення. З плином часу в негативну сторону змінюються ключові параметри системи опалення - ефективність роботи падає. Причиною цього є те, що відкладення на стінках трубопроводу перешкоджають тепловому потоку, в результаті чого теплопровідність і температура системи зменшується за рахунок створення істотного термічного опору. Це означає, що пропускна здатність труби і її тепловіддача зменшується, тому власникам опалювальної системи потрібно витратити значно більшу суму грошей на оплату більшої кількості теплової енергії.

7.7.2 Розрахунковий аналіз економії ПЕР від запровадження енергозберігаючих заходів.

7.7.2.1 Утеплення стін і суміщеного перекриття (даху)

У зв'язку з тим, що отримані результати ($R_{\Sigma np} \ll R_{qmin}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам (див. Додаток А), необхідним є проведення відповідних розрахунків щодо заходів з покращення теплозахисних властивостей

зовнішніх стін. Виведення показника опору теплопередачі стін на рівень нормативної величини здійснюється за допомогою теплоізоляції огорожувальних конструкцій спеціальними теплоізоляційними матеріалами.

При запровадженні утеплення огорожувальних конструкцій теплоізоляційними матеріалами з визначеною товщиною, буде забезпечена нормативна вимога за величиною опору теплопередачі, що задовольнятиме умову $R_{\Sigma i \delta} \geq R_{q \min}$.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару δ_{yt} для утеплення огорожувальної конструкції проводиться за формулою [18]:

$$\delta_{yt} = [R_{q \min} - R_{\Sigma пр}] \cdot \lambda_{yt} \quad (7.8)$$

де λ_{yt} – теплопровідність теплоізолюючого матеріалу, Вт/(м · К) [24, 19];

$R_{\Sigma пр}$ – приведений (дійсний) опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт;

$R_{q \min}$ – нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт [19].

Розрахунок економії теплової енергії від утеплення стін і даху по новому корпусу школи «А2»

Для розрахунку необхідної товщини теплоізоляційного шару зовнішніх стін нового корпусу «А2», обираємо теплоізоляційний матеріал – базальтова вата з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{yt}=0,035$ Вт/(м·К).

Товщина теплоізоляції зовнішніх стін становить:

$$\delta_{yt} = [3,3 - 0,72] \cdot 0,037 = 0,09 \text{ мм.}$$

Найближче більше стандартне значення товщини плит базальтової вати, що є у продажу – 0,1 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки SUPERROCK [27].

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для суміщеного перекриття (даху):

$$\delta_{yt} = [5,35 - 0,63] \cdot 0,04 = 0,19 \text{ мм.}$$

Обирається теплоізоляційний матеріал – піноізол з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{yt}=0,04$ Вт/(м·К) [29].

Ефект з економії теплової енергії від утеплення огорожувальних конструкцій за опалювальний період розраховується за середньорічним показником температури:

$$Q_{Ek.pik} = F \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma пр}} - \frac{1}{R_{q \min}} \right) \cdot (t_{en} - t_{cp.on}) \cdot n \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7}, \text{ Гкал/рік} \quad (7.9)$$

де $R_{\Sigma np}$ – приведений (дійсний) опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (див. Додаток А);

$R_{q \min}$ – нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції після теплоізоляції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [19];

F – площа огорожувальної конструкції, яка утеплюється, м^2 ;

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

$t_{\text{ср.оп}}$ – середньорічна температура опалювального сезону [26], $^{\circ}\text{C}$;

n – кількість днів опалювального сезону.

Ефект з економії теплової енергії від утеплення зовнішніх стін:

$$Q_{\text{стн}}^{\text{Ек.рік}} = 888,6 \cdot \left(\frac{1}{0,72} - \frac{1}{3,3} \right) \cdot (18 - (-1,4)) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7} = 344,16 \text{ Гкал}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{стн}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{344,16 \cdot 100}{1305} = 26,4\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на фактичну величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла за рік від базового рівня споживання складе:

$$Q_{\text{стн.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 26,4}{100} = 222,4 \text{ Гкал}$$

Ефект з економії теплової енергії від утеплення суміщеного перекриття:

$$Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = 946 \cdot \left(\frac{1}{0,63} - \frac{1}{5,35} \right) \cdot (18 - (-1,4)) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7} = 97,07 \text{ Гкал}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{97,07 \cdot 100}{1305} = 7,4\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на фактичну величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період, який є базовим рівнем

теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла за рік від базового рівня споживання складе:

$$Q_{\text{дах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 7,4}{100} = 62,3 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від утеплення стін і горищного перекриття по старому корпусу школи «А1» та «А»

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для зовнішніх стін старого корпусу школи. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{\text{ум}}=0,035 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

$$\delta_{\text{ум}} = [3,3 - 0,95] \cdot 0,037 = 0,08 \text{ м.}$$

Найближче більше стандартне значення товщини плит базальтової вати, що є у продажу – 0,1 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки SUPERROCK [27].

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для горищного перекриття старого корпусу школи «А1». Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{\text{ум}}=0,035 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

$$\delta_{\text{ум}} = [4,95 - 0,69] \cdot 0,035 = 0,149 \text{ м.}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати – 0,15 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки RockWool SUPERROCK [30].

Ефект з економії теплової енергії від утеплення зовнішніх стін:

$$Q_{\text{стн}}^{\text{Ек.рік}} = 2173,81 \cdot \left(\frac{1}{0,95} - \frac{1}{3,3} \right) \cdot (18 - (-1,4)) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7} = 119,4 \text{ Гкал}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{стн}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{119,4 \cdot 100}{1305} = 9,1\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на фактичну величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла за рік від базового рівня споживання складе:

$$Q_{\text{стн.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 9,1}{100} = 79,65 \text{ Гкал}$$

Ефект з економії теплової енергії від утеплення горищного перекриття:

$$Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = 519 \cdot \left(\frac{1}{0,69} - \frac{1}{4,95} \right) \cdot (18 - (-1,4)) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7} = 47,43 \text{ Гкал}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія складала:

$$\delta Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{47,43 \cdot 100}{1305} = 3,6\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на фактичну величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла за рік від базового рівня споживання складе:

$$Q_{\text{дах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 3,6}{100} = 30,32 \text{ Гкал}$$

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для горищного перекриття старого корпусу школи «А». Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{\text{ум}}=0,035 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

$$\delta_{\text{ум}} = [4,95 - 1] \cdot 0,035 = 0,14 \text{ м.}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати – 0,14 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки RockWool SUPERROCK [28].

Ефект з економії теплової енергії від утеплення горищного перекриття:

$$Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = 862 \cdot \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4,95} \right) \cdot (18 - (-1,4)) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-7} = 56,6 \text{ Гкал}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія складала:

$$\delta Q_{\text{дах}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{56,6 \cdot 100}{1305} = 4,3\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на фактичну величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла за рік від базового рівня споживання складе:

$$Q_{\text{дах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 4,3}{100} = 36,22 \text{ Гкал}$$

7.7.2.2 Замінна віконних отворів

Розрахунок ведеться для випадку заміни старих дерев'яних віконних отворів у навчальному закладі. Величина економії теплової енергії розраховується для умов середньозимової температури для даного регіону. Заміну пошкодженого віконного отвору з деревини рекомендується провести на нові металопластикові вікна. Конструкція сучасного віконного отвору має якісне ущільнення, тому можлива величина інфільтрації повітря крізь нього дуже мала, у розрахунках нею можна знехтувати.

Для впровадження рекомендується вікно з ПВХ, з двокамерним склопакетом, міжскляною відстанню 12 мм, опором теплопередачі $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [30].

Розрахунок економії теплової енергії від заміни вікон по нового корпусу школи «А2» (актова зала)

Тепловтрати крізь віконні отвори, які потрібно замінити у будівлі ЗОШ №18 до впровадження енергозберігаючого заходу, складають:

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 30,80 + 17,33 = 48,13 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори (36 шт) після впровадження заходу складуть:

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{8,82}{0,75} \cdot (18 - (-22)) \cdot 36 \cdot 10^{-3} = 16,9 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон:

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = (48,13 - 16,9) \cdot \left(\frac{18 - (-1,4)}{18 - (-22)} \right) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 57,2 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія складала:

$$\delta Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{57,2 \cdot 100}{1305} = 4,4\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання складе:

$$Q_{\text{ВКН.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 4,4}{100} = 37,1 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від заміни вікон по корпусах школи з розмірами віконних отворів 2,10×2,05 м (їдальня, актовa зала, спортивна зала)

Тепловтрати крізь віконні отвори, які потрібно замінити у будівлі ЗОШ №18 до впровадження енергозберігаючого заходу, складають:

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 12,94 + 7,29 = 20,23 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори (31 шт) після впровадження заходу складуть:

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{4,305}{0,75} \cdot (18 - (-22)) \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 7,1 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон:

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = (20,23 - 7,1) \cdot \left(\frac{18 - (-1,4)}{18 - (-22)} \right) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 24,05 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{24,05 \cdot 100}{1305} = 1,8\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання складе:

$$Q_{\text{ВКН.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 1,8}{100} = 15,2 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від заміни вікон по корпусах школи з розмірами віконних отворів 2,10 × 2,05 м (навчальні приміщення)

Тепловтрати крізь віконні отвори, які потрібно замінити у будівлі ЗОШ №18 до впровадження енергозберігаючого заходу, складають:

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 43,76 + 24,63 = 68,39 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори (95 шт) після впровадження заходу складуть:

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{4,305}{0,75} \cdot (18 - (-22)) \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 21,8 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон:

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = (68,39 - 21,8) \cdot \left(\frac{18 - (-1,4)}{18 - (-22)} \right) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 85,3 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{85,3 \cdot 100}{1305} = 6,5\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання складе:

$$Q_{\text{ВКН.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 6,5}{100} = 54,7 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від заміни вікон по старому корпусу школи «А1» (спортивна зала) з розмірами віконних отворів 2,30 × 2,10 м

Тепловтрати крізь віконні отвори, які потрібно замінити у будівлі ЗОШ №18 до впровадження енергозберігаючого заходу, складають:

$$Q_{\text{ВКН}}^1 = Q_{\text{ВКН}} + Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 8,43 + 4,75 = 13,18 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати крізь віконні отвори (18 шт) після впровадження заходу складуть:

$$Q_{\text{ВКН}}^2 = \frac{4,305}{0,75} \cdot (18 - (-22)) \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 4,1 \text{ кВт}$$

Річне зменшення втрат теплоти після заміни вікон:

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = (13,18 - 4,1) \cdot \left(\frac{18 - (-1,4)}{18 - (-22)} \right) \cdot 183 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 16,6 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{ВКН}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{16,6 \cdot 100}{1305} = 1,3\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання складе:

$$Q_{\text{ВКН.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 1,3}{100} = 11 \text{ Гкал}$$

7.7.2.3 Встановлення зарядіаторних рефлекторних (теповідбиваючих) екранів

Розрахунок представлено для опалювальних приладів по кожному блоку навчального закладу. В залежності від кількості модернізованих місць за опалювальними приладами по кожному блоку корпусів, загальний результат економії витрат теплової енергії від впровадження даного енергозберігаючого заходу дорівнює добутку їх кількості на величину економії від одного модернізованого місця.

У якості рефлектора обирається фольгоізол товщиною 5 мм і коефіцієнтом теплопровідності 0,046 Вт/(м·К).

Розрахунок економії теплової енергії від встановлення зарядіаторних рефлекторних екранів по новому корпусу школи «А2» (актова зала і їдальня)

Річна економія теплової енергії від впровадження заходу з установлення рефлекторного екрану за опалювальними приладами, згідно методики розрахунку [21], дорівнює:

$$Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = 11,48 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{11,48 \cdot 100}{1305} = 0,9\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання становить:

$$Q_{\text{екр.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 0,9}{100} = 7,58 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від встановлення зарядіаторних рефлекторних екранів по новому корпусу школи «А2» (навчальні приміщення)

Річна економія теплової енергії від впровадження заходу з установаження рефлекторного екрану за опалювальними приладами, згідно методики розрахунку [21], дорівнює:

$$Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = 23,97 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{23,97 \cdot 100}{1305} = 1,8\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,279Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання становить:

$$Q_{\text{екр.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 1,8}{100} = 15,16 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від встановлення зарядіаторних рефлекторних екранів по старому корпусу школи «А1» (спортивна зала)

Річна економія теплової енергії від впровадження заходу з установаження рефлекторного екрану за опалювальними приладами, згідно методики розрахунку [21], дорівнює:

$$Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = 6,49 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{6,49 \cdot 100}{1305} = 0,49\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання становить:

$$Q_{\text{екр.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 0,49}{100} = 4,13 \text{ Гкал}$$

Розрахунок економії теплової енергії від встановлення зарядіаторних рефлекторних екранів по старому корпусу школи «А1» та «А» (навчальні приміщення та центральна частина)

Річна економія теплової енергії від впровадження заходу з установаження рефлекторного екрану за опалювальними приладами, згідно методики розрахунку [21], дорівнює:

$$Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = 45,51 \text{ Гкал/рік}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{45,51 \cdot 100}{1305} = 3,5\%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28Гкал.

Скорегована річна економія тепла від базового споживання становить:

$$Q_{\text{екр.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 3,5}{100} = 29,48 \text{ Гкал}$$

Сумарна величина економії:

$$\sum Q_{\text{екр}}^{\text{Ек.рік}} = 7,58 + 15,16 + 4,13 + 29,48 = 56,35 \text{ Гкал}$$

7.7.2.4 Запровадження рекуператора теплоти у систему вентиляції будівлі

Пропонується встановити рекуператори в їдальні та у навчальних приміщеннях.

В залежності від запланованої кількості встановлених рекуператорів, загальний результат економії витрат теплової енергії від впровадження даного енергозберігаючого заходу буде дорівнювати добутку кількості кабінетів, в яких планується встановити рекуператори, на величину економії від встановлення рекуператора в типовому кабінеті.

Варіант 1-й-Рекуперація теплоти без додаткового нагрівання припливного повітря у приміщенні їдальні

Величина економії теплової енергії на опалення приміщення після запровадження технології рекуперації теплоти у системі вентиляції дорівнює:

$$Q_{\text{рт}} = 28,29 \text{ кВт}$$

Річна економія теплової енергії після встановлення системи рекуперації без додаткового нагрівання припливного повітря:

$$Q_{\text{рт}}^{\text{Ек.рік}} = 28,29 \cdot \frac{(18 - (-1,4))}{(18 - (-22))} \cdot 4 \cdot 183 \cdot 8,6^{-4} = 8,64 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{рт}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{8,64 \cdot 100}{1305} = 0,7 \%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік.

Скорегована економія тепла від базового споживання складе:

$$Q_{\text{екр.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 0,7}{100} = 5,9 \text{ Гкал}$$

По об'ємній витраті ($V_{\text{в}} = 0,72 \text{ м}^3/\text{с} = 2592 \text{ м}^3/\text{год}$) підбираємо рекуператор Cooper&Hunter FHBQ-D30-M [31], який має продуктивність 3000 м³/год.

Варіант 2-й- Рекуперація теплоти без додаткового нагрівання припливного повітря в навчальних приміщеннях

Розрахунок представлено на прикладі кабінету праці.

Розрахункова кратність повітрообміну приміщення дорівнює: $n_{\text{к}} = 1,1 \text{ год}^{-1}$

Об'ємна витрата повітря: $V_{\text{в}} = 0,278 \cdot 181,5 \cdot 1,1 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$

Масова витрата вентилязованого повітря: $m_{\text{в}} = 0,03 \cdot 1,3 = 0,04 \text{ кг/с}$

Величина економії теплової енергії на опалення навчального приміщення після запровадження технології рекуперації теплоти у системі вентиляції дорівнює:

$$Q_{\text{рт}} = 1,39 \text{ кВт}$$

Річна економія на тепловтрати після встановлення системи рекуперації у навчальному приміщенні:

$$Q_{\text{рт}}^{\text{Ек.рік}} = 1,39 \cdot \frac{(20 - (-1,4))}{(20 - (-22))} \cdot 8 \cdot 183 \cdot 8,6^{-4} = 0,89 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

У процентному співвідношенні від розрахункового споживання теплоти на рік економія склала:

$$\delta Q_{\text{рт}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{0,89 \cdot 100}{1305} = 0,1 \%$$

Переносимо це процентне співвідношення на реальну кількість споживання тепла за останній опалювальний період, який є базовим рівнем теплоспоживання. Базовий рівень теплоспоживання за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал.

Скорегована економія тепла від базового споживання становить:

$$Q_{\text{рт.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 0,1}{100} = 0,84 \text{ Гкал}$$

По об'ємній витраті ($V_{\text{в}} = 0,03 \text{ м}^3/\text{с} = 108 \text{ м}^3/\text{год}$) підбираємо рекуператор Прана-150 [32], який має приток повітря $125 \text{ м}^3/\text{год}$.

7.7.2.5 Промивка системи опалення

За розрахунками, накип товщиною до 1 мм приблизно на 10–15% знижує рівень тепловіддачі [33], що вимагає підвищення температури теплоносія, щоб підтримувати комфортні умови у приміщеннях. Таким чином, розрахункова економія споживання теплової енергії від базового рівня (за 2014-2015 рік – 842,28 Гкал/рік) після якісної промивки системи опалення, буде становити

$$Q_{\text{пс.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{842,28 \cdot 10}{100} = 84,3 \text{ Гкал}$$

7.8 Фінансово-економічна оцінка заходів з енергозбереження

7.8.1 Методика розрахунку показників ефективності

Ефективність запропонованих заходів розрахована за допомогою показників: чиста приведена вартість – NPV ; внутрішня норма дохідності – IRR ; дисконтований період окупності проекту – DPP та індекс прибутковості – PI .

Чиста приведена вартість (NPV – це різниця між сумою дисконтованих чистих вхідних потоків коштів (доходів) за період реалізації інвестиційного заходу та сумою дисконтованих інвестиційних витрат, необхідних для його реалізації. Чиста приведена вартість (NPV) розраховується за формулою:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1+r)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{I_k}{(1+r)^k}$$

де n – термін реалізації проекту;

CF_k – чистий вхідний потік коштів (доходи) у k -му році;

r – ставка дисконту;

I_k – інвестиційні витрати у k -му році;

k – порядковий номер року від початку реалізації проекту (заходу).

Внутрішня норма дохідності (IRR) – значення ставки дисконтування, при якому сума дисконтованих інвестиційних витрат дорівнює сумі дисконтованих чистих вхідних потоків коштів (доходів), або значення показника дисконту, при якому NPV проекту дорівнює нулю.

Внутрішня норма дохідності (IRR) розраховується за формулою:

$$IRR = \sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1 + IRR)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{I_k}{(1 + IRR)^k} = 0$$

де n – термін реалізації проекту (заходу);

CF_k – чистий вхідний потік коштів (доходи) у k -му році;

r – ставка дисконту;

I_k – інвестиційні витрати у k -му році;

k – порядковий номер року від початку реалізації проекту.

На практиці визначення IRR здійснюється за такою формулою:

$$IRR = A + a(B - A)/(a - b)$$

де A – величина ставки дисконту, при якій NPV позитивна;

B – величина ставки дисконту, при якій NPV негативна;

a – величина позитивної NPV при величині ставки дисконту A ;

b – величина негативної NPV при величині ставки дисконту B .

Дисконтований період окупності (DPP) – розраховується як строк до моменту виконання рівності:

$$\sum_{k=1}^{DPP} \frac{CF_k}{(1 + r)^k} = \sum_{k=1}^{DPP} \frac{I_k}{(1 + r)^k} = 0$$

Індекс прибутковості (PI) – це частка від поділу суми дисконтованих чистих вхідних потоків коштів (доходів) за період реалізації заходу на суму дисконтованих інвестиційних витрат, необхідних для реалізації цього заходу.

$$PI = \sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1 + r)^k} / \sum_{k=1}^n \frac{I_k}{(1 + r)^k}$$

При розрахунках використовувалася норма дисконтування, що дорівнює 22%. Вибір відсоткової ставки здійснено усереднено з позицій альтернативної вартості розміщення коштів на довгостроковому (від 12 місяців) банківському депозиті.

Дохід від реалізації заходів визначався як потенційна економія споживання енергетичних ресурсів у вартісному вираженні в результаті впровадження заходів та амортизаційні нарахування (за наявності). Розмір щорічної амортизації протягом всього терміну використання обладнання прийнято як сталу величину, що розраховується як відношення амортизаційної вартості до корисного строку реалізації проекту (заходу).

Витрати визначалися як сума вартості матеріалів, вартості будівельно-монтажних робіт та витрат на оплату праці (у поточних цінах).

Оцінку економічної ефективності заходів проводять порівнянням отриманих значень із значеннями показниками економічної ефективності в табл 7.11.

Таблиця 7.11 Критерії оцінки економічної ефективності заходів

Показник	<i>NPV</i>	<i>PI</i>	<i>IRR</i>	<i>PP</i>
Бажане значення	>0, max	>1, max	max	min

7.8.2 Показники економічної ефективності заходів з енергозбереження

Показники ефективності запропонованих заходів з енергозбереження наведено таблицях 7.12 – 7.17.

Утеплення огорожувальних конструкцій

Таблиця 7.12 – Показники економічної ефективності заходів з утеплення огорожувальних конструкцій ЗОШ №18

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	399,25
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	2595,85
Індекс прибутковості		7,5
Внутрішня норма дохідності	%	165,6
Термін окупності	роки, місяці	9 місяців

Наведені вище показники і свідчать про високу ефективність заходів з утеплення огорожувальних конструкцій ЗОШ №18

Заміна віконних отворів

Таблиця 7.13 – Показники економічної ефективності заміни віконних отворів у ЗОШ №18

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	710,81
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	113,91
Індекс прибутковості		1,16
Внутрішня норма дохідності	%	25,4
Термін окупності	роки, місяці	10 років

Встановлення зарядіаторних рефлекторних (тепловідбиваючих) екранів

Таблиця 7.14 – Показники економічної ефективності встановлення зарядіаторних рефлекторних (тепловідбиваючих) екранів у ЗОШ №18

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	7,53
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	285,36
Індекс прибутковості		38,91
Внутрішня норма дохідності	%	1139
Термін окупності	роки, місяці	2 місяці

Встановлення рекуператора тепла у систему вентиляції будівлі

Таблиця 7.15 – Показники економічної ефективності встановлення рекуператора тепла (Cooper&Hunter FHBQ-D30-M)

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	68,5
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	-7,52
Індекс прибутковості		0,89
Внутрішня норма дохідності	%	-
Термін окупності	роки, місяці	-

Таблиця 7.16 – Показники економічної ефективності встановлення рекуператора тепла (рекуператор Прана-150)

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	-6,12
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	1,15
Індекс прибутковості		1,19
Внутрішня норма дохідності	%	27,5
Термін окупності	роки, місяці	6 років 7 місяців

Розрахунок показників економічної ефективності для даного заходу показує низьку рентабельність варіанту із встановленням рекуператора Cooper&Hunter FHVQ-D30-M. Даний захід доцільно впроваджувати при збільшенні тарифу на тепло чи зниженні вартості обладнання та робіт з його установки. Встановлення рекуператора Прана-150 є економічно доцільним.

Промивка систем опалення

Таблиця 7.17 – Показники економічної ефективності промивки системи опалення у ЗОШ №18

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вартість реалізації заходу	тис. грн.	30*
Чиста приведена вартість (NPV)	тис. грн.	228,83
Індекс прибутковості		8,63
Внутрішня норма дохідності	%	420
Термін окупності	роки, місяці	4 місяці

* вартість проведення робіт з промивки системи обладнання може значно варіюватися залежно від виконавця, обсягів та складності.

Результати розрахунків ефективності комплексу запропонованих заходів з енергозбереження свідчать про доцільність їх реалізації, що призведе до економії фінансових ресурсів на утримання закладу бюджетної сфери ЗОШ №18.

7.9 Оцінка рівня зниження викидів CO₂ за рахунок впровадження розроблених енергозберігаючих заходів

Впровадження енергозберігаючих заходів в будівлях ЗОШ № 18 призведе до зниження споживання теплової енергії. Зниження споживання енергоресурсів у споживачів сприяє непрямому (опосередкованому) зменшенню викидів парникових газів в місцевій системі тепlopостачання.

Непряме зменшення викидів CO₂ шляхом економії тепла у споживачів розраховується за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \text{Економія в системі тепlopостачання} &= \\ &= \frac{\text{кількість кВт} \cdot \text{год зекономленого тепла}}{(1 - \text{показник втрат в мережі}) \times \text{показник ефективності генерації}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Зменшення викидів} &= \text{економія в системі тепlopостачання} \times \\ &\times (\text{коефіцієнт викидів при спалюванні газу} \times K_2 + \text{коефіцієнт викидів при спалюванні вугілля} \times K_6) \end{aligned}$$

Вихідні дані для розрахунку обсягів зниження викидів і результати розрахунків наведені в таблиці 7.19.

Таблиця 7.18 - Вихідні дані для розрахунку та результати розрахунків

№ з/п	Найменування	Одиниці виміру	Значення
1	Середній показник ефективності генерації теплової енергії по підприємству*		0,714
2	Середні втрати в теплових мережах по підприємству*	%	27,1
3	Вид палива, що використовується для виробництва теплової енергії*		Природний газ – K _г = 65% Вугілля K _в = 35 %
4	Коефіцієнт викидів CO ₂ при спалюванні природного газу**	тонн/МВт·год д	0,202
5	Коефіцієнт викидів CO ₂ при спалюванні бурого вугілля**	тонн/МВт·год д	0,346
1	Економія теплової енергії***	МВт·год /рік	812,10
2	Економія в системі тепlopостачання	МВт·год /рік	1560,21
5	Зменшення викидів CO ₂	тонн/рік	393,80

* - ТОВ "Сумитеплоенерго" не надало інформації (Додаток Е). Розрахунок ведеться згідно наданих даних Департаменту інфраструктури міста Сумської міської ради: вироблено - 834367,3 Гкал x 0,143 = 119314 т у. п., використано палива для виробництва теплової енергії - 167057 т у. п., вид палива: природний газ – 65 %, вугілля – 35 %, відпущено на сторону - 817668,9 Гкал, втрати теплової енергії – 221507,5 Гкал.

** - стандартні коефіцієнти викидів при спаленні викопного палива наведені в Посібниках Міжнародної групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, 2006 рік).

*** - 1 Гкал = 1,163 МВт·год.

В результаті проведених аналітичних розрахунків системи енергопостачання будівлі навчального закладу були отримані наступні висновки:

1. Проведено аналітичний розрахунок теплового балансу будівель навчального закладу, в результаті якого було встановлено, що найбільші втрати теплової енергії відбуваються через систему вентиляції, зовнішні огорожувальні конструкції (стіни, дахове перекриття) та віконні отвори застарілої конструкції.

2. Визначений базовий рівень споживання теплової енергії, проведено його порівняння з розрахунковим рівнем теплоспоживання за нормативними показниками. Виявлена неузгодженість у рівнях споживання свідчить про відсутність належного керування за режимами роботи у комплексі всієї системи тепlopостачання.

3. Розрахунком визначена максимальна можлива потужність системи тепlopостачання будівель навчального закладу з метою подальшого вибору технічної

системи індивідуального опалення або улаштування сучасного індивідуального теплового пункту.

4. Розроблені та розрахунково-обґрунтовані енергозберігаючі заходи щодо підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, а саме:

- утеплення стін та дахового суміщеного перекриття будівлі;
- заміна віконних рам застарілої конструкції на нові енергозберігаючі;
- встановлення рефлекторів (теповідбивних екранів) між зовнішніми стінами та опалювальними приладами;
- улаштування системи рекуперації тепла у системі вентиляції.
- промивка систем опалення;
- заміна ламп розжарення та застарілих люмінесцентних ламп на нові енергозберігаючі або світлодіодні.

5. Визначено річний економічний ефект від впровадження енергозберігаючих заходів у питомих показниках за якими встановлено тарифи на оплату енергоспоживання.

6. Розрахунком отримані результати фінансової економії від впровадження енергозберігаючих заходів з подальшим визначенням їх термінів окупності. Отримані результати термінів окупності задовольняють сучасним вимогам щодо реалізації заходів з енергозбереження.

7. Проведена оцінка рівня зниження викидів CO₂ за рахунок впровадження розроблених енергозберігаючих заходів.

8 НАСТАНОВА ЩОДО КОРИСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЄЮ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛЯМИ БЮДЖЕТНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ СУМСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ

8.1 Запуск системи моніторингу

Система моніторингу теплоспоживання будівлями бюджетних організацій Сумської міської ради виконана у вигляді web-сайту. Працювати з системою моніторингу можна, використовуючи браузери Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome.

Після запуску браузера у рядку адреси потрібно вписати **teplo.sumdu.edu.ua** і натиснути на клавіатурі клавішу «Enter», як показано на рис. 8.1.

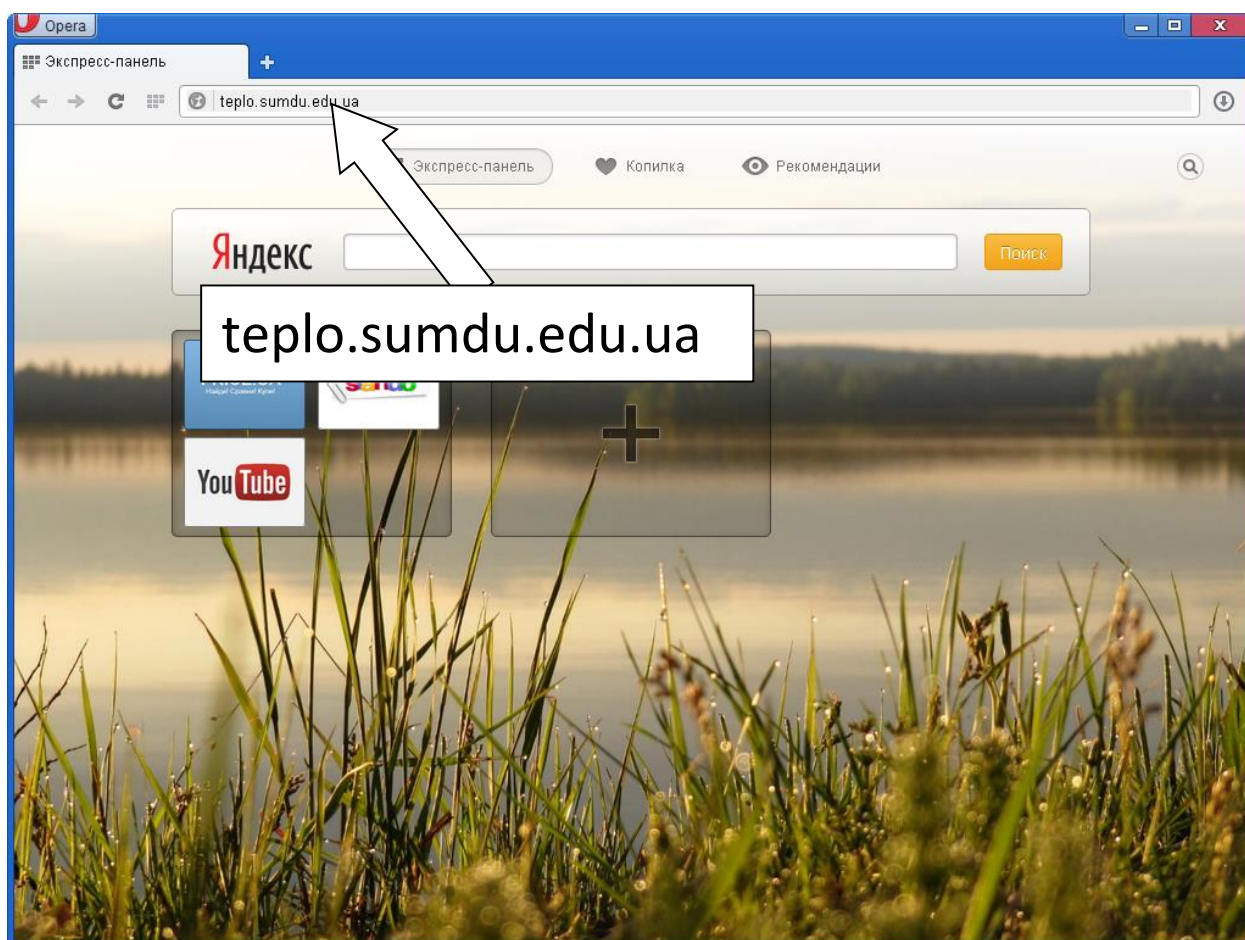


Рисунок 8.1 – Завантаження сайту

8.2 Авторизація користувача на сайті системи моніторингу

Система моніторингу є закритою. Для входу до системи кожен користувач має спочатку пройти процедуру авторизації (рис. 8.2). Визначеному колу осіб користувачів має бути видано логін і пароль, за яким можна потрапити у систему.

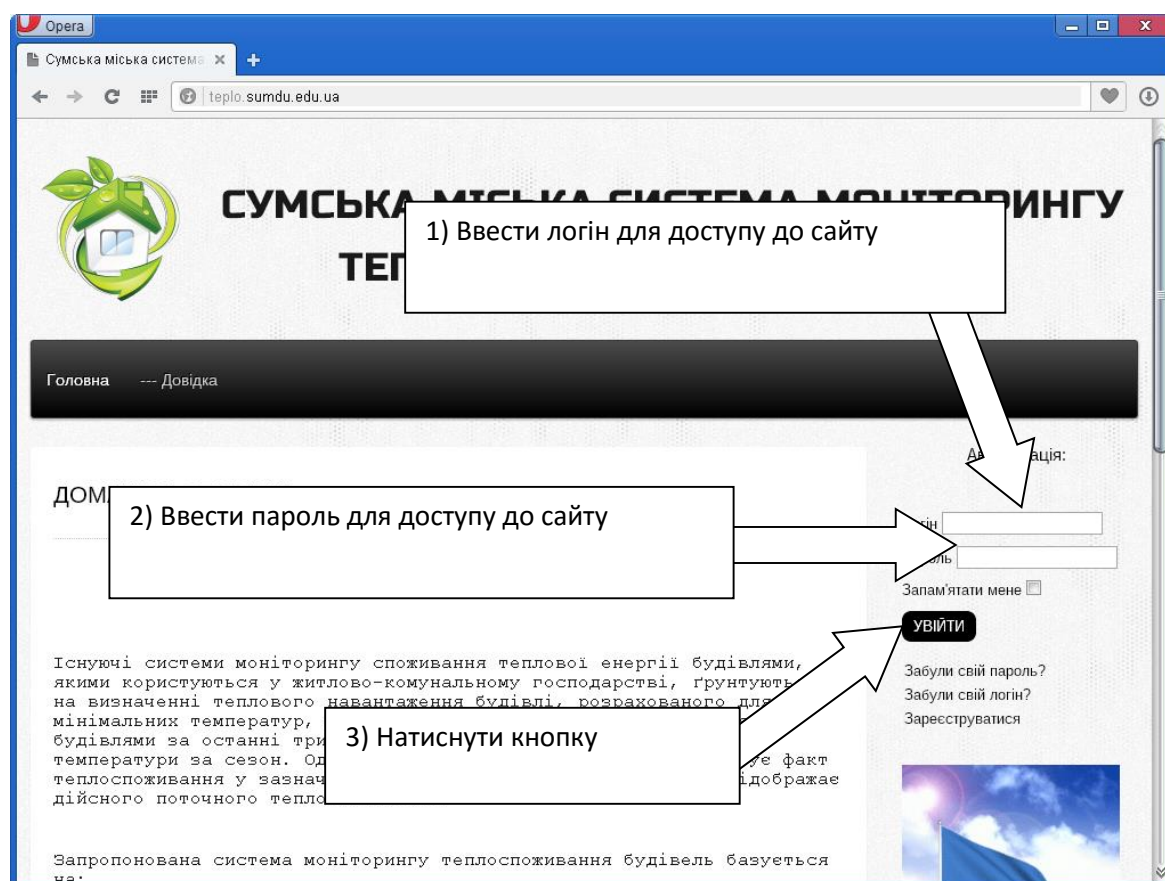


Рисунок 8.2 – Форма авторизації

Логін – це унікальний ідентифікатор користувача у системі, який являє собою набір цифр та букв латинського алфавіту. Він формується адміністратором системи моніторингу та видається користувачу індивідуально. Довжина логіну повинна бути в діапазоні від 4 до 16 символів латинського алфавіту або арабських цифр та їх комбінації. При втраті логіну користувач має звернутися до адміністратора системи для отримання повторної інформації.

Пароль – це відомий тільки користувачу набір символів та цифр латинського алфавіту, який використовується системою моніторингу для автентифікації користувача у системі моніторингу. Довжина пароля повинна бути в діапазоні від 6 до 16 символів латинського алфавіту або арабських цифр та їх комбінації. При втраті паролю користувачу необхідно звернутися до адміністратора системи.

Забороняється використання паролю та логіну однакового змісту.

8.3 Введення та редагування даних

Дані, що вносяться в інформаційну систему моніторингу у ручному режимі, заносяться у форми таблиць. Для того, щоб потрапити у режим введення та редагування даних системи моніторингу потрібно у головному меню натиснути кнопку «Введення даних», як показано на рис. 8.3. Для того, щоб з'явилася форма введення даних, потрібно вибрати початкову та кінцеву календарні дати, лічильник із списку, натиснути на кнопку «Показати дані», потім натиснути кнопку «Новий запис», розташовану зправа від кнопки «Показати дані» (рис. 8.4).

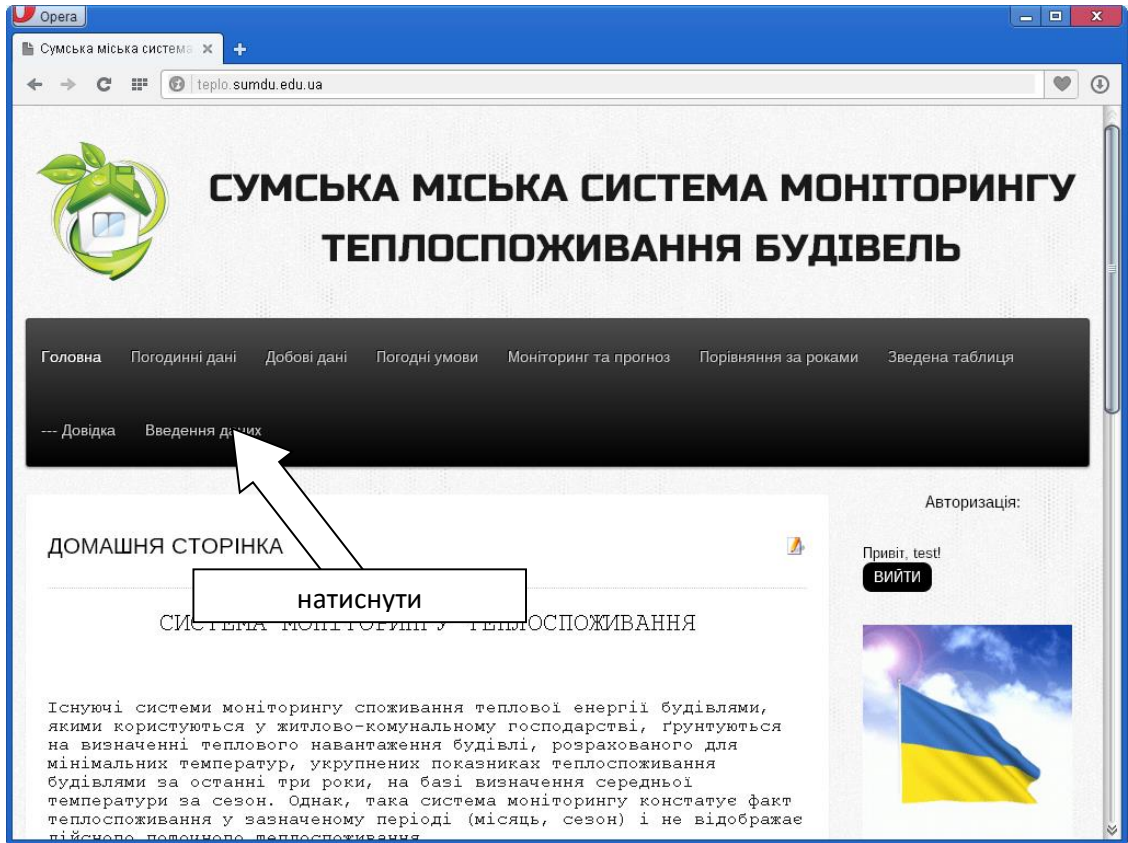


Рисунок 8.3 – Перехід в режим редагування даних

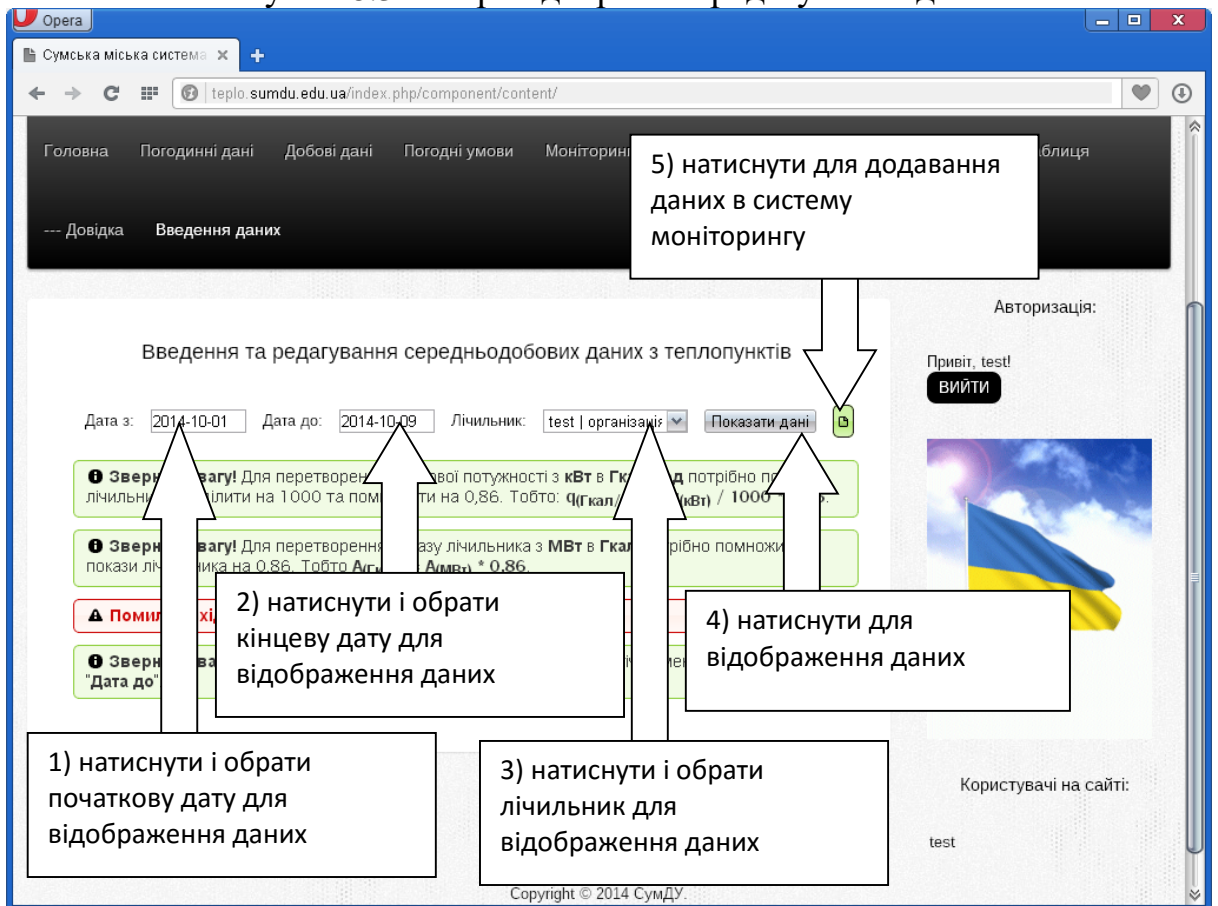


Рисунок 8.4 – Послідовність дій при введенні нових даних в систему моніторингу

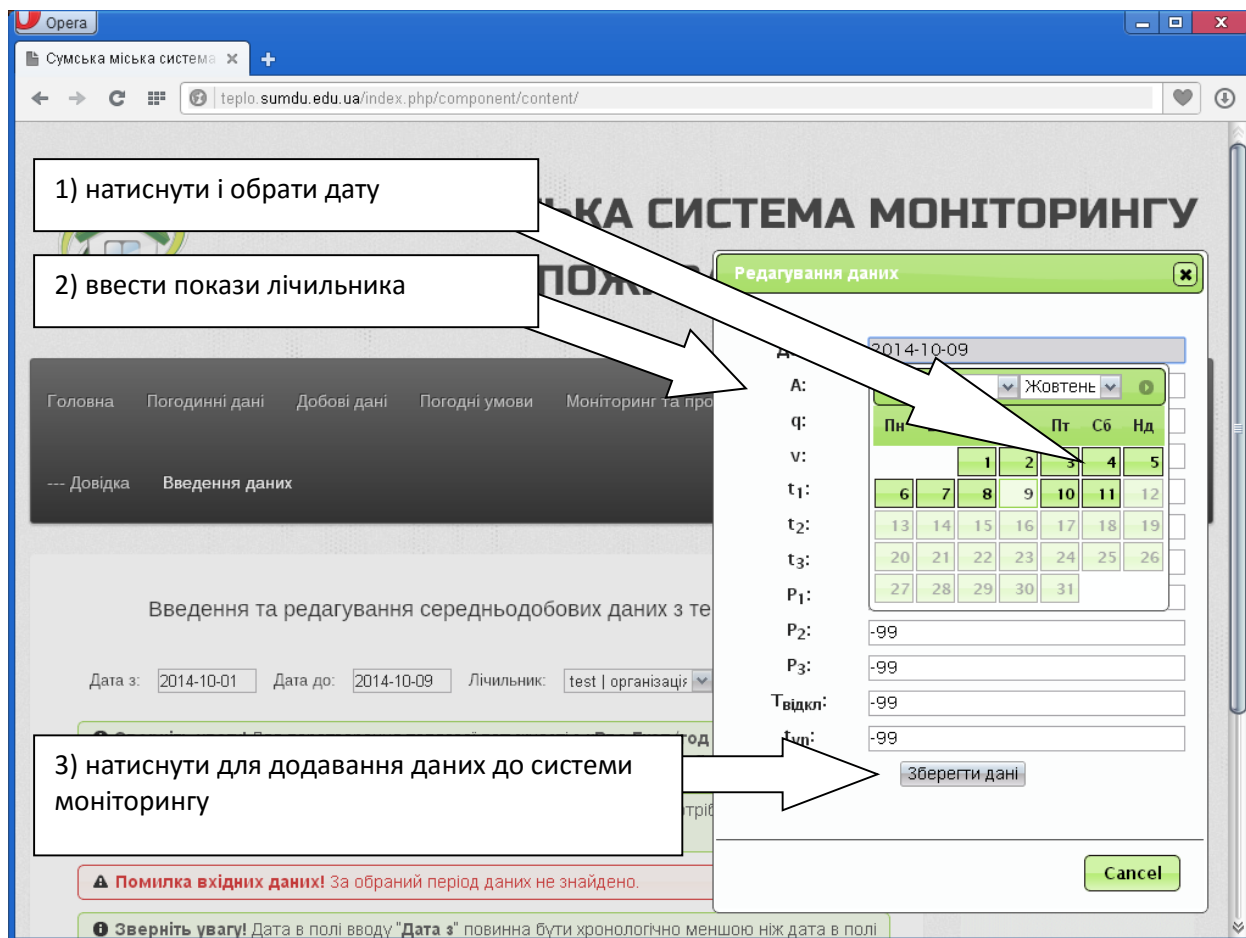


Рисунок 8.5 – Послідовність дій при введенні нових даних в систему моніторингу

Після вводу в таблицю всіх даних на обрану дату має бути натиснута кнопка «Зберегти дані» (рис. 8.5) для запису даних у таблицю бази даних (БД), або кнопку «Cancel» для скасування операції.

Для організації перегляду, редагування та видалення середньодобових даних, що мають надходити з теплових пунктів будівель підключених до системи моніторингу, створено форму рис. 8.6.

Опера

Сумська міська система

teplo.sumdu.edu.ua/index.php/component/content/

ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

Головна | Погодинні дані | Добові дані | Погодні умови | Моніторинг та прогноз | Порівняння за роками | Зведена таблиця

--- Довідка | Введення даних

1) натиснути для редагування даних на обрану дату

2) натиснути для видалення даних на обрану дату

Дата з: 2014-10-01 | Дата до: 2014-10-05 | Лічильник: test | організація | Показати

Зверніть увагу! Для перетворення теплової потужності з кВт в Гкал/год потрібно покази лічильника розділити на 1000 та помножити на 0,86. $A(\text{Гкал/год}) = Q(\text{кВт}) / 1000 * 0,86$.

Зверніть увагу! Для перетворення показу лічильника з МВт в Гкал/год потрібно помножити покази лічильника на 0,86. Тобто $A(\text{Гкал}) = A(\text{МВт}) * 0,86$.

Дата	A	q	v	t ₁	t ₂	t ₃	P ₁	P ₂	P ₃	T _{відс.}	Т _{вдс.}	Т _{вдс.}	Т _{вдс.}
2014-10-09	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99

Користувач на сайті:

Рисунок 8.6 – Таблиця даних з теплопунктів

Для того, щоб відкрилась таблиця з даними рис. 8.6 в режимі редагування, потрібно спочатку заповнити поля дат, вказавши відповідно, за який період необхідно показати дані та заповнити поле «Лічильник». Після заповнення необхідних полів, натиснути кнопку «Показати дані». Під кнопкою з'явиться таблиця з даними за вибраний період (рис. 8.4). Для зручності перегляду даних таблиці застосований фільтр. Останні дві колонки таблиці слугують для виклику форми редагування, для видалення запису з таблиці передбачена кнопка (рис. 8.6).

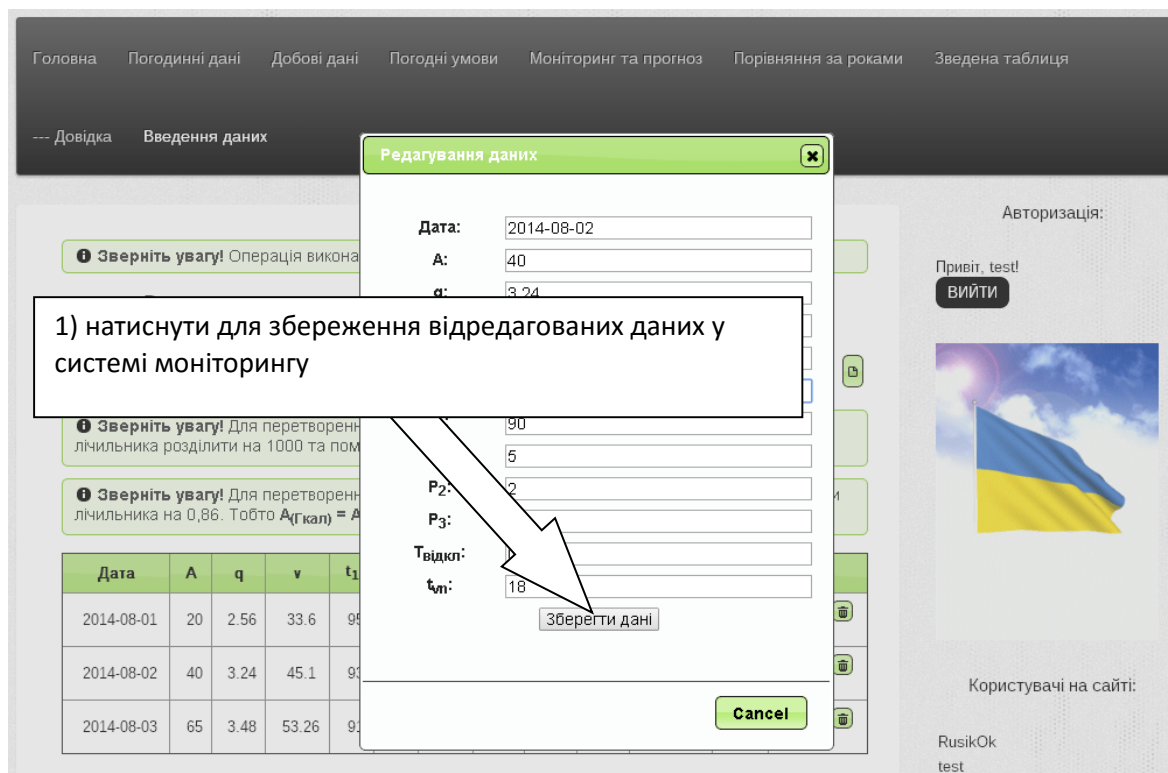


Рисунок 8.7 – Форма редагування середньодобових даних з теплопунктів

Після внесення необхідних правок у формі рис. 8.7, потрібно зберегти дані натисканням кнопки «Зберегти дані», або натиснути кнопку «Cancel» для скасування операції редагування даних.

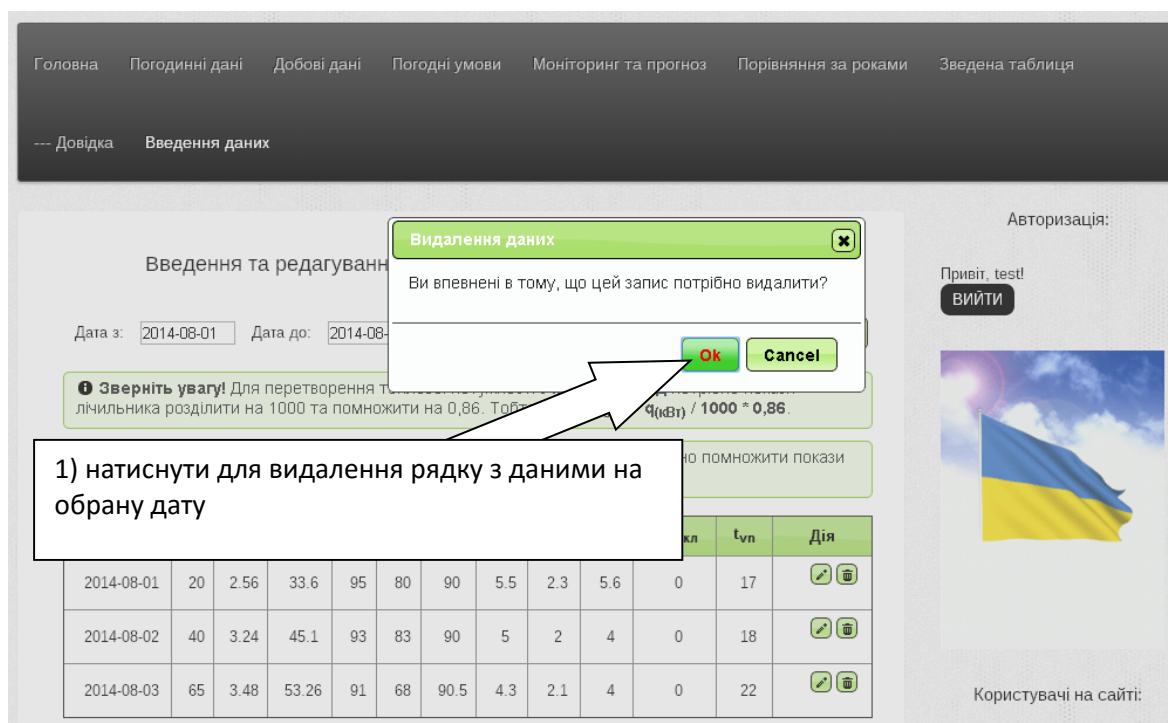


Рисунок 8.8 – Діалог видалення запису

Якщо, з тієї, чи іншої причини потрібно видалити запис із таблиці БД, натиснути кнопку з піктограмою корзини навпроти рядка в таблиці який більше не

потрібен. Після натиснення цієї кнопки з'явиться вікно підтвердження дії (рис. 8.8). При натисненні кнопки «Ок» запис видалиться, при натисненні кнопки «Cancel» вікно зникне, дані залишаться в таблиці рис. 8.8.

8.4 Перегляд середньодобових даних з теплових пунктів будівель споживачів теплової енергії

Для відображення середньодобових даних з теплових пунктів потрібно натиснути на кнопку «Добові дані» у головному меню (рис. 8.3). Дані можна отримати за кожен день (дату), а також за будь-який період. При ручному виборі початкової та кінцевої дати (рис. 8.4) можна переглянути дані за будь-який період. При наведенні курсору на будь-який заголовок у таблиці з'являється підказка з описом параметра.

В таблиці рис. 8.9 виводяться такі дані: дата фіксації даних, показники лічильника теплової енергії (Гкал), фактична кількість теплоти, що спожита будівлею за добу (Гкал), середньодобова теплова потужність (Гкал/год), середньодобова витрата теплоносія (м³/год), середньодобова температура прямого теплоносія (°C), середньодобова температура зворотного теплоносія (°C), середньодобова температура теплоносія після змішування на тепловому пункті (°C).

На першому графіку рис. 8.10а «Середньодобова температура теплоносія» зображені графіки зміни температури теплоносія, зафіксовані приладами теплового пункту. Червоним кольором показана крива зміни температури прямого теплоносія, синім кольором показана крива зміни температури зворотного теплоносія, жовтим кольором показана крива зміни температури теплоносія після змішування.

На другому графіку 8.10б зеленим кольором показана фактична середньодобова витрата теплової енергії, розрахована за показами лічильника.

На третьому графіку рис. 8.10в «Середньодобова миттєва теплова потужність» зображена крива, яка показує зміни середньодобової миттєвої теплової потужності.

На третьому графіку рис. 8.10в «Середньодобова витрата теплоносія» зображена крива, яка показує середньодобову зміну миттєвої витрати теплоносія у системі опалення.

Зовнішній вигляд сторінки відображення поточних даних з теплового пункту представлено на рис. 8.9 і рис. 8.10.

Середньодобові дані з теплових пунктів, зібрані в ручному та автоматичному режимі

Дата з: Дата до: Корпус:

Дата	A	Q	q	v	t ₁	t ₂	t ₃
2012-12-01	5548.60592	16.989	0.708	26.854	65.11	39.04	47.34
2012-12-02	5566.99277	18.387	0.764	29.710	65.05	39.44	49.21
2012-12-03	5589.59432	22.602	0.942	42.757	64.72	42.94	55.48
2012-12-04	5611.64007	22.046	0.918	40.801	65.19	42.88	53.98
2012-12-05	5632.98952	21.349	0.889	38.023	63.70	40.85	51.64

Рисунок 8.9 – Таблиця на сторінці відображення поточних даних з теплових пунктів

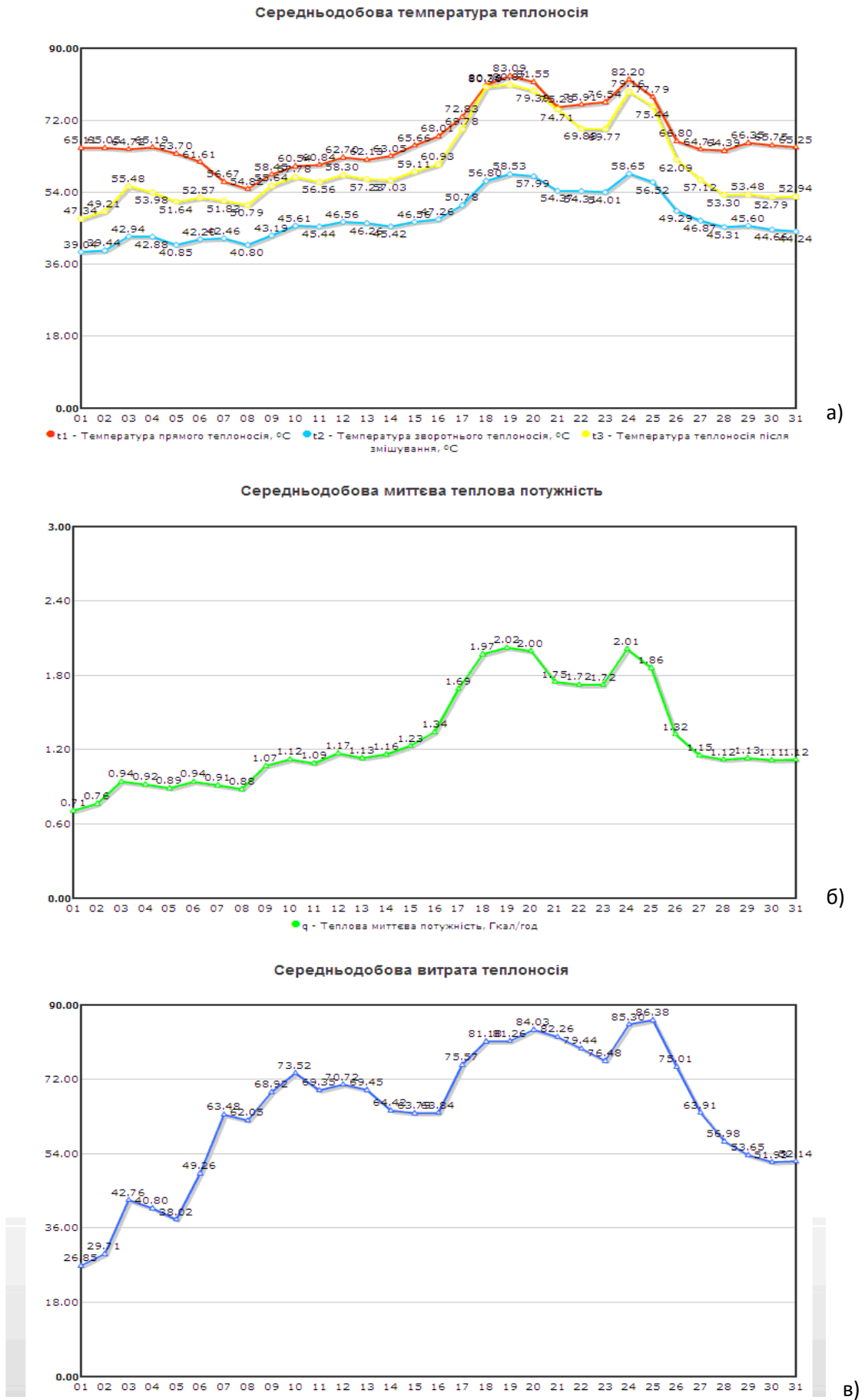


Рисунок 8.10 – Сторінка відображення поточних даних з теплопунктів

8.5 Відображення даних про погодні умови

Для переходу в режим перегляду даних про погодні умови потрібно у головному меню (рис. 8.4) обрати та натиснути пункт «Погодні умови». На сторінці відображаються дані, отримані в автоматичному режимі з сайту <http://gismeteo.ru>, та з температурного датчика СумДУ. Зовнішній вид сторінки представлено на рис. 8.11.

В першій таблиці рис. 8.11а «Середньодобові дані про температуру навколишнього повітря» представлені середньодобові дані про температуру навколишнього повітря: прогнозна на поточну дату (°C), реальна температура на поточну дату (°C) (з сайту <http://gismeteo.ru> та поточна температура з датчика температури СумДУ (°C). На графіку, що розташований під таблицею, візуалізовано точність прогнозування та різницю поточних температур з сайту та з датчика температури СумДУ.

В другій таблиці рис. 8.11б «Погодинні дані про прогнозовану та поточну температуру навколишнього середовища» відображені дані про погодні умови на останню дату обраного періоду. Ця таблиця є дещо детальнішою та додатково відображає напрям вітру, швидкість вітру (м/с), атмосферний тиск (мм рт.ст.), вологість (%), і опади у вигляді піктограми. Всі показники температур, що зафіксовані у таблиці, продубльовані на графіку температур, розташованому під таблицею рис. 8.12.

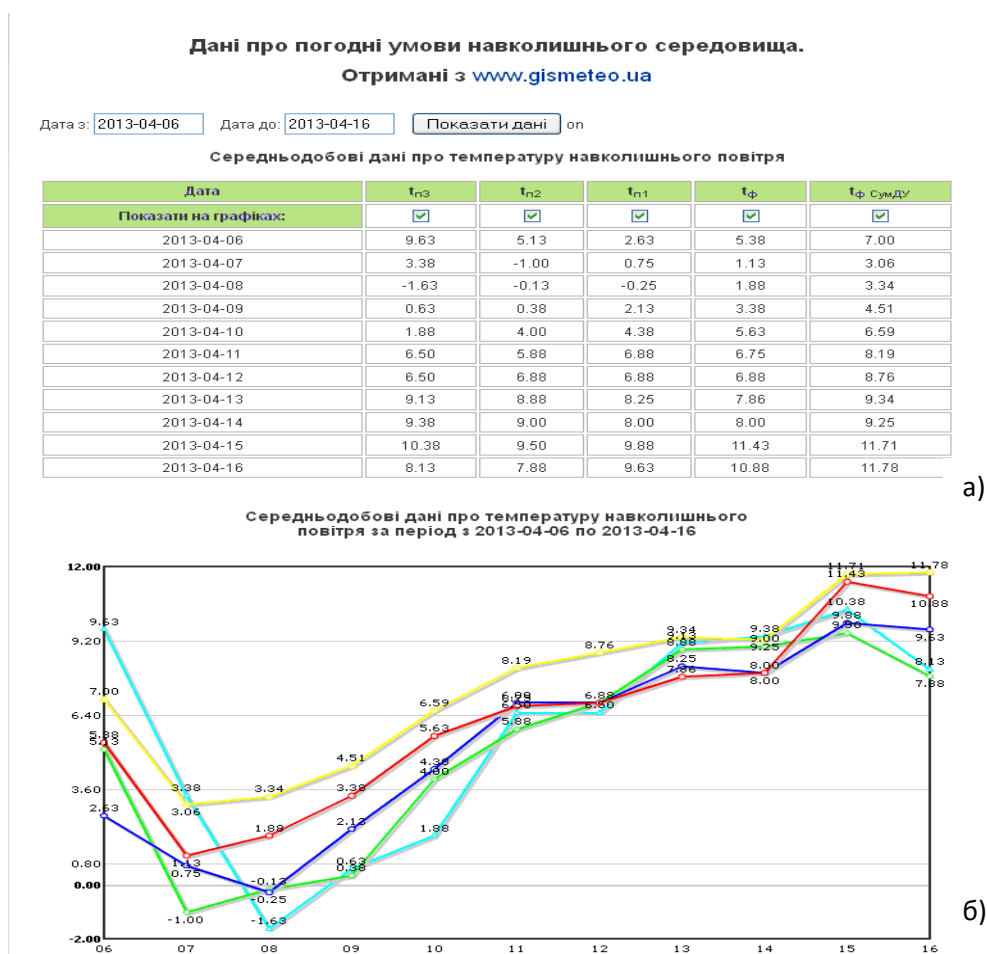


Рисунок 8.11 – Сторінка відображення погодних даних

- $t_{п3}$ - Позавчорашній прогноз, °С
- $t_{п2}$ - Вчорашній прогноз, °С
- $t_{п1}$ - Сьогоднішній прогноз, °С
- $t_{ф}$ - Фактична температура, °С
- $t_{ф\text{ СумДУ}}$ - Фактична температура з датчика СумДУ, °С

Погодинні дані про прогнозовану та поточну температуру навколишнього середовища

Час	$t_{п3}$	$t_{п2}$	$t_{п1}$	$t_{ф}$	$t_{ф\text{ СумДУ}}$	Вітер _ф	Тиск _ф	Вологість _ф	Опади _ф
00:00	5	5	9	9	11.12	2	755	48	☀️
03:00	3	3	5	5	8.44	2	757	55	☀️
06:00	2	2	3	3	6.44	2	757	69	☀️
09:00	8	8	9	10	8.38	3	758	38	☀️
12:00	12	12	13	15	13.56	6	757	8	☀️
15:00	14	13	15	16	15.94	5	756	5	☀️
18:00	13	13	14	17	16.19	5	755	5	☀️
21:00	8	7	9	12	13.50	2	755	29	☀️

Температура навколишнього повітря на

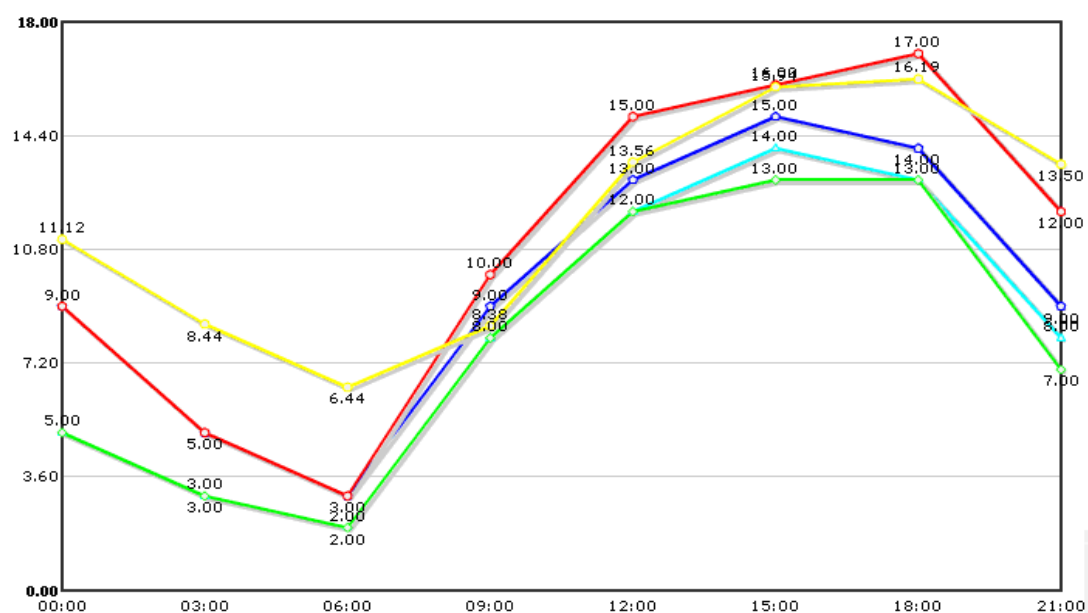


Рисунок 8.12 – Сторінка відображення погодних даних

8.6 Прогнозування та відображення даних моніторингу

Для переходу в режим відображення даних моніторингу на сайті в головному меню рис. 3 потрібно обрати і натиснути пункт меню з назвою «Моніторинг та прогноз». Після цього Ви побачите сторінку розрахунку ліміту теплоспоживання на поточну добу та відображення статистичної інформації моніторингу. Візуалізація цього модуля представлена на рис. 8.13.

У верхній частині сторінки розташовані поля для вибору періоду відображення даних та назва корпусу будівлі, для якої розраховується ліміт теплоспоживання рис. 7.4. Для відображення інформації необхідно натиснути кнопку «Показати дані» маніпулятором «миші». За замовчуванням виводяться дані з першого числа за поточний місяць.

В першій таблиці рис. 8.13а «Прогнозовані показники теплоспоживання поточної доби» показуються дані прогнозного ліміту теплоспоживання обраного корпусу будівлі на поточну добу. Прогнозні ліміти виводяться у форматі на добу та на годину, також в таблиці виводяться дані прогнозованої середньодобової температури та інші параметри.

У другій таблиці рис. 8.13б «Звітні фактичні та прогнозовані показники теплоспоживання» у другому стовбці червоним кольором виводиться кількість теплоти спожитої будівлею за добу (за даними, отриманими з лічильника теплової енергії). Зеленим та синім кольорами у третьому та четвертому стовбцях таблиці виводяться ліміти енергоспоживання будівлі за прогнозованою та фактичною середньодобовою температурою навколишнього повітря. Графіком рис. 8.13в «Графік добового споживання теплової енергії за період» представлені дані стовбців другої таблиці, що виділені жирним шрифтом. Кольори на графіку відповідають кольорам масивів даних таблиці. Додатково під графіком розміщена легенда з назвами масивів даних, виділених різними кольорами.

Моніторинг та прогноз

Дата з: Дата до: Корпус:

Прогнозовані показники теплоспоживання поточної доби

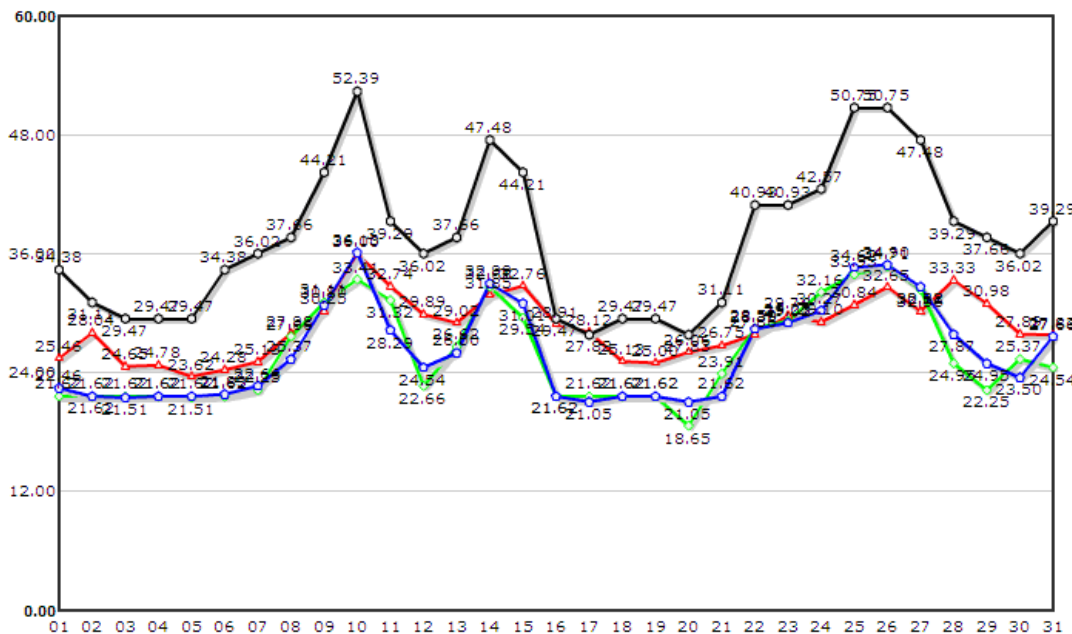
Прогноз на	Дата	2013-03-23
Кількість теплоти, яку споживає будівля при температурі зовнішнього повітря 0°C	Q0	21.624 Гкал
Прогнозована середньодобова температура зовнішнього повітря	t	-5.6 °C
Значення коефіцієнта теплоти за прогнозованою температурою	k	1.2503
Розрахунковий добовий ліміт теплоспоживання за прогнозованою температурою	Q	27.036 Гкал/добу
Миттєва прогнозована теплова потужність	q	1.1265 Гкал/год

Звітні фактичні та прогнозовані показники теплоспоживання

Дата	Q _{лічильника}	t _{пр}	t _{факт}	Q _{пр}	Q _{факт}	Q _{норм}	dQ _{пр}	dQ _{факт}	Q _е
01.01	25.465	-1.4	-3.4	21.624	22.457	34.381	3.841	3.008	-8.92
01.02	28.040	-2.9	-1.3	21.624	21.624	31.107	6.416	6.416	-3.07
01.03	24.645	-0.3	0.3	21.624	21.505	29.470	3.021	3.140	-4.82
01.04	24.778	0.0	-0.3	21.624	21.624	29.470	3.154	3.154	-4.69
01.05	23.615	0.3	-0.4	21.505	21.624	29.470	2.110	1.991	-5.86
01.06	24.284	-2.9	-3.1	21.624	21.832	34.381	2.660	2.452	-10.10
01.07	25.128	-3.3	-3.5	22.247	22.664	36.019	2.881	2.464	-10.89
01.28	33.328	-4.6	-6.0	24.954	27.873	39.293	8.374	5.455	-5.96
01.29	30.981	-3.3	-4.6	22.247	24.954	37.656	8.734	6.027	-6.67
01.30	27.892	-4.8	-3.9	25.371	23.497	36.019	2.521	4.395	-8.13
01.31	27.829	-4.4	-5.9	24.539	27.661	39.293	3.290	0.168	-11.46
Σ	886.869	-5.0	-5.0	803.929	810.91	1164.058	82.940	75.955	-277.5

б)

Графік добового споживання теплової енергії за період з 01.01 до 01.31



• Q_{лічильника} - Фактична кількість теплоти, спожита будівлею
 • Q_{пр} - Розрахунковий ліміт теплоспоживання на добу за прогнозованою середньодобовою температурою, Гкал/добу
 • Q_{факт} - Розрахунковий ліміт теплоспоживання на добу за фактичною середньодобовою температурою, Гкал/добу

в)

Рисунок 8.13 – Сторінка моніторингу та прогнозу

8.7 Відображення сумарної інформації за всіма лічильниками та організаціями

Для виведення даних по всім об'єктам моніторингу в одну таблицю потрібно скористатися пунктом «Зведена таблиця» головного меню рис. 8.3. Зовнішній вигляд сторінки зображений на рис. 8.14.

У верхній частині сторінки сайту розташовані поля для вибору періоду відображення даних з кнопкою «Показати сумарні дані за період» (рис. 8.4). За замовчуванням виводяться дані за минулу добу. За потреби, можна вибрати будь який період (у межах опалювального періоду).

Структура таблиці: у першому рядку показані всі будівлі, які обслуговуються одним лічильником (таких може бути декілька); фактична кількість теплоти, спожитої будівлею за обраний період; середня прогнозна температура навколишнього середовища за обраний період; середня фактична температура навколишнього середовища за обраний період, розрахований ліміт теплоспоживання за прогнозною середньодобовою температурою навколишнього середовища у обраному періоді; розрахований ліміт теплоспоживання за фактичною середньодобовою температурою навколишнього середовища у обраному періоді; відхилення у об'ємах теплоспоживання будівлею (за прогнозною середньодобовою температурою навколишнього повітря); відхилення у об'ємах теплоспоживання будівлею (за фактичною середньодобовою температурою навколишнього повітря).

У наступному рядку виводиться аналогічна інформація з теплового лічильника інших будівель організації. Після виведення всіх даних з лічильників організації виводиться рядок сумарної інформації по організації в цілому. Для більшої зручності сприйняття інформації, введено пустий рядок. В останньому рядку таблиці виводиться сумарна інформація по всім організаціям, які доступні користувачеві за правами доступу. Таким чином, на даному модулі користувач може переглянути інформацію по всім організаціям та лічильникам, що знаходяться в його підпорядкуванні.

Якщо для отримання коректних розрахунків та виведення їх результатів не вистачає вхідних даних, то про це додатково повідомляється користувачеві у вигляді знаку «!» червоного кольору навпроти лічильника, по якому не вистачає даних. В дужках також повідомляється, за якими добовими періодами не вистачає інформації.

Зведена таблиця

Дата з: 2014-08-01 Дата до: 2014-08-10 Показати сумарні дані за період

Звітні фактичні показники теплоспоживання за період

Будівлі	Qлі- чильника	t _{пр}	t _{факт}	Q _{пр}	Q _{факт}	dQ _{пр}	dQ _{факт}
корпус 1, корпус 2, корпус 3	93.000	-14.7	-13.8	103.922	101.627	-10.922	-8.627
корпус 4, корпус 5	118.000	-14.7	-13.8	120.680	118.015	-2.680	-0.015
Сума по організація 1	211.000	-	-	224.602	219.642	-13.602	-8.642
корпус 1 ! (5)	40.000	-8.8	-8.0	71.334	69.659	-31.334	-29.659
Сума по організація 3	40.000	-	-	71.334	69.659	-31.334	-29.659
Загальна сума	251.000	-	-	295.936	289.301	-44.936	-38.301

Рисунок 8.14 – Сторінка відображення зведеної таблиці

9 ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС У ЕЛЕКТРИЧНОМУ КОЛІ ЯК АНАЛОГ ТЕПЛООБМІНУ ТА ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ ПРИМІЩЕННЯ

Скорочення витрат на функціонування закладів бюджетної сфери є для нашої країни першочерговою задачею. Одним з напрямків її вирішення є скорочення витрат на обслуговування будівель, у яких вони розташовуються. Найвагомішими серед них є витрати на опалення [34,35,36].

Відомі різні способи розрахунку необхідної теплової потужності опалювальних пристроїв для отримання комфортних санітарно-гігієнічних умов перебування людини [37]. Найбільш простий з них спирається на конструктивні розміри приміщення, тобто на кількість зовнішніх стін, які контактують з навколишнім середовищем та кількості вікон у приміщенні. Згідно цього методу, якщо приміщення має одну зовнішню стіну і одне вікно, то на кожні 10 м² його площі необхідно мати 1 кВт теплової потужності батареї опалення. Якщо у приміщенні дві зовнішні стіни і одне вікно, то на кожні 10 м² його площі необхідно мати 1,3 кВт теплової потужності батареї опалення.

Існує більш точний, але і більш складний метод, при якому розрахунок кількості секцій батареї опалення виходячи з необхідної потужності (P) для нормального обігріву приміщення розраховується за формулою: $P = S \cdot h \cdot 41$: де S - площа приміщення, для якого проводиться розрахунок, h - висота приміщення, 41 - нормативний показник мінімальної потужності (Вт) на 1 м³ об'єму приміщення. Якщо розраховану за цією формулою потужність поділити на номінальну потужність тепловіддачі однієї секції батареї опалення (ця інформація міститься в інструкції до опалювального пристрою), то отримаємо величину кількості секцій батареї опалення.

Інший спосіб розрахунку необхідної теплової потужності опалювальних пристроїв спирається на відому величину середнього значення потужності необхідної для комфортного опалення 1 м² приміщення за стандартної висоти стель до 3 метрів. Точність розрахунку за таким методом значною мірою залежить від багатьох факторів: року побудови приміщення, складу будівельних матеріалів та архітектурних показників, кліматичної зони розташування і т.ін.. У таких розрахунках як середнє значення можна брати 100 кВт*год за добу на 1 м². Однак для будівель старої забудови вона буде ближчою до 150 кВт*год, а для сучасних - меншою на рівні 70...80 кВт*год. За прогнозними оцінками спеціалістів енергоефективні будівлі майбутнього будуть при опаленні споживати теплової енергії приблизно вдвічі менше.

Більшість бюджетних закладів функціонують за розкладом, що характеризується присутністю у них персоналу та відвідувачів протягом короткострокового періоду упродовж доби. Тобто, комфортні санітарно-гігієнічні умови для їх перебування у приміщеннях необхідно створити на цей період часу і є можливість запровадження чергового графіку роботи системи опалення будівлі, який характеризується зниженням споживання теплової енергії будівлею у не робочі години закладу [38]. Для ефективного впровадження таких режимів опалення необхідно звернути увагу на теплову інерцію огорожуючих конструкцій та

обладнання, яке є у приміщеннях будівлі та її вплив на тепловий режим і визначення діапазону зниження температури теплоносія, що надходить до системи опалення [39,40]. Метою роботи є дослідження впливу теплоємності огорожуючих конструкцій і інших елементів теплової системи на динаміку зміни теплового навантаження будівель.

Результати досліджень та розрахунків наведено на прикладі кімнати житлового будинку (рис. 9.1), опалювана площа якої становить близько 12 м².

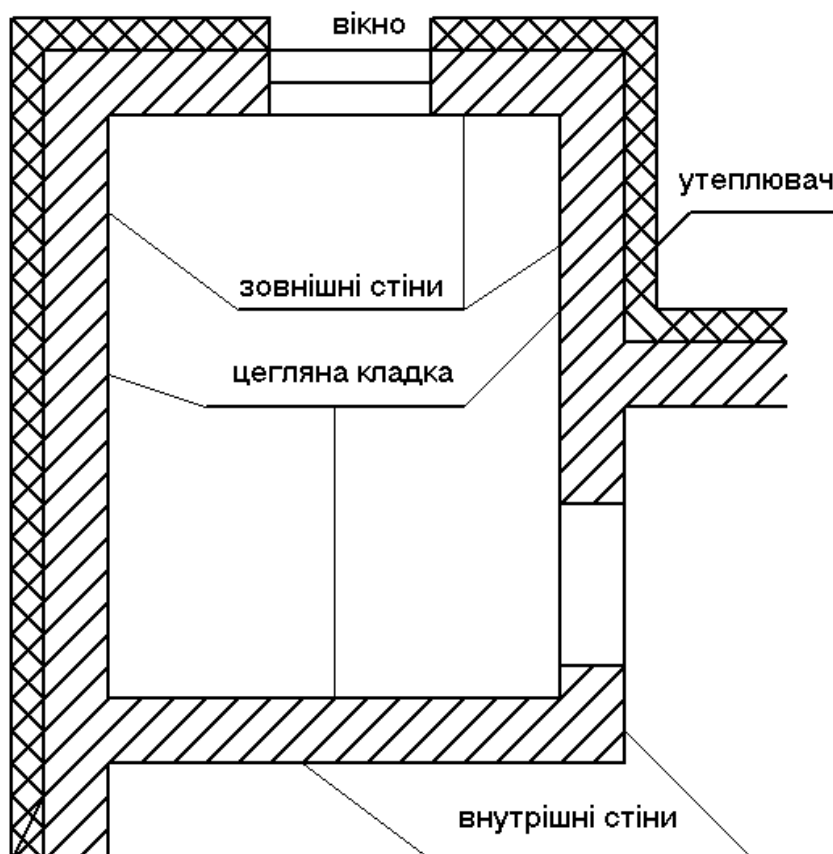


Рисунок 9.1 - Схема кімнати житлового будинку

Дві стіни помешкання і частина третьої, що контактують з зовнішнім середовищем, додатково утеплені мінеральною ватою та покриті захисним шаром – сайдингом. За конструкцією, система утеплення є вентиляованою. Продовження третьої стіни контактує з приміщенням, температура повітря у якому відрізняється від температури повітря у приміщенні, що досліджується, не більше як на 3⁰С. Четверта стіна також є внутрішньою, однак, контактує з неопалюваним приміщенням. Усі стіни (огорожуючі конструкції) виконані з цегли та поштукатурені цементно-піщаною сумішшю. Стеля контактує з горищем, яке не опалюється. Підлога контактує з опалюваним приміщенням, режим опалення якого також аналогічний режиму опалення кімнати, що досліджується. Висота кімнати 2,6 м. Об'єм внутрішнього повітря, включаючи меблі, 32,414 м³, без врахування об'єму меблів – 31,794 м³. Об'єм меблів, що знаходяться у кімнаті, 0,620 м³, площа – 34,44 м².

Товщина зовнішніх стін - 0,52 м, об'єм – 15,85 м³, площа – 23,14 м². Товщина внутрішніх стін - 0,27 м, об'єм – 3,81 м³, площа – 13,26 м².

Для створення електричної моделі досліджуваної теплової системи [41,42], було визначено активні опори теплопередачі, конвективного теплообміну та теплоємність повітря і усіх конструкцій досліджуваного об'єкту [43,44].

При цьому враховано, що конвективний теплообмін може мати різні форми. Найчастіше обмін теплом між нагрітим повітрям і холодними поверхнями відбувається в результаті природної конвекції в обмеженому просторі приміщення і ці процеси мають специфічну форму. Однак, в результаті змішування повітря у приміщенні, спостерігається відносно рівномірний розподіл його температури а межах всього об'єму, що дає право вважати температуру повітря всього приміщення однаковою.

Винятком з цього є температурний режим приміщення з великим надлишком тепла чи подачі повітря неізотермічними струменями, але моделювання таких теплових процесів запропонованою електричною моделлю не передбачено.

Не враховано у моделі також і процес променевого теплообміну, обумовленого своєрідними радіаційними властивостями віконного скла.

Усі інші характеристики теплоенергетичних процесів, які мають місце при опаленні приміщень, у дослідженні враховано. Звернімо увагу, що запропонована методика досліджень дозволяє аналізувати теплові процеси при опаленні приміщень не лише в усталених режимах, а і у перехідних.

Опір теплопередачі визначено за виразом:

$$R_0 = \frac{H}{\lambda \cdot F},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності.

Конвективні опори теплообміну:

$$R_k = \frac{1}{\alpha_k \cdot F}, \quad R_{HC} = \frac{1}{\alpha_{HC} \cdot F},$$

де α_k та α_{HC} – коефіцієнти конвективного теплообміну на внутрішній та зовнішній поверхнях, H – товщина поверхні, F – площа поверхні.

Теплоємність огорожуючих конструкцій розраховувалася за виразом:

$$C_0 = F \cdot H \cdot \rho_0 \cdot c_0$$

де ρ_0 та c_0 – густина та питома масова теплоємність матеріалу огорожуючих конструкцій.

Тепловий опір віконних та дверних отворів

$$R_w = \frac{1}{\alpha \cdot F_w};$$

тепловий опір конвективного теплообміну між внутрішнім повітрям та внутрішніми акумуляторами

$$R_a = \frac{1}{\alpha \cdot F_a}.$$

Теплоємності внутрішнього повітря C та внутрішніх акумуляторів C_a визначалися за формулами:

$$C_0 = V \cdot \rho \cdot c, \quad C_a = V_a \cdot \rho_a \cdot c_a,$$

де V – об'єм повітря у кімнаті, ρ – густина повітря, c – питома теплоємність повітря, V_a – об'єм внутрішніх акумуляторів, ρ_a – густина матеріалу внутрішніх акумуляторів. C_a – питома теплоємність матеріалу внутрішніх акумуляторів.

Результати проведених розрахунків зведені у наведену нижче табл. 9.1. Там же зазначено, яким елементом на схемі електричної моделі (рис. 9.2), розробленої виконавцями роботи, ця величина моделюється.

Зміна температури поверхні обігрівача у часі, який є джерелом теплової енергії у досліджуваній тепловій системі кімнати житлового приміщення, моделюється імпульсним джерелом електричної енергії V_1 . Таке ж імпульсне джерело електричної енергії V_2 призначене для моделювання зміни у часі температури навколишнього середовища.

Таблиця 9.1 – Результати розрахунків

Розрахована величина	Числове значення	Моделюється елементом
Теплоємність повітря всередині приміщення	38503	$C1$
Теплоємність внутр. акумуляторів	998172	$C2$
Теплоємність підлоги	559360	$C3$
Теплоємність стелі	2860000	$C4$
Теплоємність зовнішніх стін	25296600	$C5$
Теплоємність утеплювача	800000	$C6$
Теплоємність внутрішніх стін	8000000	$C7$
Тепловий опір регульованого джерела	0,003	$R1$
Тепловий опір між внутр. акумуляторами і повітрям кімнати	0,00334	$R2$
Тепловий опір між підлогою і повітрям кімнати	0,00945	$R3$
Тепловий опір між стелею і повітрям кімнати	0,00945	$R4$
Тепловий опір навк. середовища	0,00119	R_{HC}

Продовження таблиці 9.1

Розрахована величина	Числове значення	Моделюється елементом
Тепловий опір зовнішніх стін	0,0032	R_0
Тепловий опір утеплювача	0,02	R_{01}
Тепловий опір внутрішніх стін	0,043	R_{02}
Опір конвективного теплообміну між повітрям у помешканні і стінами	0,00316	R_K
Тепловий опір віконного отвору	0,03	$R_B' + R_B''$

Наведені у таблиці числові значення теплоємностей мають одиницю виміру ($J/^\circ C$). Відповідно теплові опори вимірюються у ($^\circ C/W$) [38], [39]. Ці ж величини, які є параметрами елементів схеми електричної моделі теплової системи (рис. 9.1), мають ті ж числові значення електротехнічних величин, а вимірюються, відповідно, у фарадах і омах.

Зображена на рис. 9.2 схема використана для схемотехнічного моделювання (рис. 9.3) [45] теплового процесу досліджуваного об'єкту. За зазначених вище умов моделювання, напрузі окремих точок схеми електричної моделі, вимірюваній у вольтах (V), відповідає температура, вимірювана у градусах ($^\circ C$) [46].

При моделюванні розглядалося питання можливості зниження температури теплоносія у нічний час при незмінній температурі навколишнього середовища, досліджувався тепловий процес при зміні температури навколишнього середовища та необхідність врахування теплоємності огорожуючих та інших конструкцій, а також повітря з метою зменшення похибки результатів електричного моделювання процесу теплопередачі. Результати моделювання теплового режиму протягом доби представлені у вигляді графіків струму та напруги. Причому, числове значення струму є аналогом теплового потоку у досліджуваній системі, а числове значення напруги - аналогом температури повітря всередині досліджуваної системи чи температури будь-якої точки на конструктивних поверхнях і меблях.

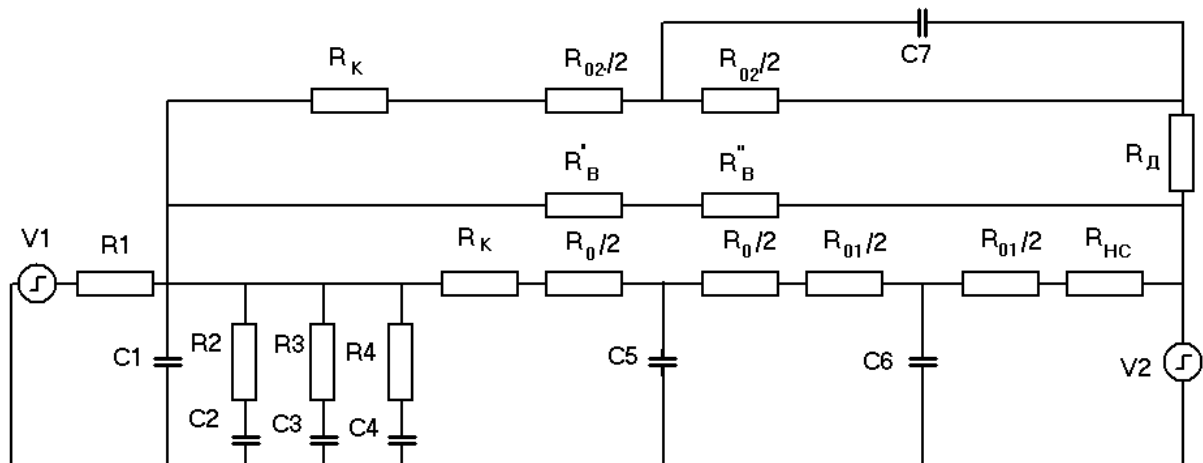


Рисунок 9.2 - Схема електричної моделі досліджуваної теплової системи

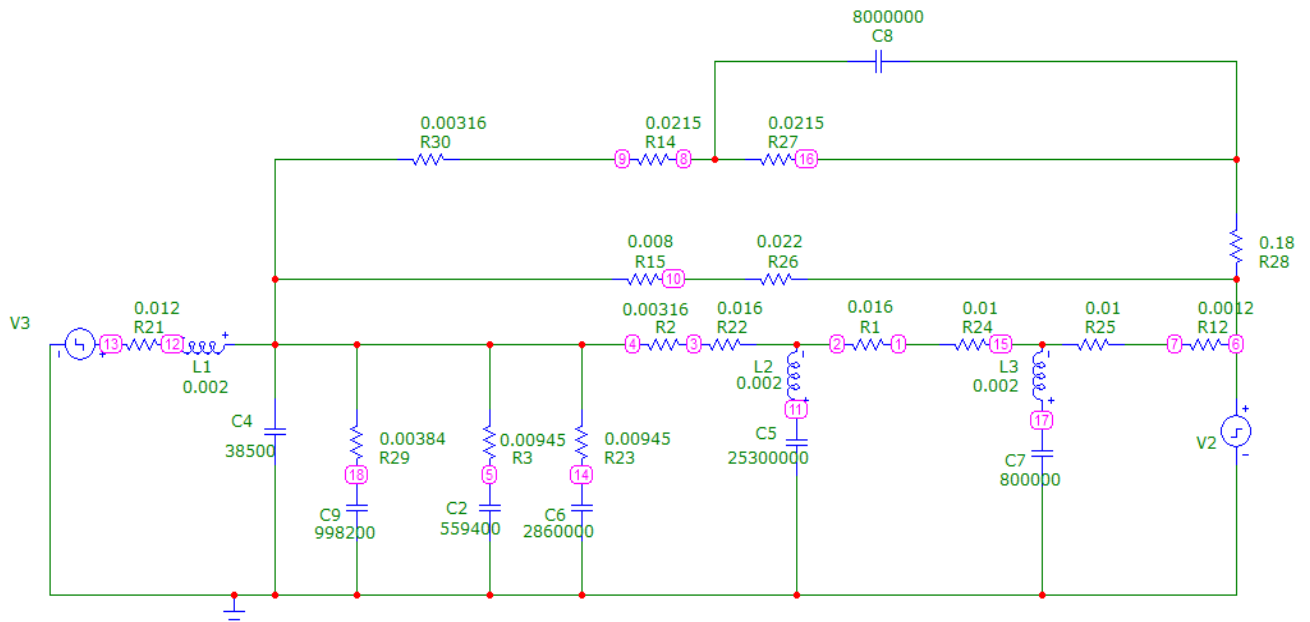


Рисунок 9.3 - Схемотехнічна модель досліджуваної теплової системи

При дослідженні питання щодо можливості зниження температури теплоносія у нічний час вважалося, що температура зовнішньої поверхні батареї опалення, яка є джерелом теплової енергії у системі, змінюється протягом доби за наступним графіком. Від 0 годин до 8 години ранку є незмінною і дорівнює 38°C . Потім, протягом п'ятнадцяти хвилин, підвищується до 49°C і не змінюється до 19-ої години. У наступні п'ятнадцять хвилин, тобто з 19 години до п'ятнадцяти хвилин на двадцятую годину вечора, температура поверхні батареї опалення знижується до 38°C і тримається такою до 24 години. На рис. 9.4 зображено зміну теплового режиму приміщення при значенні температури зовнішнього середовища -20°C .

Звернімо увагу, що на рисунку, як ілюстрацію можливостей електричного моделювання теплового процесу житлового приміщення, зображено зміну температури повітря всередині помешкання та поверхні скла однокамерного склопакету вікна кімнати у часі (протягом доби), а також тепловий потік джерела теплової енергії у вигляді закономірності зміни струму джерела енергії, причому числовому значенню струму відповідає одиниця виміру (kA).

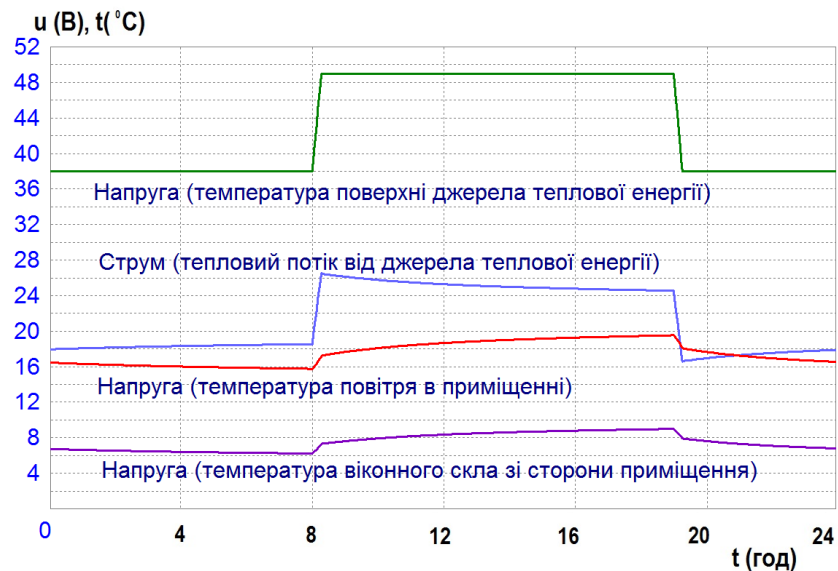


Рисунок 9.4 - Температурний режим приміщення при температурі навколишнього середовища -20°C

Аналітичний розрахунок електричного кола рис. 9.2 є досить складним і авторами статті не проводився. Однак нами розраховано сталу часу цього кола (τ) за параметрами елементів згідно табл. 8.1. Розрахунок дав числове значення $\tau = 4636$ с, що складає майже 1,3 години. Тобто з аналітичного розрахунку виходить, що перехідний електромагнітний процес, як і процес теплопередачі, який йому відповідає, є досить інерційним і встановлюється за 4-5 годин. Причиною цього є теплоємність конструктивних елементів теплової системи та теплоємність акумулюючих елементів.

Необхідність враховувати теплоємність елементів теплової системи підтверджують результати електричного моделювання, наведені на рис. 9.5.

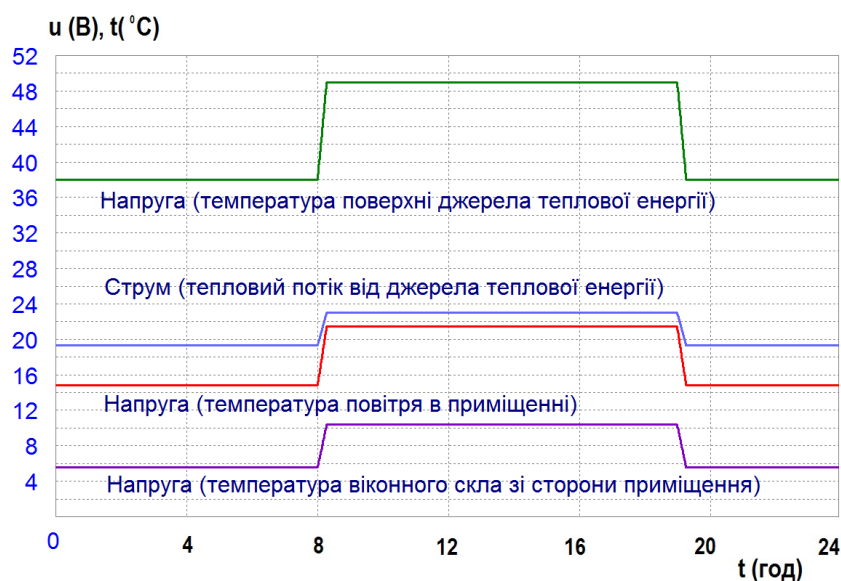


Рисунок 9.5 - Температурний режим того ж приміщення без урахування теплоємності елементів

На цьому рисунку зображено ті ж самі залежності, що і на рис. 9.4, тільки електричне моделювання здійснено без урахування теплоємності елементів теплової системи. Аналіз отриманого результату показує, що джерело теплової енергії повинно мати теплову потужність, здатну забезпечити тепловий процес за умов наявності теплової інерції. З іншого боку, дані щодо теплового стану приміщення є завищеними, і похибка, порівняно з даними реально існуючої ситуації, складає близько 10%.

Розроблена авторами схема електричної моделі та побудована на її основі схемотехнічна модель дозволяє враховувати не лише закономірність зміни температури поверхні джерела теплової енергії системи у часі, а й закономірність зміни у часі температури повітря навколишнього середовища.

На рис. 9.6 наведено результати моделювання теплового процесу того ж житлового приміщення за умови, що температура теплоносія протягом доби залишається незмінною і температура поверхні джерела теплової енергії складає 39°C , а температура навколишнього середовища протягом доби змінюється наступним чином. У проміжок часу від 0 годин до 6 години ранку є незмінною і дорівнює -12°C . Потім, протягом трьох години, підвищується до -4°C і не змінюється до 17-ої години. У наступні три години, тобто з сімнадцятої години до двадцятої, знову знижується до -12°C і тримається такою до 24 години.



Рисунок 9.6 - Температурний режим приміщення при незмінній температурі теплоносія

Як бачимо, за рахунок теплоємності елементів досліджуваної теплової системи, а, відповідно, і наявності явища теплової інерції, температура повітря всередині приміщення змінюється мало, як практично стабільним є і тепловий потік джерела теплової енергії. Чого не скажеш стосовно температури внутрішньої поверхні скла однокамерного склопакету вікна житлового приміщення, температура якого у денний проміжок часу підвищується з 11°C приблизно до 14°C , тобто майже на 3°C . З одного

боку це свідчить про різний характер теплопередачі через огорожуючі конструкції різного характеру і призначення, а з іншого - про здатність електричної моделі, застосованої у дослідженнях теплових процесів, наведених у статті, враховувати їх нелінійність.

Окрім нелінійного характеру процесу теплопередачі досліджуваної теплової системи, електрична модель, як зазначалося раніше, також враховує і інерційність цього процесу [47,48,49]. Результати моделювання, наведені на рис. 9.6, отримані на моделі, яка ураховує теплоємність усіх елементів досліджуваної теплової системи.

Якщо ж теплоємністю елементів теплової системи знехтувати, характер теплових процесів у системі буде зовсім іншим, оскільки при цьому вона втратить свою інерційність, що і ілюструють криві, наведені на рис. 9.7.

Цей рисунок є ще одним підтвердженням того, що застосоване у роботі електричне моделювання ураховує нелінійність теплового процесу теплової системи, а нехтування теплоємністю елементів системи призводить до похибки результатів моделювання на рівні близько 10%.

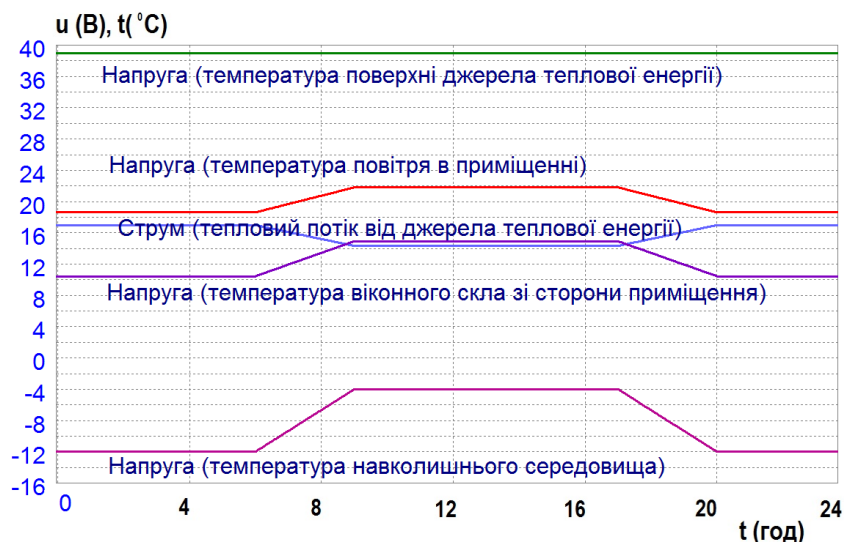


Рисунок 9.7 - Температурний режим приміщення при нехтуванні теплоємністю елементів системи

ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи:

1. Уточнено та доповнено методику проведення енергетичних обстежень для об'єктів бюджетної та соціальної сфери.
2. Розроблено систему моніторингу енергоспоживання бюджетними закладами м. Суми з оцінкою об'єму скорочення викидів CO₂ у результаті зменшення споживання теплової енергії будівлями бюджетних закладів.
3. Уточнено та доповнено методику визначення базового рівня енергоспоживання будівель при визначенні економічної ефективності заходів підвищення енергоефективності.
4. Розроблено числові моделі процесів гідраеромеханіки та тепломасообміну в приміщеннях з різними видами систем обігріву (типової аудиторії з радіаторними приладами обігріву; аудиторії, з системою обігріву «тепла підлога»; приміщень спортивного комплексу, елементи яких обігріваються системою «теплова завіса»; приміщення, яке обігрівається променистою системою опалення «тепла стіна»).
5. Розроблено електричну модель теплової системи, яка складається з активних опорів теплопередачі і конвективного теплообміну, а також з реактивних (ємнісних), що враховують теплоємність повітря і усіх конструкцій досліджуваного об'єкту, враховує всі її особливості та динаміку і нелінійність теплового процесу.
6. Уточнено та доповнено методику прийняття оптимальних рішень щодо диверсифікації викопних видів палива і використання відновлювальних і альтернативних джерел енергії. Розроблено методичні основи для комплексного аналізу ефективності роботи систем тепlopостачання закладів освіти.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Статистичний щорічник Сумської області за 2013 рік [Текст] / За ред. Л.І. Олехнович. – Суми : Головне управління статистики у Сумській обл., 2014. – 568 с.
2. Єнін, П. М. Теплопостачання: навч. посіб. Ч.1 : Теплові мережі та споруди [Текст] / П. М. Єнін, Н. А. Швачко. – К. : Кондор, 2007. – 244 с.
3. Хованський С.О. Системний аналіз комплексу подачі і розподілу води в житлово-комунальному господарстві [Текст] / С.О. Хованський, В.Г. Неня // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/4(46). – С. 56 – 59.
4. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
5. Baldvinsson I / A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECOS (specific exergy cost) method [Text] / I Baldvinsson, T. Nakata // Original Research Article Energy. – 2014. – Volume 74 –P. 537-554.
6. Дешко В.І. Розробка нестационарної моделі теплового стану огорожень будівлі [Текст] / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2009. – №4 – с. 218-225.
7. Rohdin P. Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements [Text]/ P. Rohdin, B. Moshfegh// Original Research Article Building and Environment. – 2011. – Volume 46, Issue 11. – P. 2365-2374.
8. Чернишов, С.О. Математичне моделювання теплового стану приміщень / С.О. Чернишов, С.О. Хованський [Текст] // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 14-17 квітня 2015 р.) – Суми : СумДУ, 2015. – Ч.2. – С. 96.
9. ANSYS CFX 11.0 Solver Theory. Release 11.0 [Electronic resource] / 2008. – 261 p. – Available at: <http://www.ansys.com>.
10. ANSYS CFX 11.0 Solver Models. Release 11.0 [Electronic resource] / 2000. – 549 p. – Available at: <http://www.ansys.com>
11. Сахаров И.А. Расчет взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров водяного теплого пола [Текст] / И.А. Сахаров, М.И. Низовцев // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3/2. – С. 33–37.
12. Hu R. A review of the application of radiant cooling and heating systems in Mainland China [Text] / R. Hu, J.L. Niu // Energy and Buildings. – 2012. – № 52. – P. 11–19.
13. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2012. – 204 с.
14. Zhang F. Thermal environments and thermal comfort impacts of Direct Load Control air-conditioning strategies in university lecture theatres [Text] / F. Zhang,

R. de Dear // *Energy and Buildings*. – 2015. – V. 86. – P. 233–242.

15. Koranteng C. An investigation into the thermal performance of office buildings in Ghana [Text] / C. Koranteng, A. Mahdavi // *Energy and Buildings*. – 2011. – V. 43. – Issues 2–3. – P. 555–563.

16. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. – 304 с.:іл

17. Лабай В.Й. Тепломасообмін: Підручник для ВНЗ. – Львів: Тріада Плюс, 2008. – 260 с.

ANSYS CFX 12.1 Solver Theory. Release 12.1 [Електронний ресурс], 2009. – 270 с – Режим доступу до ресурсу:

18. <http://orange.engr.ucolans.edu/Documentation12.1/121/CFX/xthry.pdf>.

19. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.– Зі зміною № 1 від 1 липня 2013 року. На заміну СНіП II-3-79. Введ. 09.09.2006 р. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. –72 с.

20. Малявина Е. Г., Теплотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. – М. : АВОК-ПРЕСС. 2007.

21. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житловокомунального господарства України. – Луганськ, вид-во «Місячне сяйво», 2010. – 696с.

22. Еремкин А. И., Тепловой режим зданий: учебное пособие / А. И. Еремкин, Т. И Королева. – М. : Издательство АСВ, 2000. – 368 с.

23. Норми витрат електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України.– Затверджено наказом Державного комітету України з енергозбереження № 91 від 25.10.1999 р. – Київ, 1999К.: ВАТ «УкрНДІнжпроект», 1999. - 90 с.

24. 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, 2014

25. КТМ 204 України 244-94. Норми та вказівки з нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. Державний комітет України по житлово-комунальному господарству. – Київ, 2001 р.

26. ДСТУ-Н.Б.В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»

27. Prom.ua [Електронний ресурс]: «Прайс-лист базальтової вати». – 2015 р. - Режим доступу до ресурсу: <http://kiev.prom.ua/p158491285-bazaltovuj-uteplitel-superrock.html>.

28. Prom.ua [Електронний ресурс]: «Прайс-лист базальтової вати». – 2015 р. - Режим доступу до ресурсу: <http://kiev.prom.ua/p2864548-bazaltovaya-vata-rockwool.html>.

29. Утепление [Електронний ресурс]: «Утепление».- Режим доступу до ресурсу:razvitie.stroika.biz.ua. Номер телефону:0996448877.

30. Окнаком [Електронний ресурс]: «Расчет стоимости металлопластиковых окон Rehau (калькулятор)». – 2015 р. - Режим доступа до ресурсу: <http://oknacom.ua/calc/>.
31. Japan Сервис [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://js.com.ua/catalog/rekuperatori/cooper_hunter/FHBQ-D20-M
32. Торгово-монтажная организация [Електронний ресурс]: «Рекуператор Прана-150». – 2015 р. -Режим доступа до ресурсу: <http://www.stolviv.ho.ua/info/prana.html>.
33. Електронний ресурс: <http://enginerishka.ru/energoberezhenie/primenenie-promyuki-dlya-povysheniya-effektivnosti-sistem-otopleniya.html>
34. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк [відповідальний редактор А.К. Шидловський]. – К: УЕЗ, 1998. – 506 с.
35. Герасименко О.В. Оцінка складових теплового балансу цивільних будівель / О.В. Герасименко, А.Л. Перехрест // Проблеми електроресурсозбереження в електричних системах. Наука, освіта і практика. Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції – Кременчук: КрНУ, 2016. Вип. 1/2016 (4) – С.177-179.
36. Перехрест А.Л. Економічна ефективність упровадження рішень з автоматизації та диспетчеризації систем теплозабезпечення цивільних будівель / А.Л. Перехрест, І.В. Ховрак, Є.О. Чеботарьова // Проблеми електроресурсозбереження в електричних системах. Наука, освіта і практика. Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції – Кременчук: КрНУ, 2016. Вип. 1/2016 (4) – С.177-179.
37. Гид по отоплению [Електронний ресурс]: «Теплоотдача радиаторов отопления: увеличиваем эффективность» -Режим доступа до ресурсу: <http://otoplenie-gid.ru/elementy/radiator/221-teplootdacha-radiatorov-otopleniya>.
38. Zhang F. Thermal environments and thermal comfort impacts of Direct Load Control air-conditioning strategies in university lecture theatres [Text] / F. Zhang, R. de Dear // Energy and Buildings. – 2015. – V. 86. – P. 233–242.
39. Куценко А.С. Математическое моделирование управляемого процесса теплоснабжения зданий / А.С. Куценко, В.И. Тобажнянский, С.В. Коваленко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: Націон. Техн. Ун-т «ХПІ». – 2013. – №1. – С. 36 – 44.
40. Куценко А.С. Математическая модель теплового режима здания как объекта управления / А.С. Куценко, С.В. Коваленко // Математические методы в технике и технологиях. – ММТТ-25 : сб. трудов XXV Междунар.науч. конф.: в 10 т. Т.4 Секции 6, 7, 13 / под общ. ред. А.А. Большакова. – Волгоград: Волгогр. Гос. Ун-т, 2012; Харьков: Национ. Техн. Ун-т «ХПІ». – 2012. – С. 190 – 191.
41. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бородач. – М.: АВОКС-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
42. Дешко В.І. Розробка нестационарної моделі теплового стану огорожень будівлі [Текст] / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк // Вісник СумДУ. – 2009. – №4. – С.

218–225.

43. Маляренко В.А. Анализ критерия энергоэффективности зданий и сооружений / В.А. Маляренко, Н.А. Орлова // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: Націон. Техн. Ун-т «ХПІ». – 2004. – №2. – С. 43 – 48.

44. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження / В.А. Маляренко. – Х.: «Видавництво САГА», 2006. – 484 с.

45. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap / В.Д. Разевиг. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2001. – 344 с.

46. Бойко В.С. Результати дослідження теплової інерції приміщення з використанням електричного моделювання / В.С. Бойко, М.І. Сотник, С.О. Хованський, М.М. Юрченко // Проблеми електроресурсозбереження в електричних системах. Наука, освіта і практика. Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції – Кременчук: КрНУ, 2016. Вип. 1/2016 (4) – С.166-169.

47. Сотник М.І. Simulation of the thermal state of the premises with the heating system «Heat-insulated floor» / МІ Сотник, СО Хованський, ІП Гречка, ВО Панченко // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies/- 2015.- 5(6) - С.22-27.

48. Rohdin P. Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements [Text] / P. Rohdin, B. Moshfegh // Building and Environment. – 2011. – V. 46. – Issue 11. – P. 2365–2374.

49. Хованський С. О. Розрахункові дослідження теплового стану приміщень / С. О. Хованський, Е. В. Колісніченко, В. О. Панченко // Технологический аудит и резервы производства. - 2015. - № 6(3). - С. 45-48.

Додаток А

Результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій ЗОШ №18

Таблиця А.1 - Результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

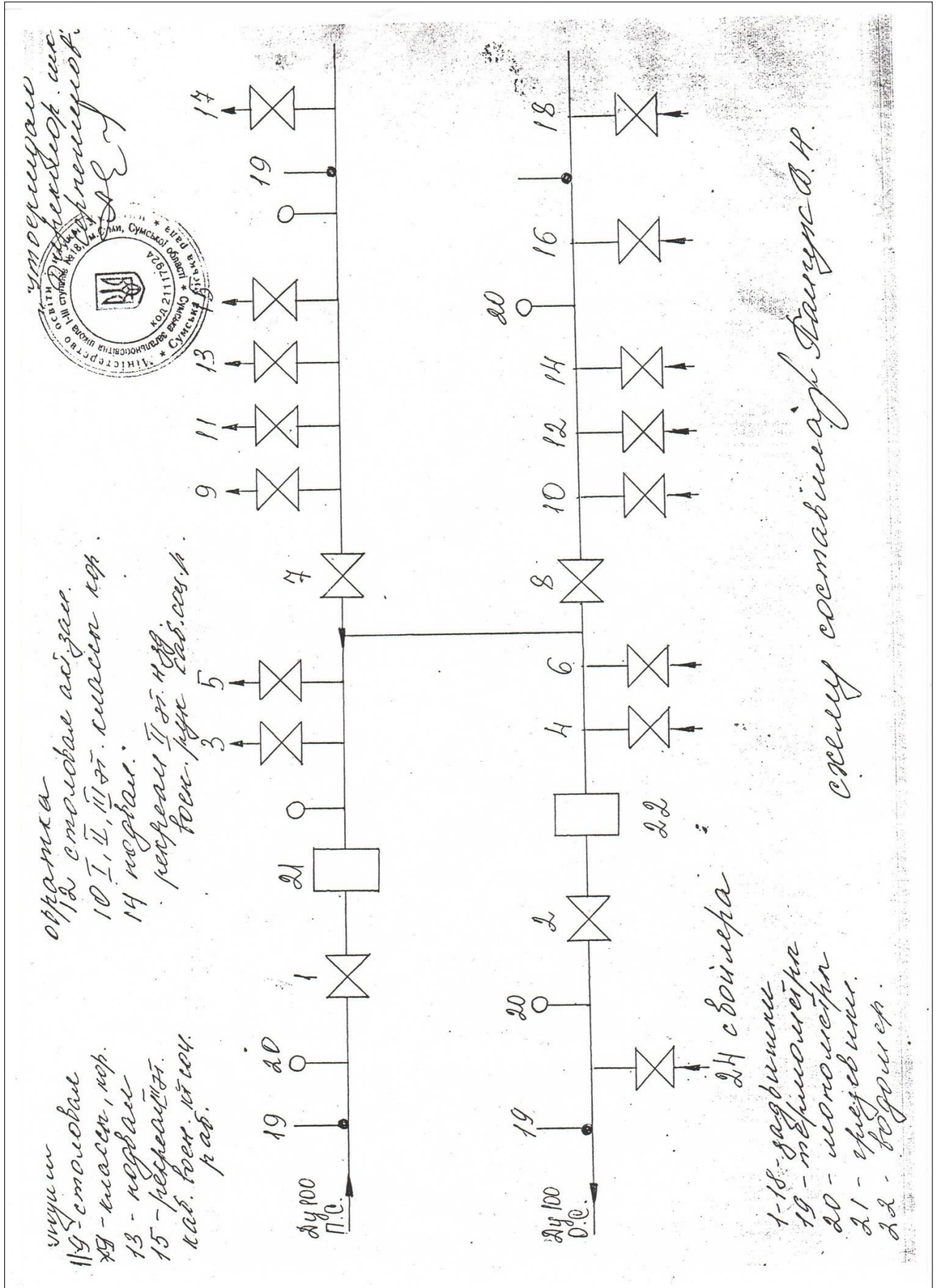
№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло-провідність $\lambda_i, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma np}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$R_{q \min}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
1	2	3	4	5	6	7
Корпус «А2» (актова зала)						
1	Стіна	Кладка з цегли силікатної білої	0,51	0,95	0,72	3,3
		Цементно піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне перекриття	Рубероїд	0,01	0,17	0,63	5,35
		Керамзитшлакобетон	0,1	0,41		
		Плита залізобетонна	0,22	2,04		
3	Вікна	Дерев'яні рами спарені в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
4	Підлога	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,37	3,75
		Дошка (паркет)	0,015	0,41		
Корпус «А2» (їдальня)						
1	Стіна	Кладка з цегли силікатної білої	0,51	0,95	0,72	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Стеля	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,17	5,35
3	Вікна	Дерев'яні рами спарені в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
4	Двері технічного входу	Металеві	0,003	58	0,17	0,5
	Двері тамбуру	Дерев'яні	0,04	0,35	0,28	
5	Підлога	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,46	3,75
		Керамічна плитка	0,005	1,1		
		Лінолеум	0,002	0,38		
Корпус «А2» (навчальні приміщення)						
1	Стіна	Кладка з цегли силікатної білої	0,51	0,95	0,72	3,3

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло-провідність $\lambda_i, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma np}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$R_{q \min}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
1	2	3	4	5	6	7
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне покриття	Рубероїд	0,01	0,17	0,63	5,35
		Керамзитошлакобетон	0,1	0,41		
		Плита залізобетонна	0,22	2,04		
3	Вікна	Дерев'яні рами спарені в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
		Пластикові однокамерні	Скло віконне 0,004		0,51	
4	Підлога	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,46	3,75
		Керамічна плитка	0,005	1,1		
		Лінолеум	0,002	0,38		
Корпус «А1» (спортивний зал)						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,62	0,81	0,95	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне покриття	Керамзитошлакобетон	0,13	0,41	0,69	4,95
		Плита залізобетонна	0,22	2,04		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,003	0,93		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
4	Підлога	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,42	3,75
		Дошка	0,03	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,003	0,93		
Корпус «А1» (навчальні приміщення)						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,62	0,81	0,95	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне покриття	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,17	4,95

№ п/п	Найменування конструктивного елемента	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло-провідність λ_i , $\frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma np}$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$R_{q \min}$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
1	2	3	4	5	6	7
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
		Пластикові однокамерні			0,51	
4	Аварійні двері	Дерев'яні	0,04	0,35	0,28	0,5
5	Підлога	Плита залізобетонна	0,22	2,04	0,46	3,75
		Керамічна плитка	0,005	1,1		
		Лінолеум	0,002	0,38		
Корпус «А» (центральна частина)						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,62	0,81	0,95	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне покриття	Дошка	0,03	0,35	1	4,95
		Цементно-вапняна штукатурка	0,003	0,93		
		Дерев'яне набірне покриття	0,25	0,35		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
		Пластикові однокамерні			0,51	
4	Аварійні двері	Металеві	0,045	58	0,17	0,5
	Вхідні двері	Філенчасті	0,04	0,35	0,4	
5	Підлога	Щебінь перлітовий	0,15	0,12	1,31	3,75
		Бетон	0,1	1,86		
		Керамічна плитка	0,005	1,1		
Корпус «А» (навчальні приміщення)						
1	Стіна	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,62	0,81	0,95	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,81		
2	Горищне покриття	Дошка	0,03	0,35	1	4,95
		Цементно-вапняна штукатурка	0,003	0,93		

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло- провідність $\lambda_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma np},$ $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{q \min},$ $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	2	3	4	5	6	7
		Дерев'яне набірне переkritтя	0,25	0,35		
3	Вікна	Дерев'яні рами з роздільним плетінням в два скла	Скло віконне 0,004	0,76	0,2	0,75
		Пластикові однокамерні			0,51	
4	Аварійні двері	Дерев'яні	0,04	0,35	0,28	0,5
5	Підлога	Лінолеум	0,003	0,38	1,1	3,75
		Дошка	0,03	0,35		
		Дерев'яне набірне переkritтя	0,25	0,35		
		Цементно-вапняна штукатурка	0,003	0,93		
		Дошка	0,004	0,35		

Додаток Б



введення
 19 - сталова
 20 - масл., кор.
 13 - подвал
 15 - керманіт
 каб. воен. кт соч.
 раб.

організація
 19 - сталова
 10 I, II, III, IV. силена кор.
 14 подвал.
 керманіт II ст. кт
 воен. кт суб. ав. к.

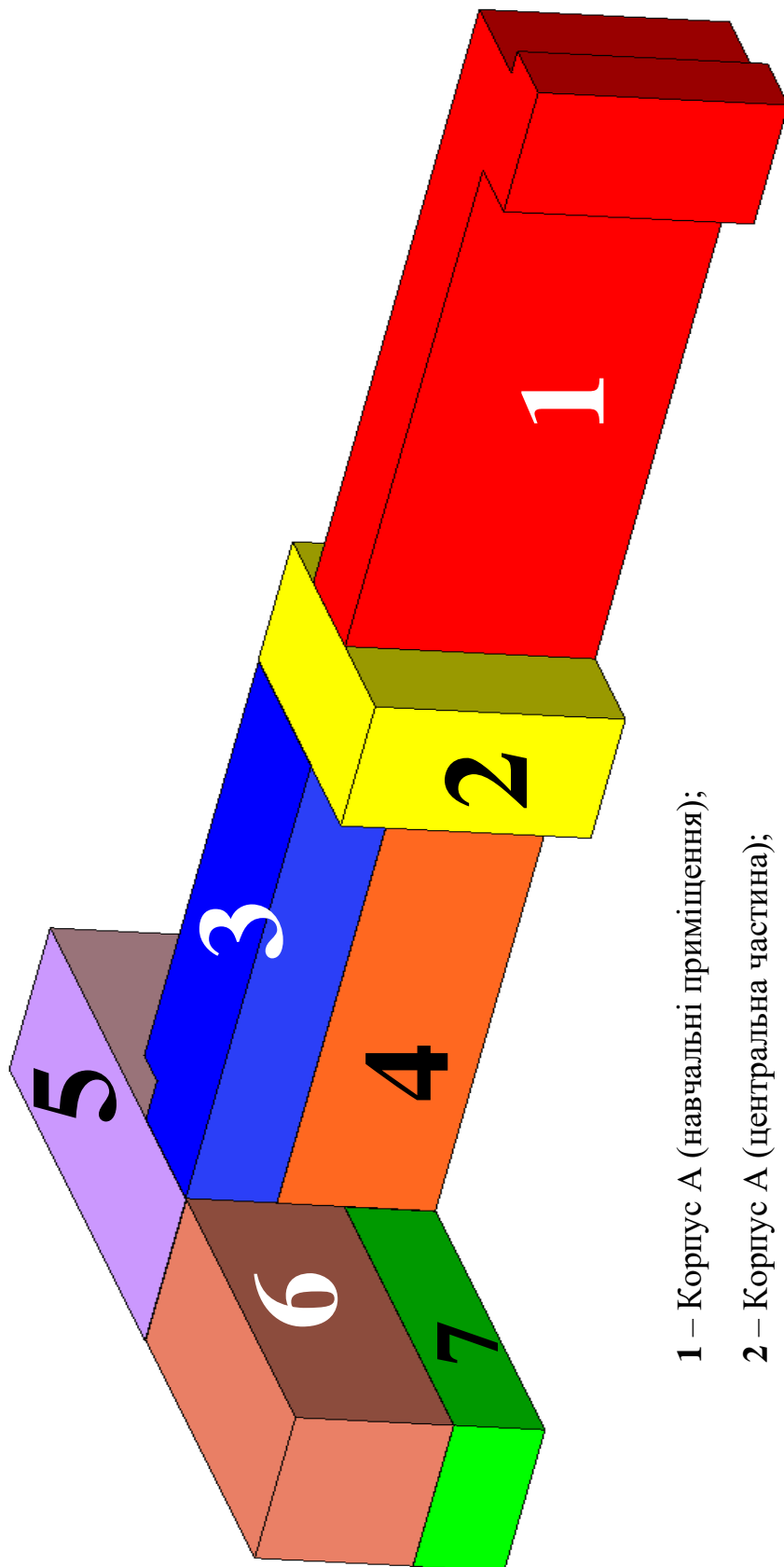
1-18 - загвинти
 19 - метричний
 20 - монометрич.
 21 - електрич.
 22 - водосп.

своєрешення
 Давидук А. Н.

Рисунок Б.1 – Схема теплового пункту

Додаток В

Схематичний поділ на блоки школи №18



1 – Корпус А (навчальні приміщення);

2 – Корпус А (центральна частина);

3 – Корпус А1 (спортивний зал);

4 – Корпус А1 (навчальні приміщення);

5 – Корпус А2 (навчальні приміщення);

6 – Корпус А2 (актова зала);

7 – Корпус А2 (їдальня).

Додаток Г

Термограми із зазначенням місць найбільших втрат теплової енергії на об'єкті обстеження

Тепловізійне обстеження будівлі Комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №18 було проведено 17 лютого 2015 року з використанням тепловізора FlukeTi25. У звіті надані термограми, які найбільш наочно демонструють типові проблемні місця будівель.

Мета обстеження – виявлення місць найбільших тепловтрат у навчальних корпусах Комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №18.

На момент проведення тепловізійного обстеження температура навколишнього середовища становила -7°C . Середня температура всередині приміщень становила 19°C .

У додатку наведені термограми, які показують типові проблеми по тепловтратам, що притаманні майже всім огорожувальним конструкціям.

Під час тепловізійного обстеження було зроблено 73 термограми. Тепловізійне обстеження проводилося по наступним блокам навчальних корпусів (див. додаток В):

- 1** – Корпус А (навчальні приміщення);
- 2** – Корпус А (центральна частина);
- 3** – Корпус А1 (спортивний зал);
- 4** – Корпус А1 (навчальні приміщення);
- 5** – Корпус А2 (навчальні приміщення);
- 6** – Корпус А2 (актова зала);
- 7** – Корпус А2 (їдальня).

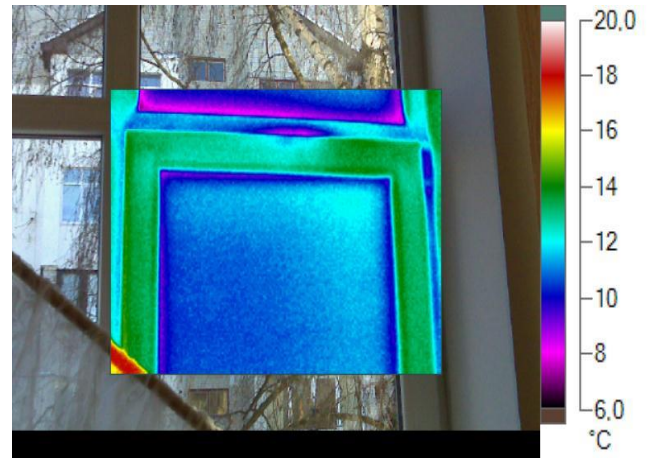
Тепловізійне обстеження будівель ЗОШ №18

Новий корпус («А2 (навчальні приміщення і актова зала)»)

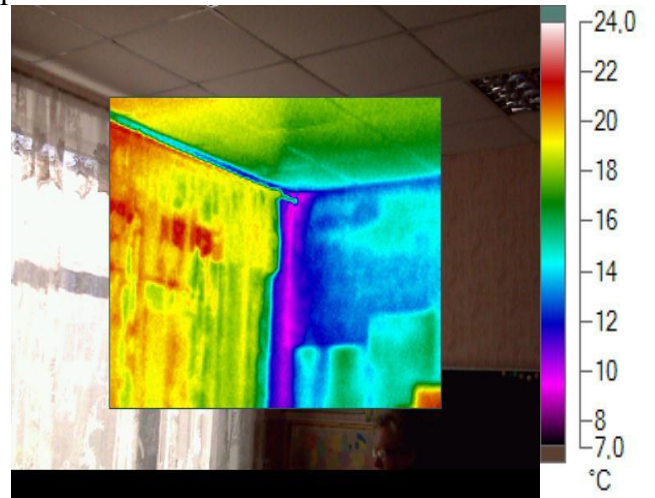
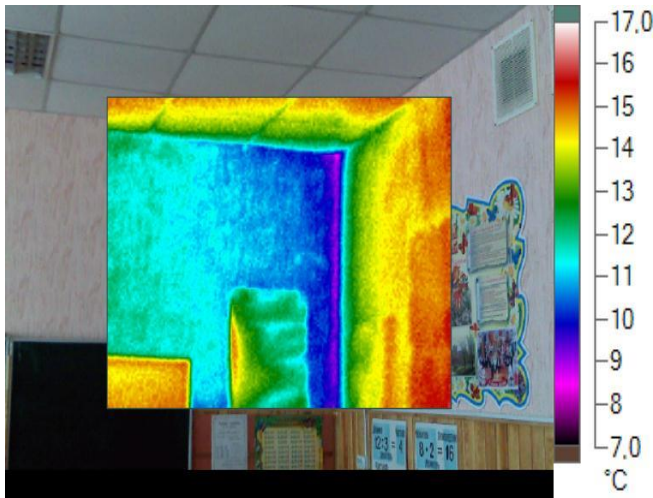
-Кабінет №219



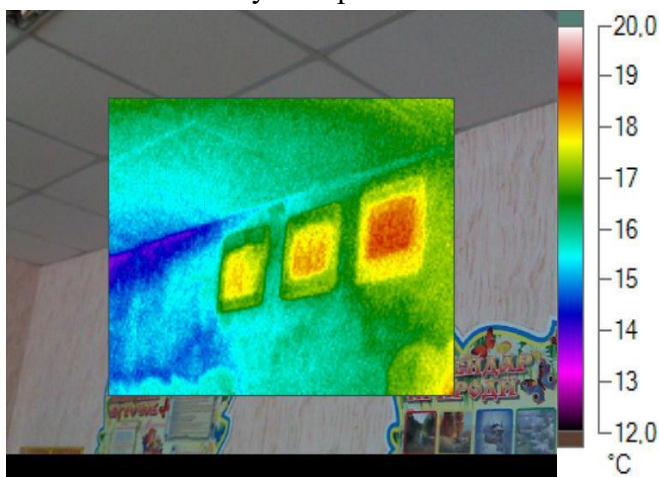
Робота опалювального приладу задовільна.



Наявні тепловтрати крізь місця нещільного прилягання скла до віконних стулок із-за неякісного стику штапиків. Холодне повітря також проникає у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами.

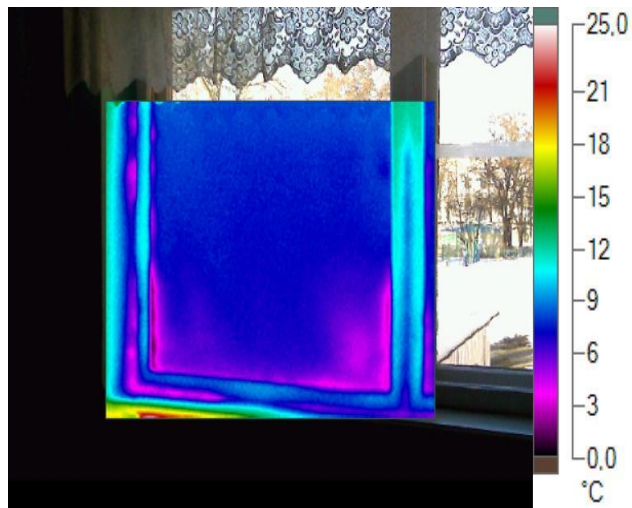
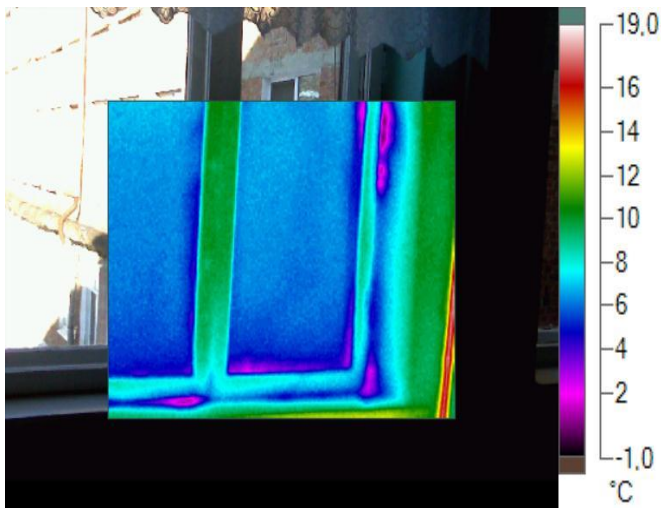


Значна різниця температур між стінами та низька температура кутового з'єднання обумовлена наявністю вологи у матеріалі зовнішньої стіни.



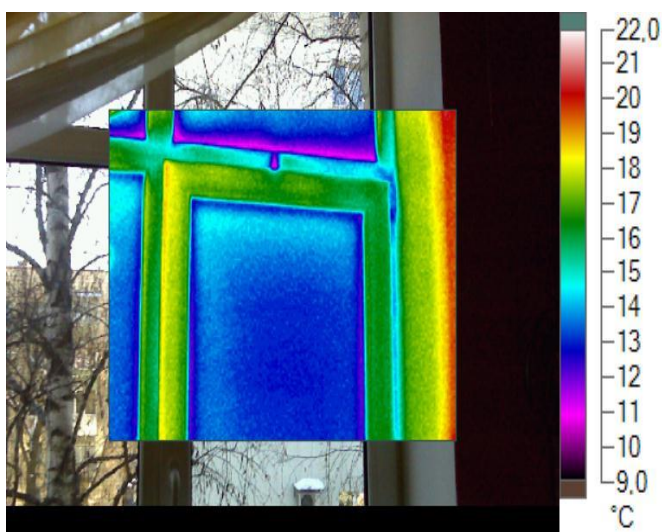
Низька температура кутового з'єднання між перекриттям і стіною обумовлена наявністю вологи у матеріалі зовнішньої стіни. Спостерігаються відхилення у роботі системи вентиляції (двох зліва) та задовільна робота третьої (справа).

- Коридор (біля стоматологічного кабінету)



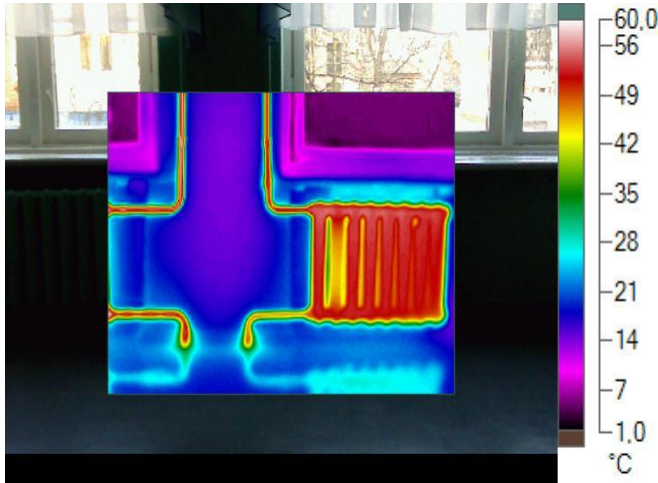
Тепловтрати через місця нещільного прилягання скла до віконних стулок із-за неякісного стику штапиків та проникнення холодного повітря у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами.

-Кабінет №217

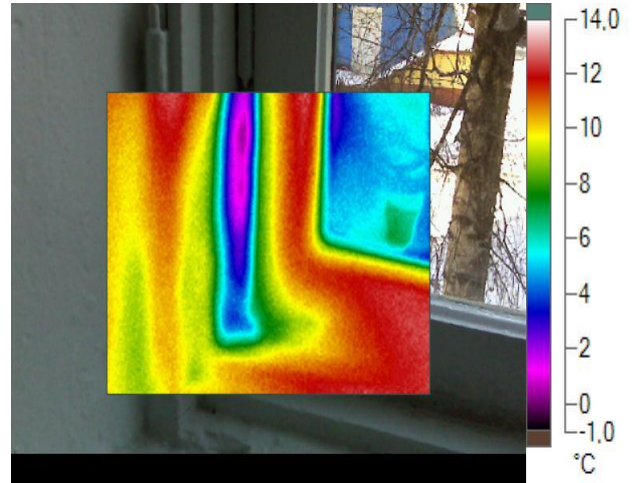


Тепловтрати через нещільності прилягання скла до віконних стулок.

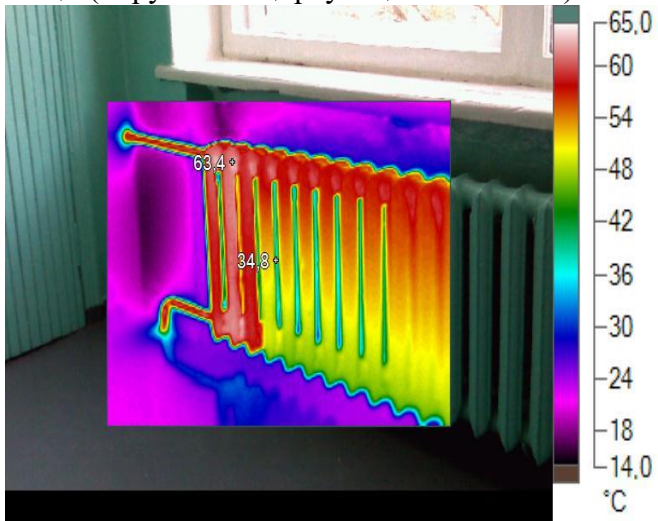
-Коридор (актова зала)



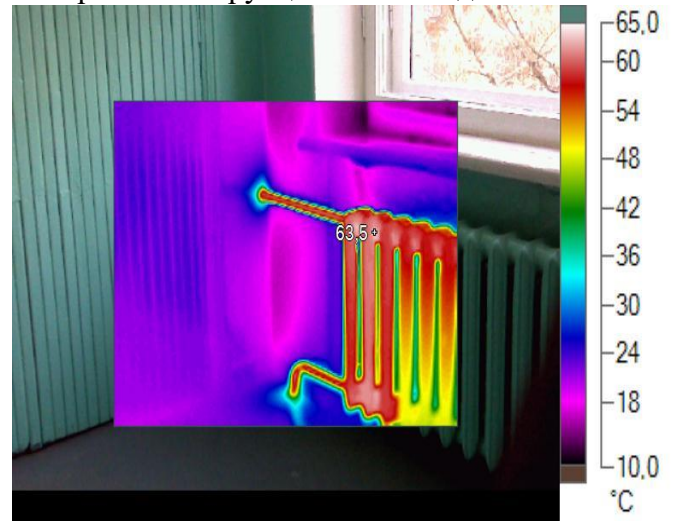
Робота опалювального приладу задовільна. Спостерігається незадовільна робота однієї секції (порушення циркуляції теплоносія).



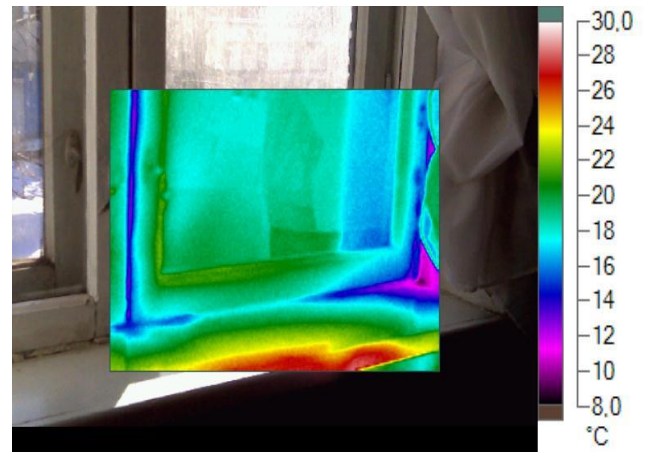
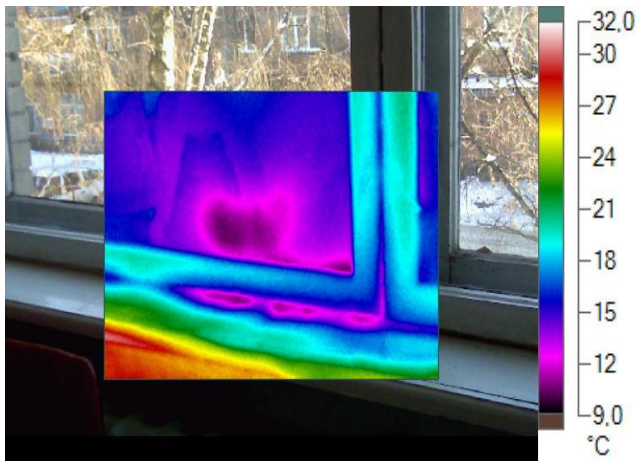
Значні тепловтрати через нещільності прилягання стулок вікна до основної рами. Стан застарілої конструкції вікон незадовільний.

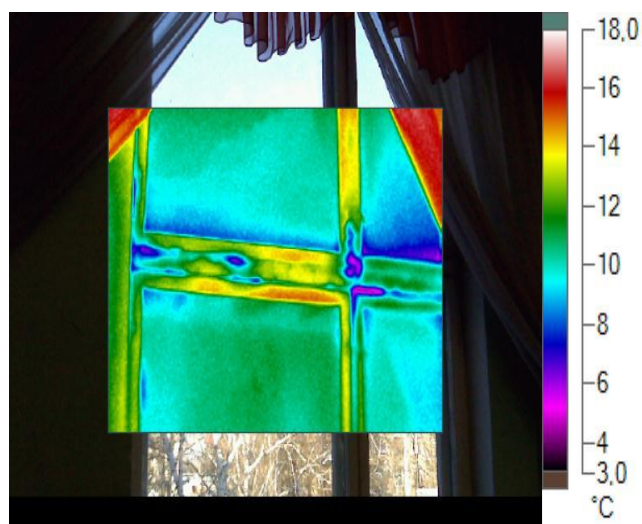
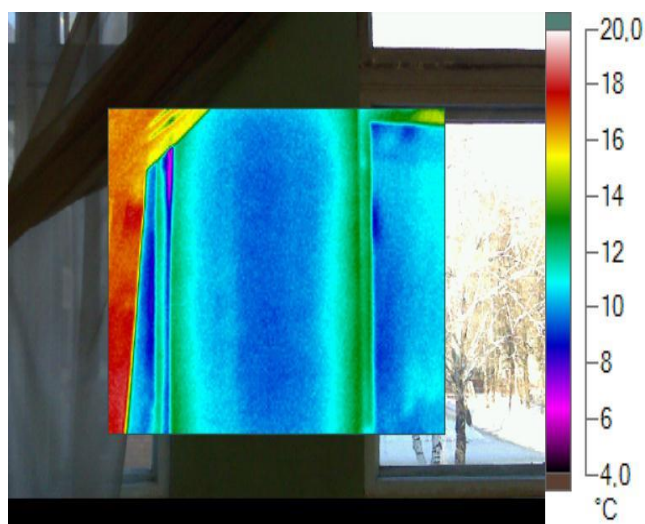


Нерівномірне прогрівання поверхні опалювального приладу внаслідок порушення у ньому циркуляції теплоносія (можливе внутрішнє забруднення). Наявність холодної плями на стіні біля опалювального приладу зумовлене проникненням вологи до матеріалу зовнішньої стіни.



-Актова зала

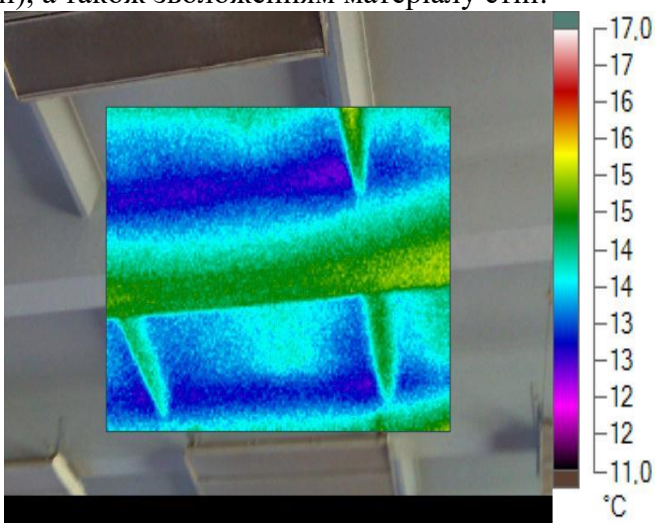
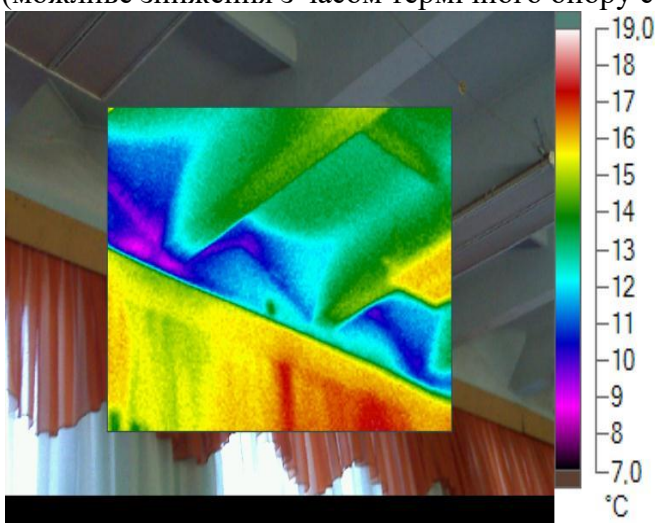




Термограми віконних отворів даного приміщення виявили місця значних тепловтрат крізь конструктивні елементи вікон, а саме:

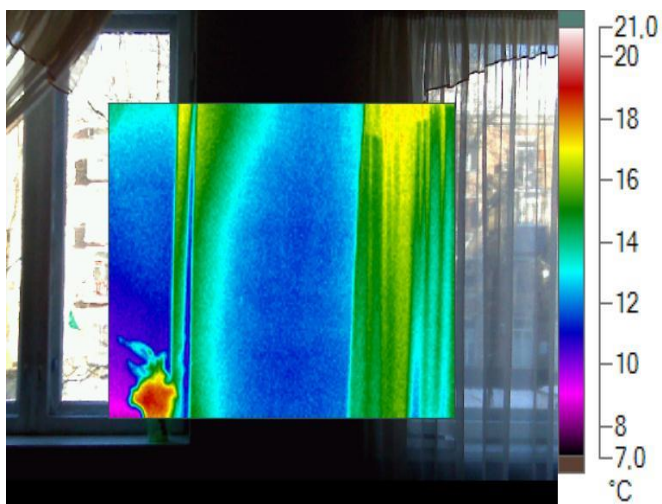
- нещільність прилягання штапиків до скла;
- нещільність прилягання віконної стулки до віконної рами;
- стикове з'єднання стіни і віконної рами;
- застаріла конструкція вікон;
- виявлення в деяких місцях руйнування конструкції (тріщини скла, деформація віконних стулок).

Втрати тепла через зовнішні стіни, зумовлені незадовільними теплозахисними властивостями (можливе зниження з часом термічного опору стіни), а також зволоженням матеріалу стін.

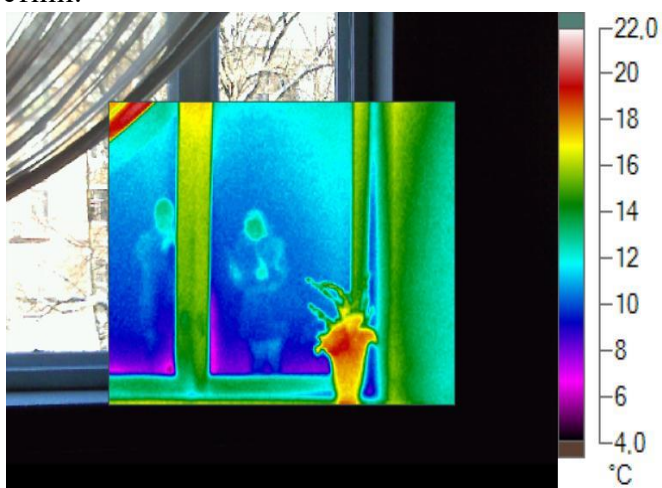
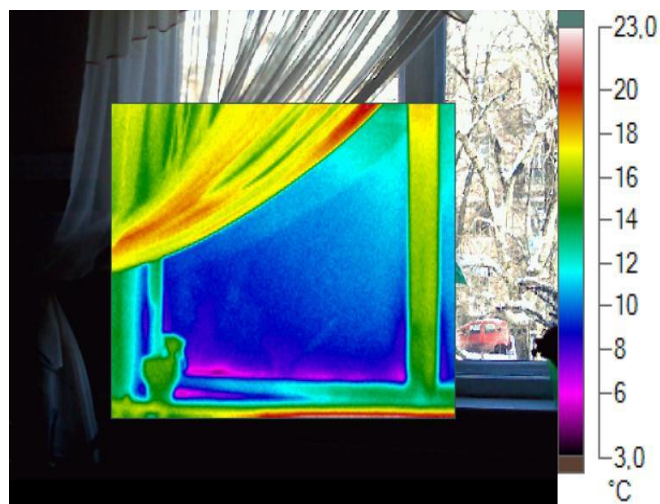


Наявність значного зниження температури у кутових з'єднаннях між внутрішньою стелею та зовнішнім дахом, є наслідком потрапляння у конструкцію стелі вологи з зовнішньої сторони будівлі.

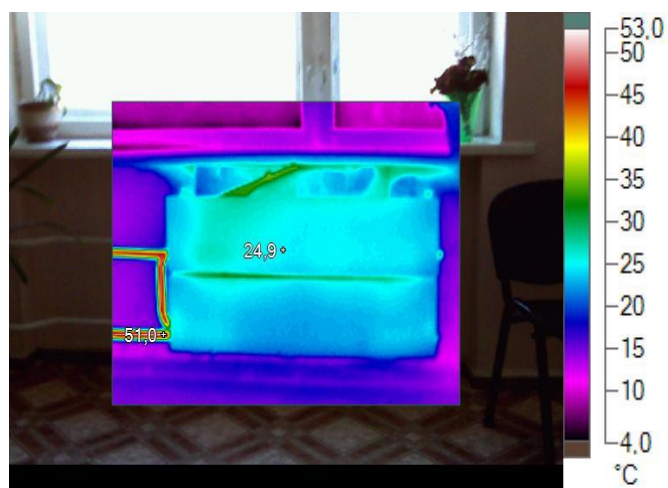
-Бухгалтерія



Холодна стіна є наслідком зволоження матеріалу стіни.

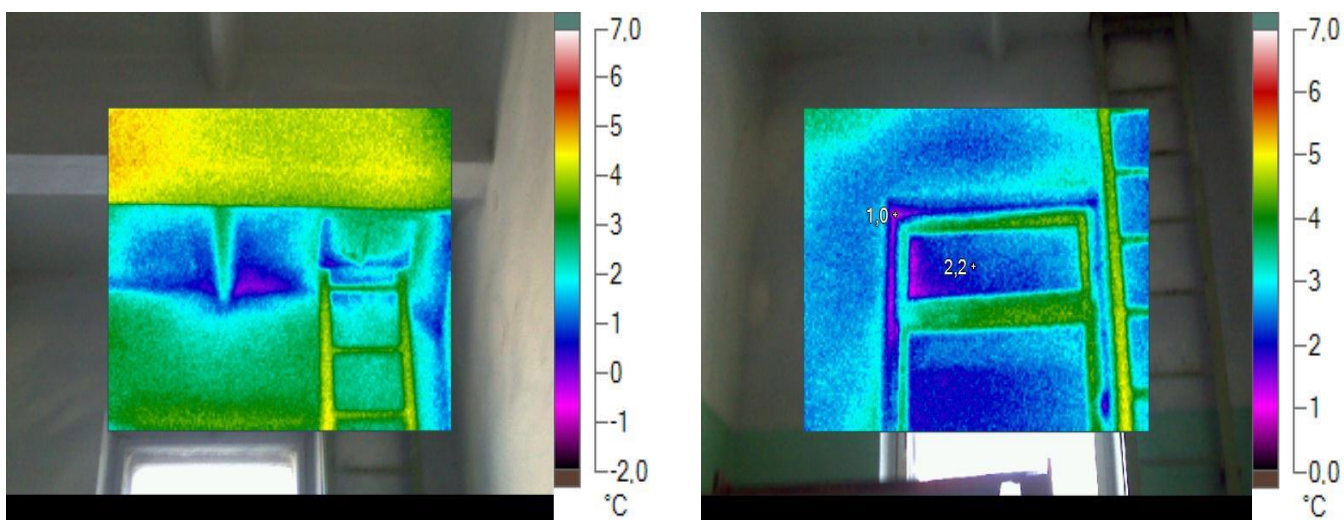


Значне потрапляння холодного повітря до приміщення крізь пошкоджені ущільнення у віконних конструкціях, обумовлює підвищення тепловтрат в ньому.



Опалювальний прилад не працює із-за відсутності циркуляції теплоносія (можлива наявність повітряної пробки).

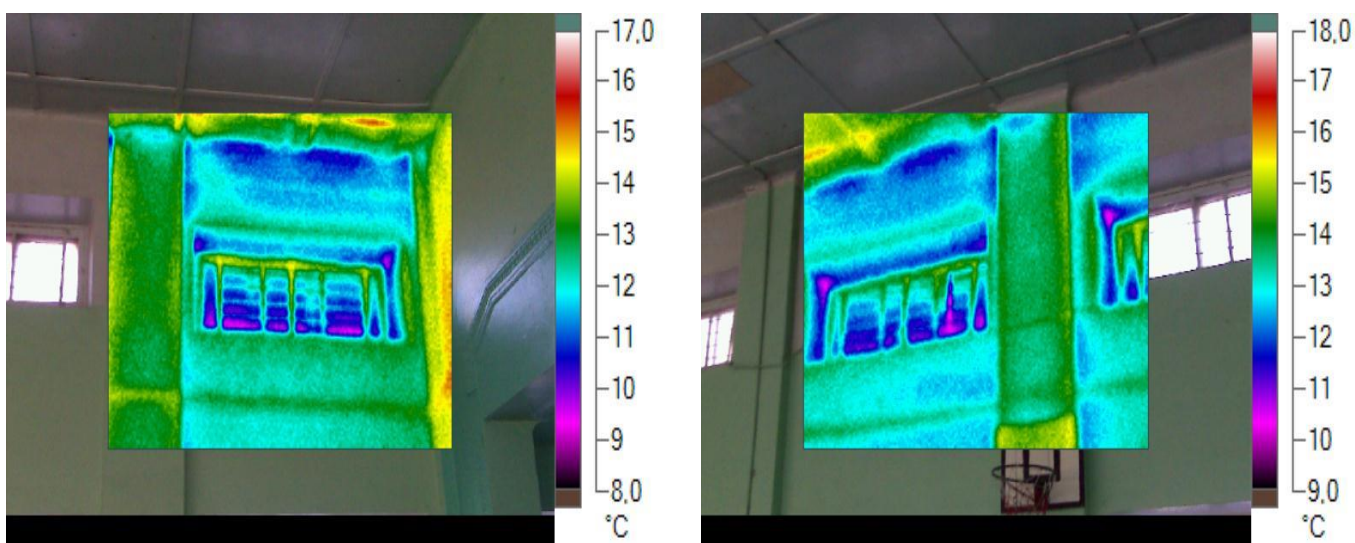
- Сходові клітка (від бухгалтерії до актової зали)

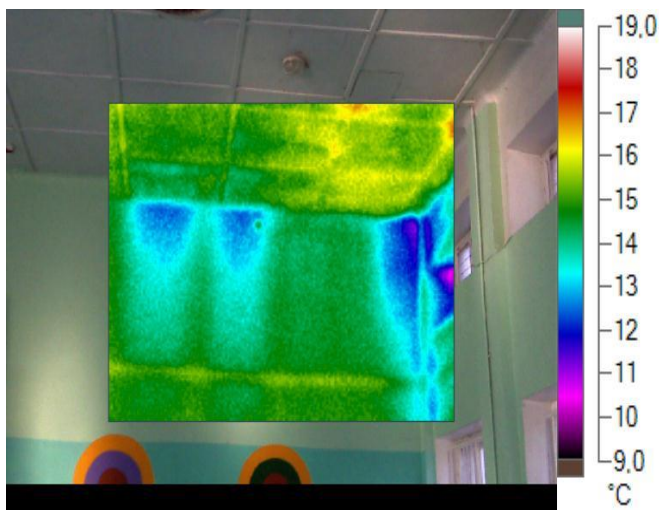


Наявність значного зниження температури у кутових з'єднаннях між внутрішньою стелею та зовнішнім дахом, є наслідком потрапляння у конструкцію стелі вологи з зовнішньої сторони будівлі. Тепловтрати крізь місця прилягання віконних стулок до віконної рами та нещільного стику штапиків зі склом.

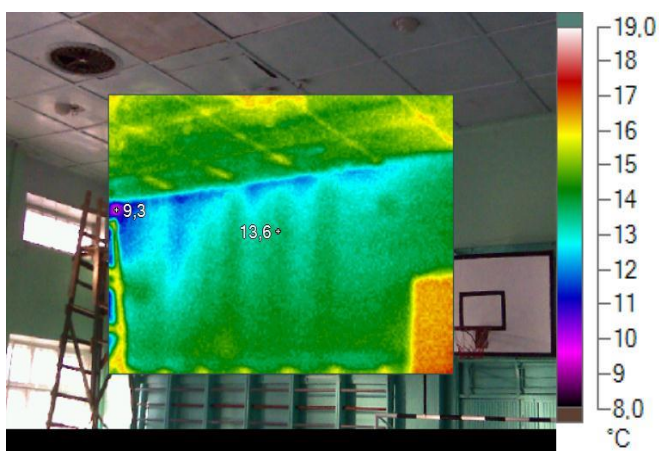
Старий корпус («А1 (спортивна зала)»)

-Спортивна зала

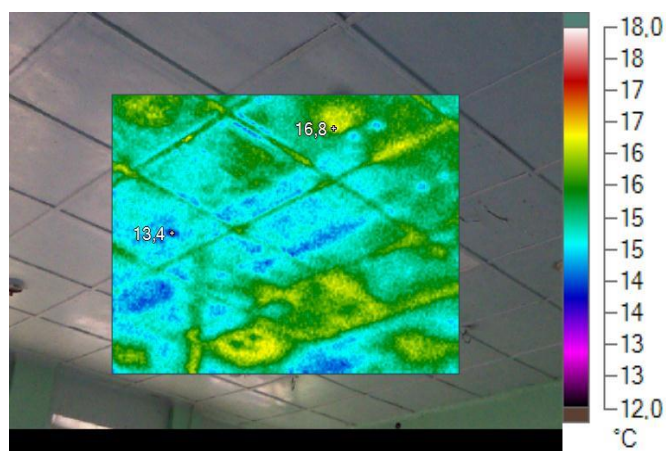




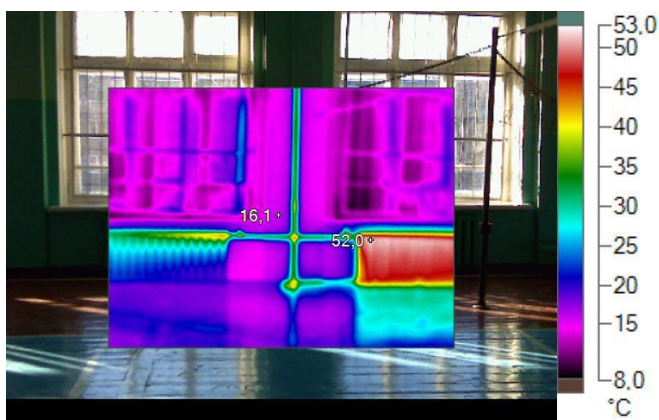
Значна різниця температур між стінами та низька температура кутових з'єднань обумовлена наявністю вологи у матеріалі зовнішньої стіни. Холодні плями на стіні є наслідком насичення стіни вологою. Наявні тепловтрати крізь місця нещільного прилягання скла до віконних стулок із-за неякісного стику штапиків і застарілої конструкції вікон. Холодне повітря також проникає у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами. Велика кількість віконних конструкцій зумовлює значні втрати тепла у приміщенні.



Наявність значного зниження температури у кутових з'єднаннях між внутрішньою стелею та зовнішнім дахом, є наслідком потрапляння у конструкцію стелі вологи з зовнішньої сторони будівлі.



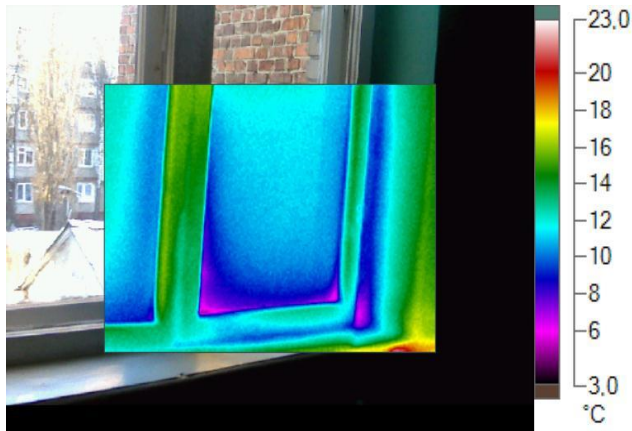
Тепловізійне обстеження виявило втрати тепла через стелю. Холодні плями, що обумовлені наявністю вологи у покривному матеріалі даху (застаріла конструкція закладу та не проведення ремонтних робіт по оновленню дахового покриття).



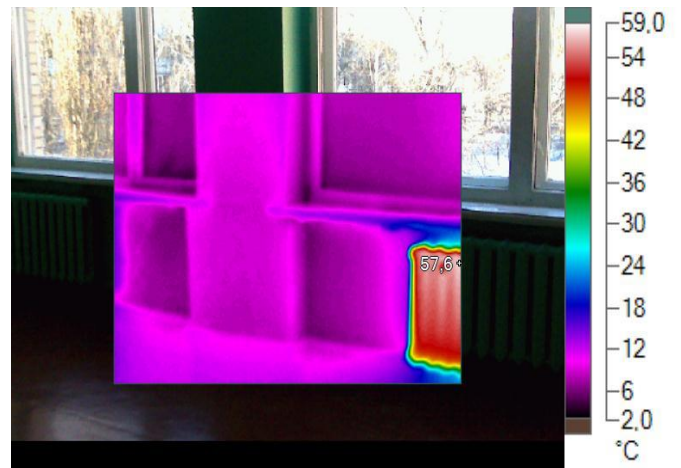
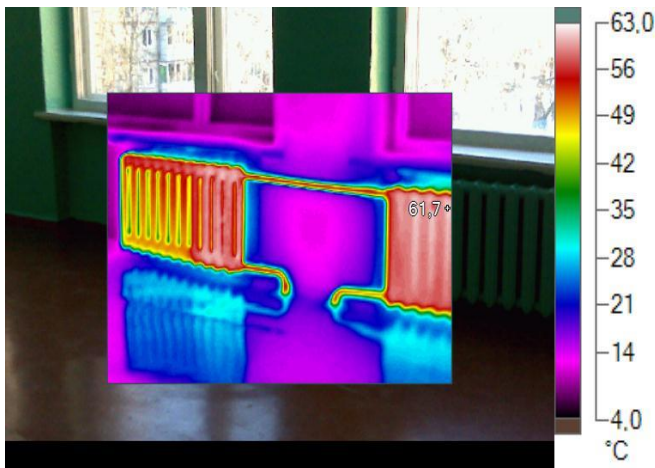
Обидва опалювальні прилади під'єднанні з різних боків до однієї розподільчої труби, але робота приладів різна. Опалювальний прилад (зліва) не працює внаслідок відсутності циркуляції теплоносія (можлива наявність повітряної пробки). Опалювальний прилад (справа) працює задовільно. Все це обумовлює недостатнє надходження тепла у приміщення.

Новий корпус («А2 (навчальні приміщення)»)

- Коридор (біля кабінету №315)

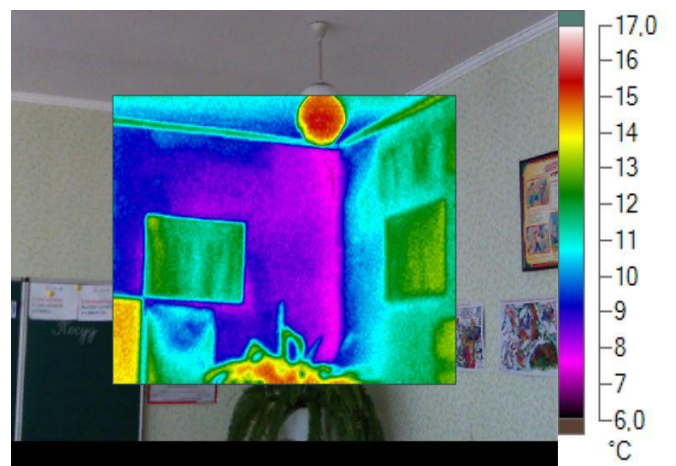
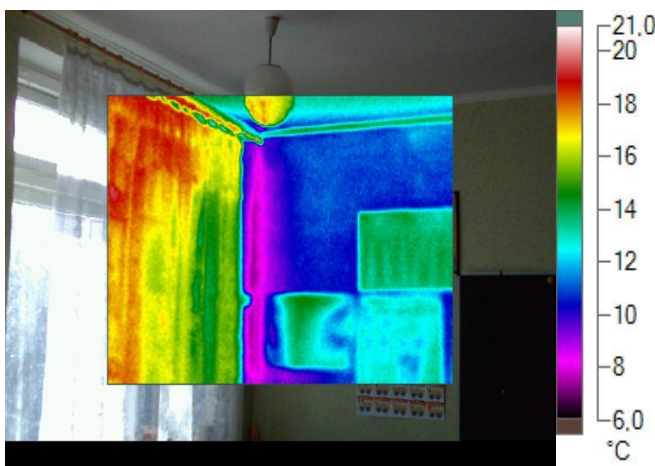


Тепловтрати через місця нещільного прилягання скла до віконних стулок із-за неякісного стику штапиків та проникнення холодного повітря у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами. Наслідок застарілої конструкції вікон.



Робота опалювальних приладів задовільна, але спостерігається відхилення у роботі опалювального приладу (зліва) нерівномірне прогрівання поверхні внаслідок порушення у ньому циркуляції теплоносія (можлива наявність повітряної пробки). Холодні стіни є наслідком проникнення вологи до матеріалу зовнішньої стіни.

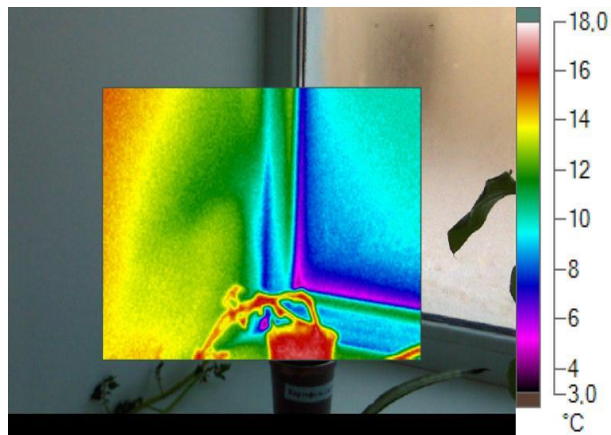
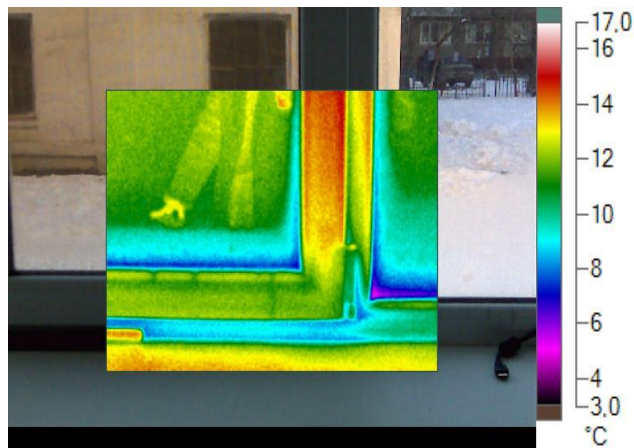
-Кабінет №317



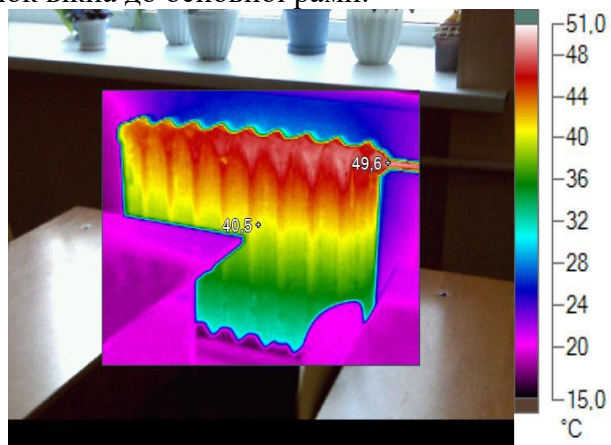
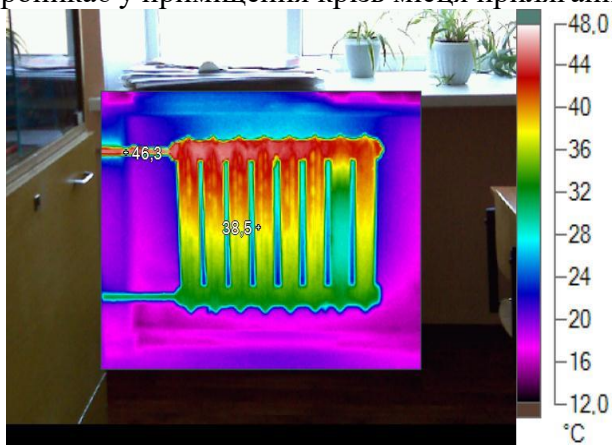
Наявність значного зниження температури у кутових з'єднаннях між внутрішніми стінами та зовнішніми, а також, між двома зовнішніми стінами, є наслідком насичення конструкції стін вологою з зовнішньої сторони будівлі.

Старий корпус («А1» та «А»)

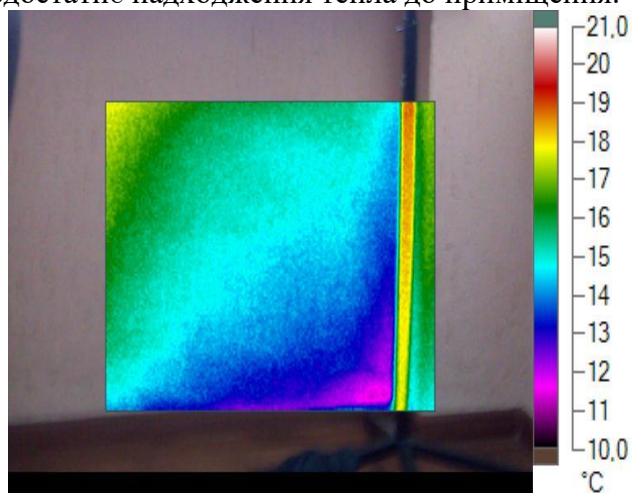
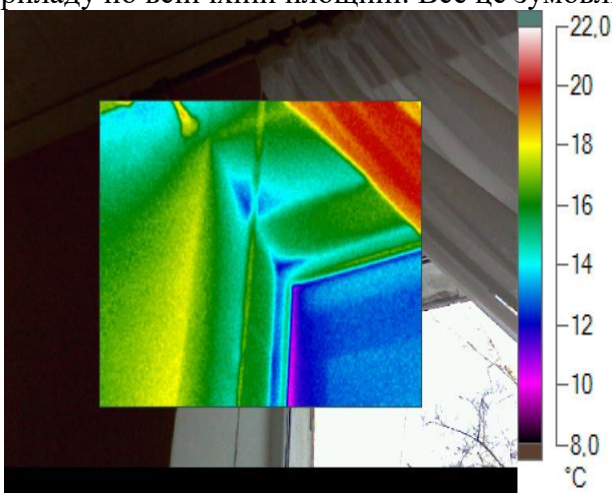
-Кабінет №117



Нещільність прилягання скла до конструктивних елементів віконного отвору, призводить до інтенсивної інфільтрації холодного повітря в середину приміщення. Холодне повітря також проникає у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами.



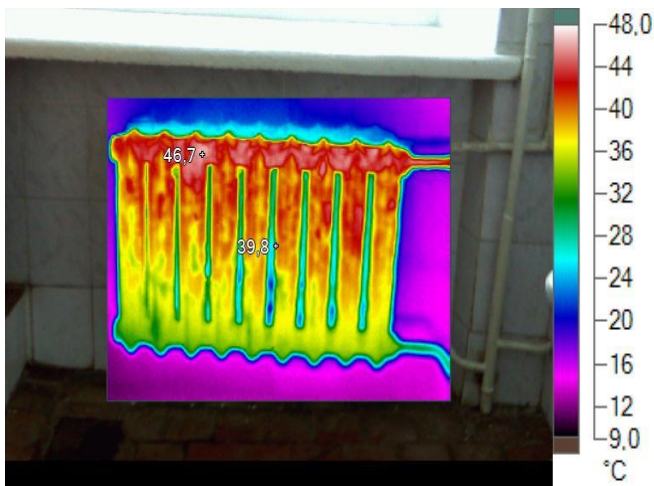
Робота опалювальних приладів незадовільна. Нерівномірне прогрівання поверхні опалювального приладу внаслідок порушення у ньому циркуляції теплоносія, спричиняє недогрівання всіх секцій приладу по всій їхній площині. Все це зумовлює недостатнє надходження тепла до приміщення.



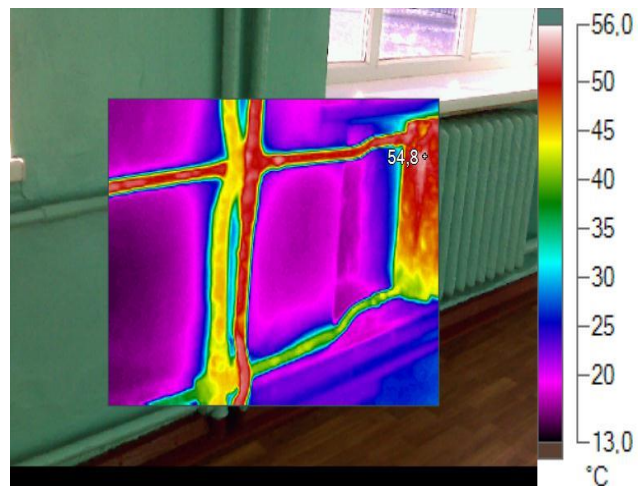
Тепловтрати крізь місце прилягання віконних стулок до віконної рами та нещільного стику штапиків зі склом, а також через зниження температури в кутовому з'єднанні, що обумовлене потраплянням у конструкцію стіни вологи з зовнішньої сторони будівлі.

Низька температура кутового з'єднання обумовлена наявністю вологи у матеріалі зовнішньої стіни будівлі.

-Туалетна кімната (чоловіча) та коридор

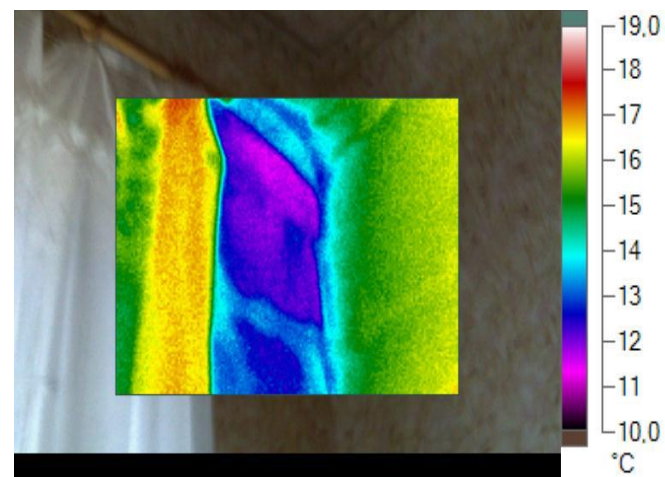
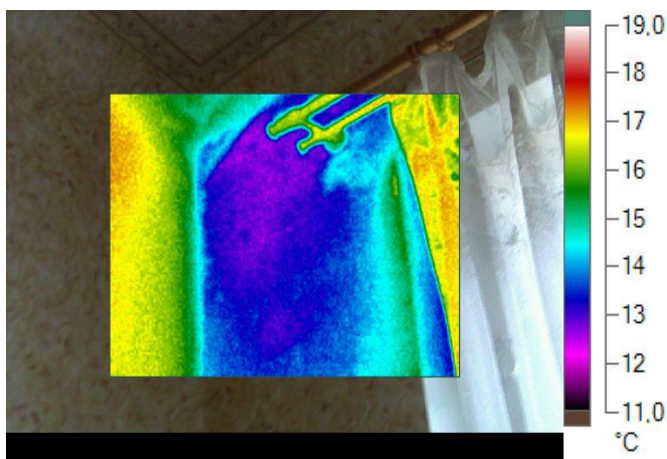


Робота опалювального приладу незадовільна. Порушена циркуляція теплоносія (можлива наявність повітряної пробки).



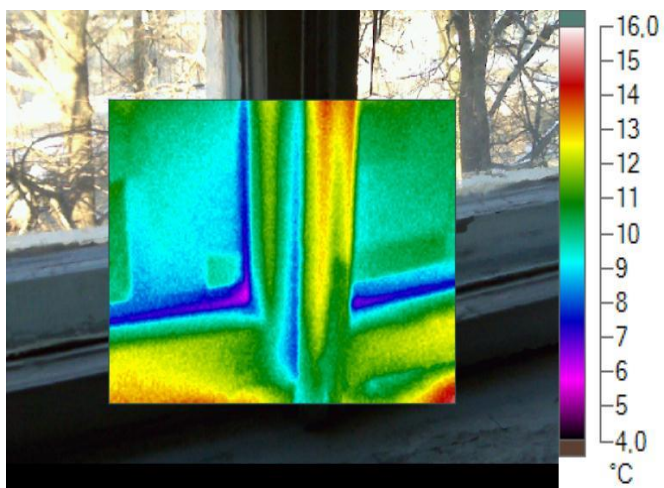
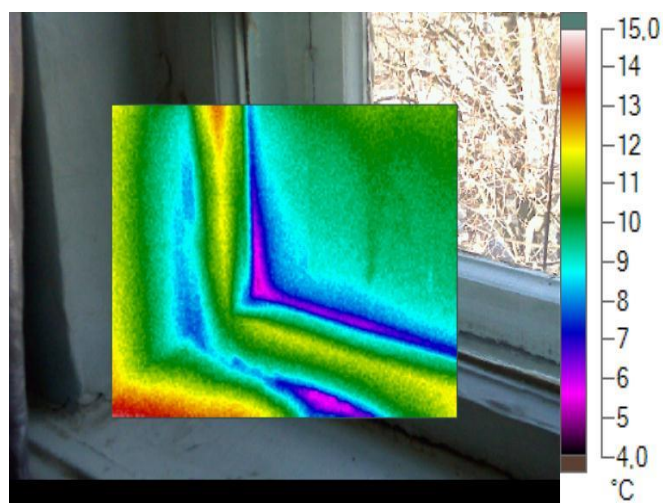
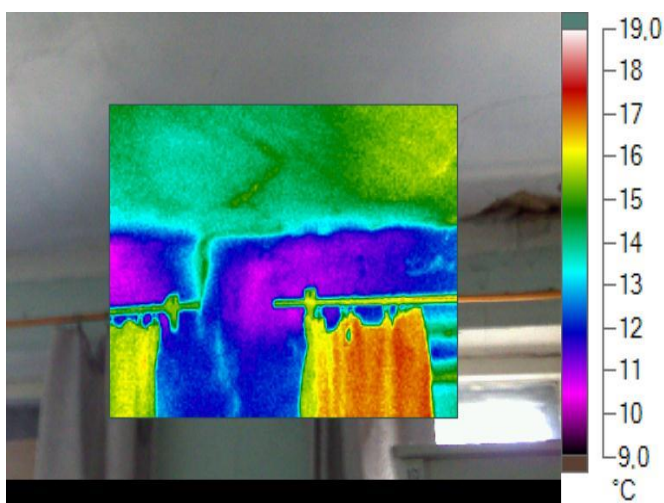
Робота опалювального приладу задовільна, але спостерігається недогрів в нижній частині. Незадовільна робота стояка (зліва). Все це зумовлене порушенням циркуляції теплоносія.

-Кабінет заступника директора з господарчої частини

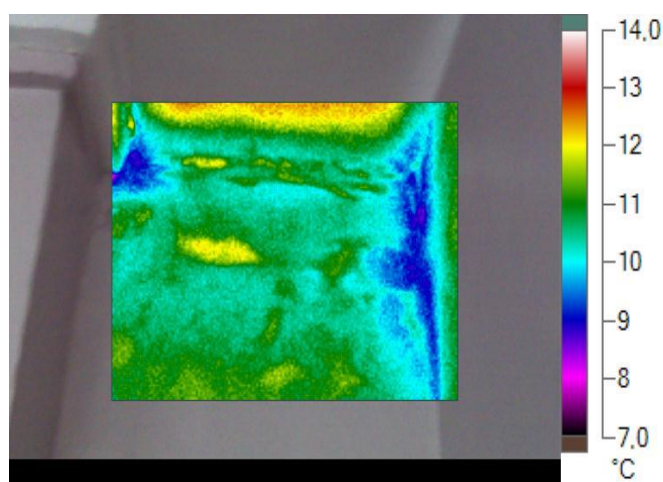
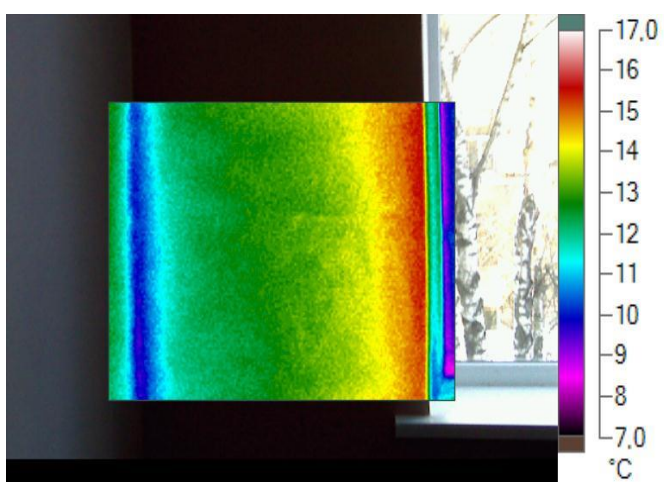


Холодні зовнішньої стіни та кутові з'єднання є наслідком наявності значної кількості вологи у її матеріалі. Північна сторона орієнтації кабінету обумовлює недостатнє надходження тепла до приміщення.

-Кабінет хімії

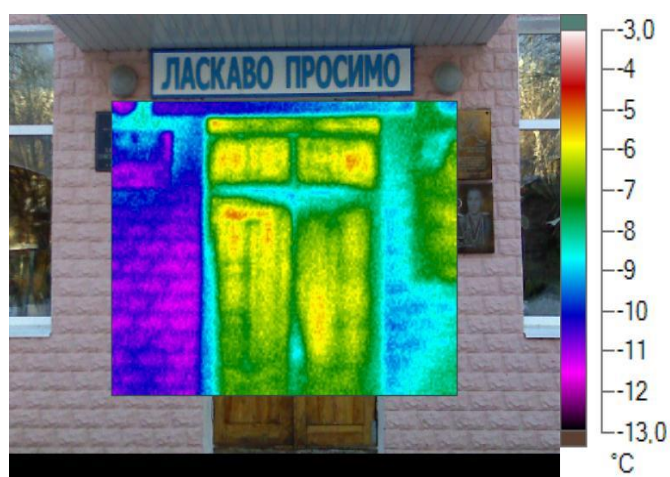
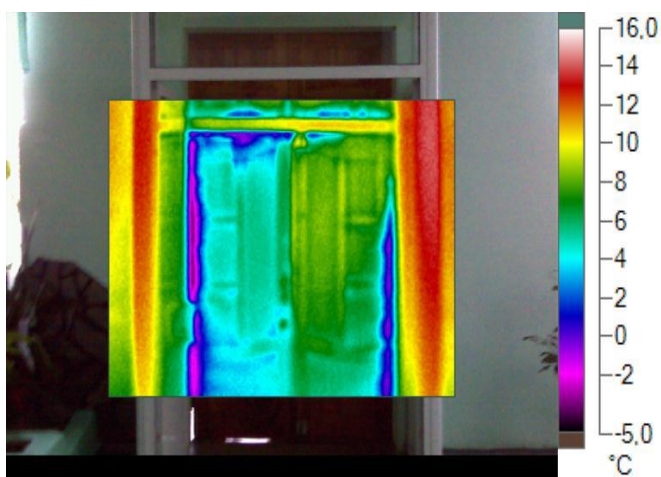


Тепловізійна зйомка виявила значні втрати тепла через зовнішні стіни. Холодні стіни є наслідком наявності значної кількості вологи у її матеріалі. Наявність вологи спостерігається між стиком внутрішньої стіни і стелею, а також в матеріалі самої стелі, що обумовлено руйнацією стелі горіщного перекриття. Нещільність прилягання скла до конструктивних елементів віконного отвору, призводить до інтенсивної інфільтрації холодного повітря в середину приміщення. Холодне повітря також проникає у приміщення крізь місця прилягання стулок вікна до основної рами. Стан приміщення незадовільний, потребує реконструкції стелі горіщного перекриття та ремонту в приміщенні.



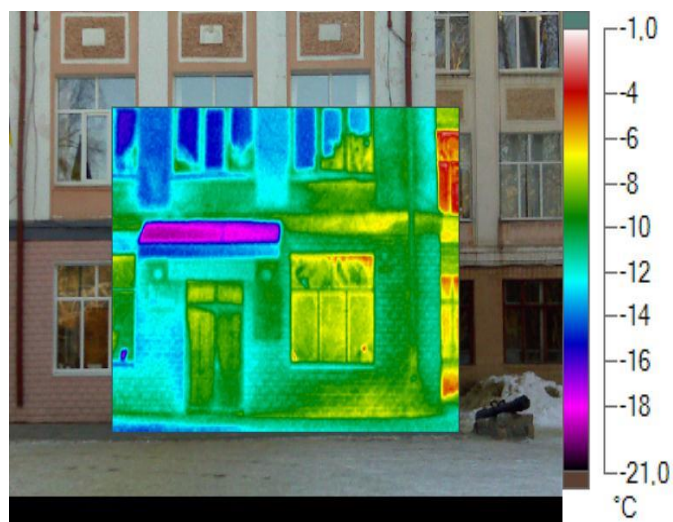
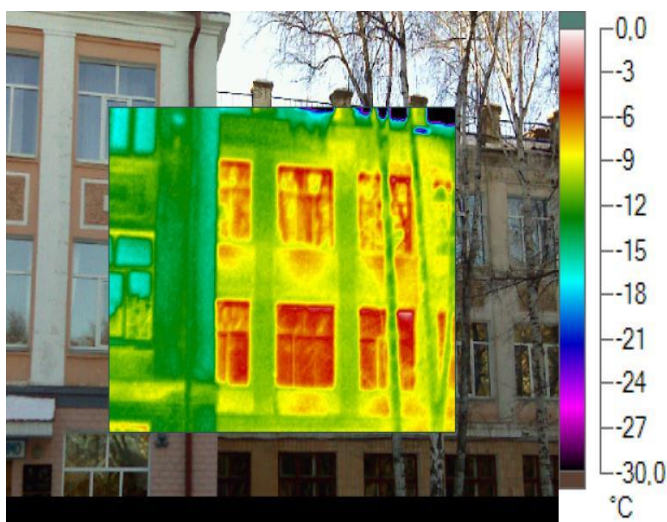
Тепловтрати через місця нещільного прилягання скла до віконних стулок із-за неякісного стику штапиків. Наявність значного зниження температури у кутових з'єднаннях, є наслідком потрапляння у конструкцію стін вологи з зовнішньої сторони будівлі. Зумовлює значні втрати тепла в приміщенні і потрапляння холоду в нього.

-Центральний вхід

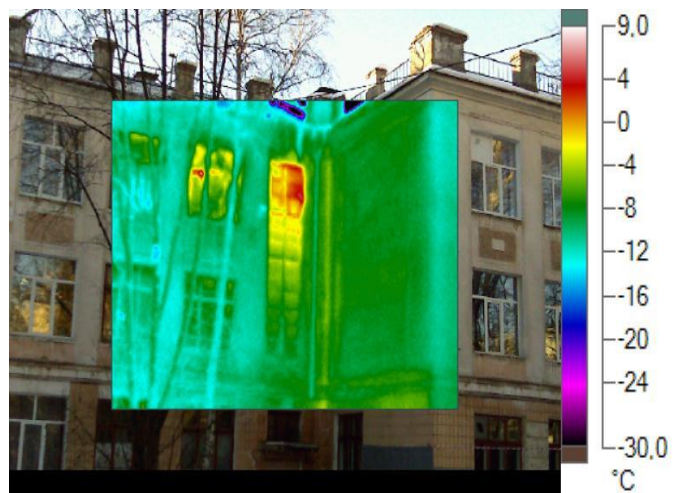


Значні тепловтрати через нещільності прилягання дверних отворів. Основне місце надходження холодного повітря – вхідні двері закладу.

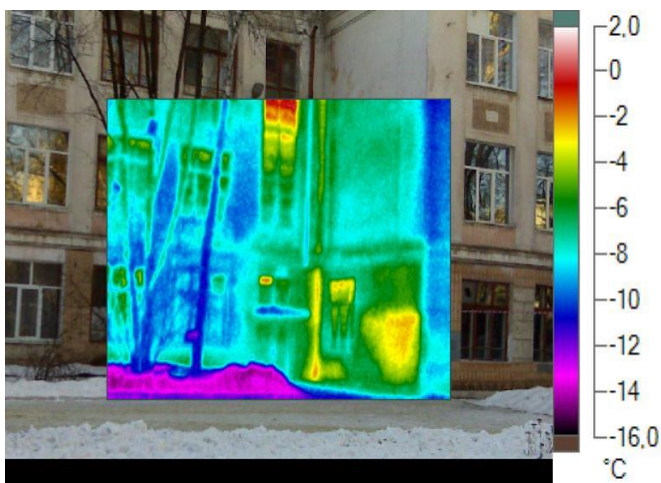
Зовнішні стіни старого корпусу («А»)



Втрати тепла відбуваються через зовнішні поверхні стін. Вікна також є джерелами тепловтрат. Відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення, що свідчить про значну втрату її опору теплопередачі внаслідок невідповідності нормам значення термічного опору стін.

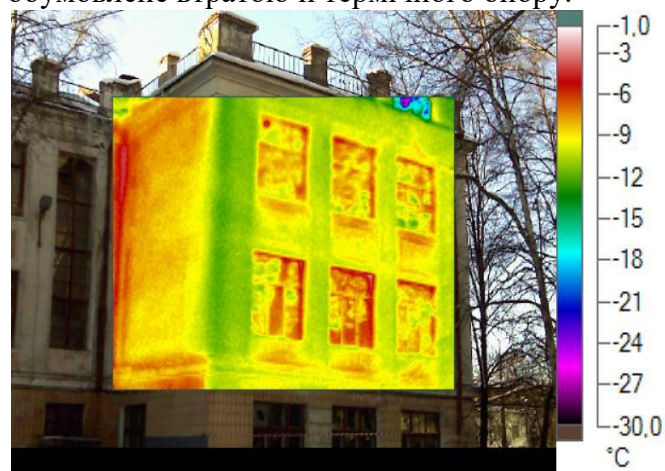


Тепловий слід у верхній частині вікна на поверхні зовнішньої стіни свідчить про втрату тепла крізь незадовільний стан віконної рами.

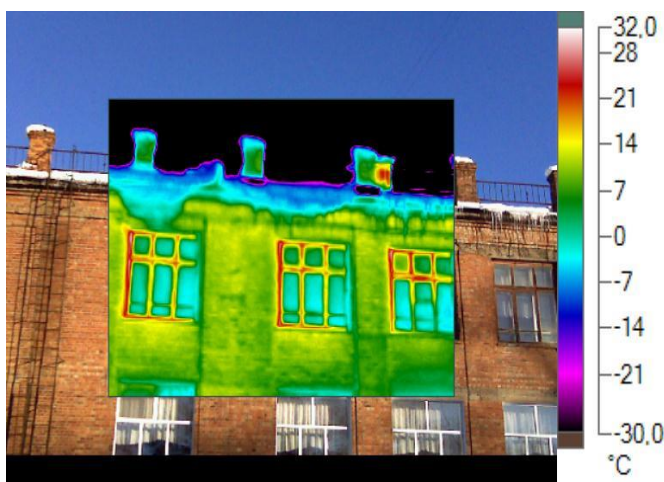


Значні втрати відбуваються через стіни в місцях розташування у приміщенні опалювального приладу, що є причиною недостатньої товщини стіни.

Підвищення температури на поверхні віконної конструкції є свідченням значних втрат тепла через застарілу конструкцію вікон. Втрати також відбуваються через зовнішні стіни, що обумовлене втратою її термічного опору.

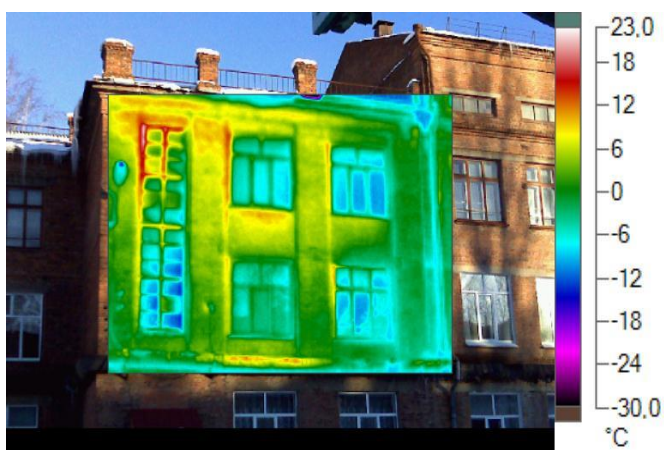


Підвищена температура зовнішньої поверхні стіни (особливо у кутовому з'єднанні стін) свідчить про втрату стінами теплозахисних властивостей. Втрати тепла з приміщення відбуваються також через віконні конструкції. Також відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення.



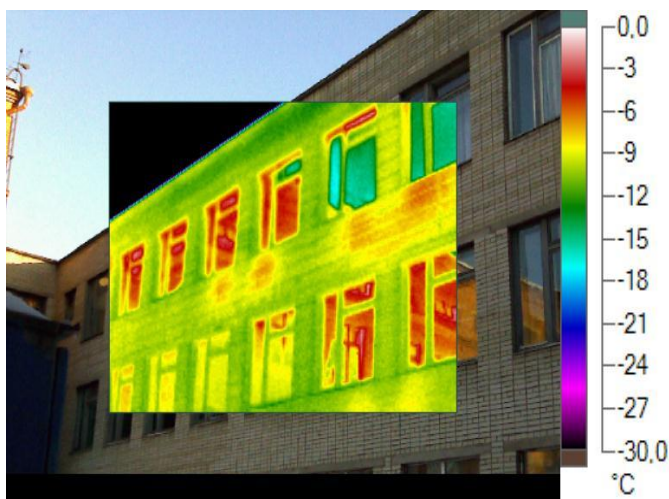
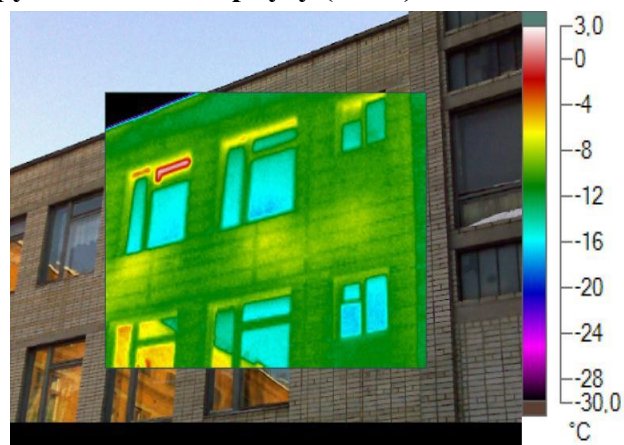
Незадовільний стан застарілої конструкції дерев'яних вікон обумовлює значні втрати тепла з приміщень.



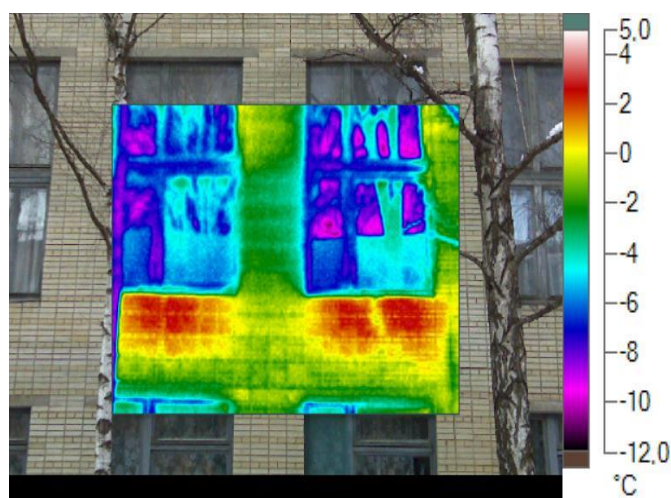
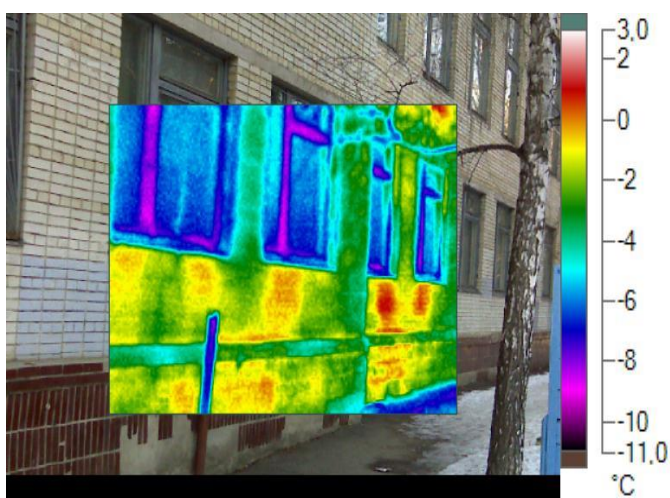
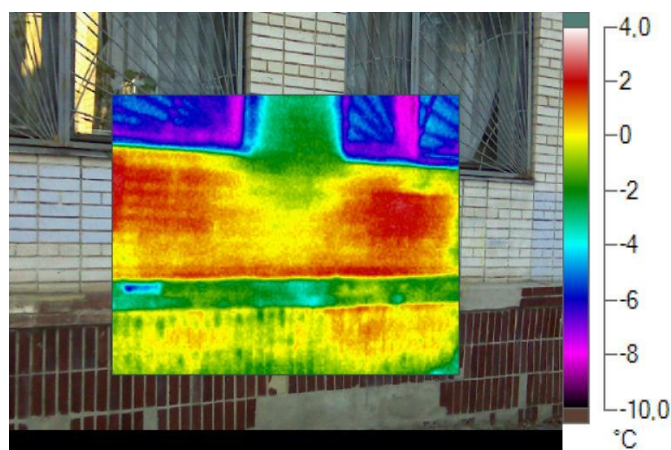
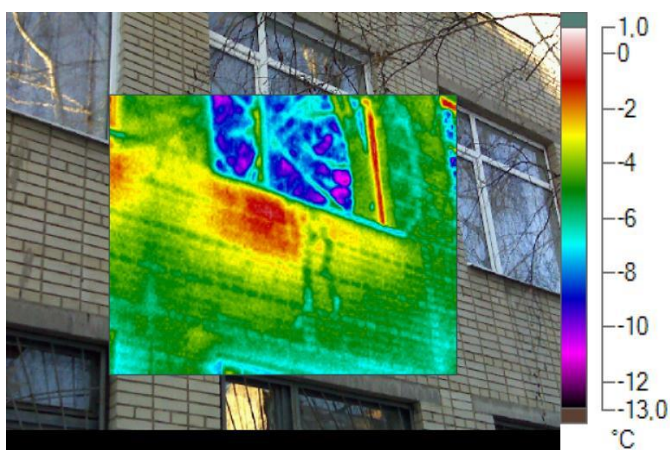


Тепловий слід на стику вікна з зовнішньою стіною свідчить про втрату тепла крізь незадовільний стан віконної рами. Втрати тепла з приміщення відбуваються через невідповідність опору теплопередачі зовнішньої стіни сучасних нормам.

Зовнішні огорожувальні конструкції нового корпусу («А2»)

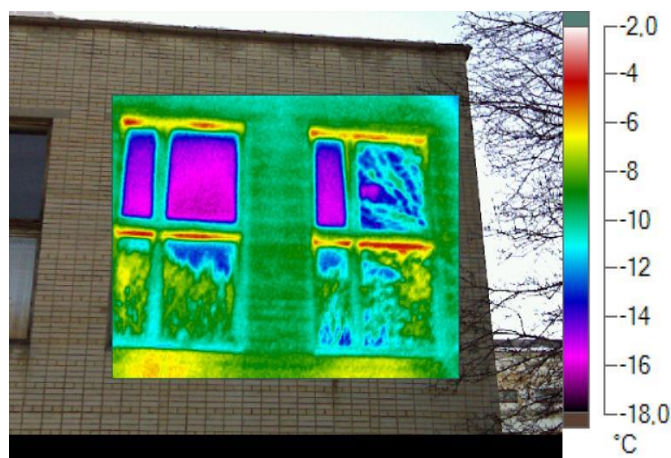
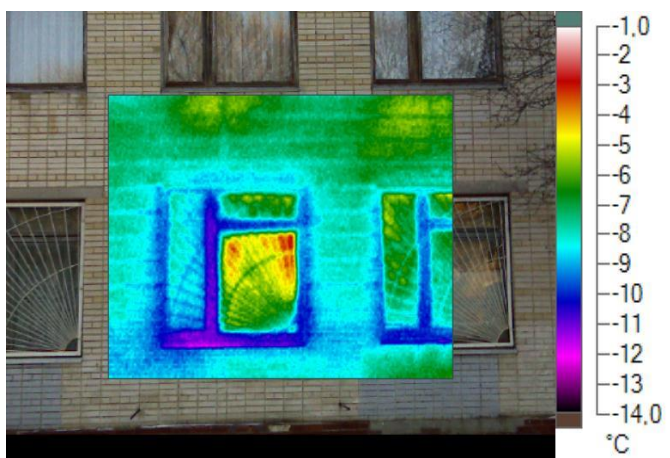


Неякісний монтаж віконних конструкцій обумовлює значні втрати тепла з приміщень (нещільність прилягання віконних рам до стіни). Також відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення.



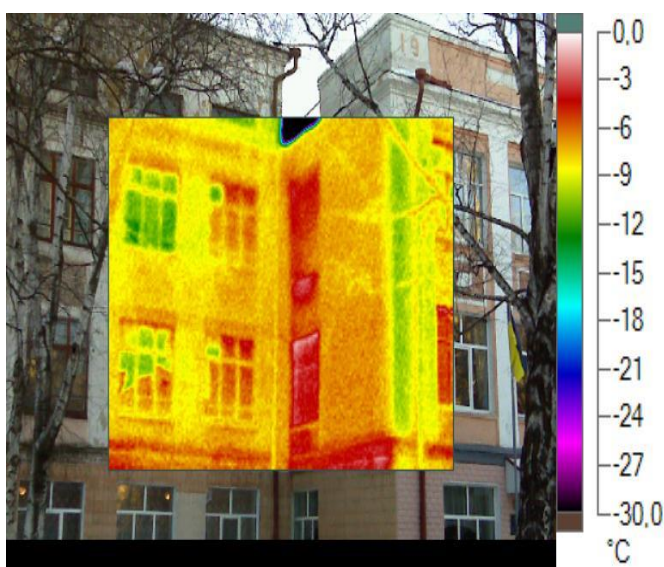
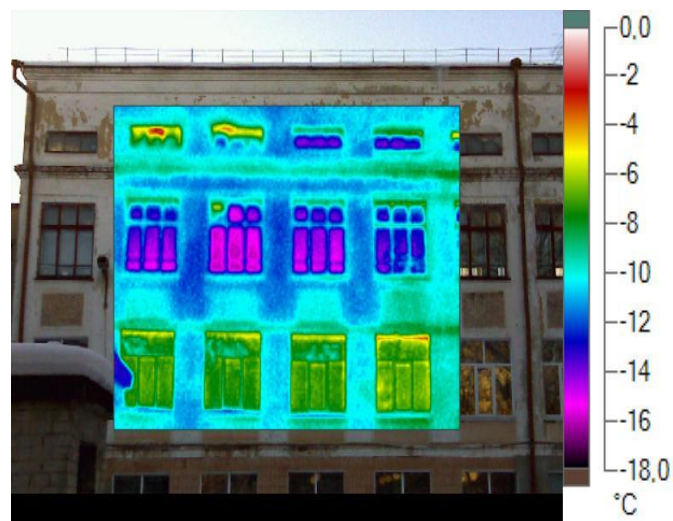
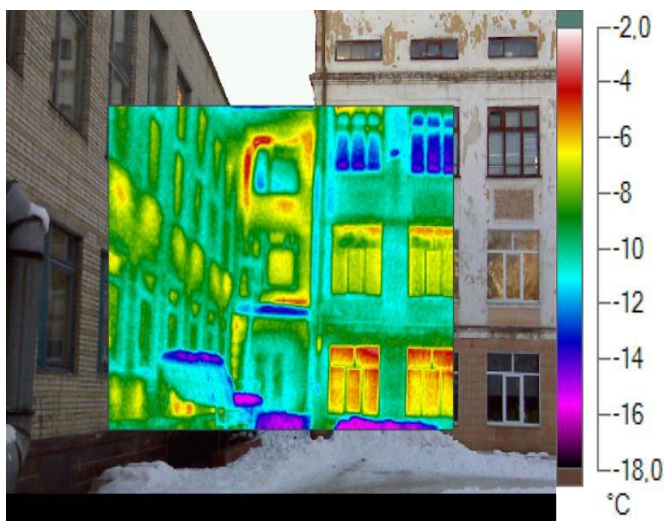
Тепловізійне обстеження виявило втрати тепла з приміщення, а саме:

- через віконні конструкції (нещільність прилягання віконних рам до стін);
- підвищена температура зовнішньої поверхні стіни свідчить про часткову втрату стінами теплозахисних властивостей;
- відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення.



Віконні конструкції є джерелом втрат тепла. Інфільтрація холодного повітря у приміщення відбувається через віконні конструкції, а саме, нещільність прилягання віконних стулок до основної рами.

Зовнішні огорожувальні конструкції старого корпусу («А1»)



Джерелом інтенсивної втрати тепла будівлі є застарілі віконні отвори. Підвищена температура зовнішньої поверхні стіни свідчить про значну втрату її опору теплопередачі внаслідок зволоження та невідповідності сучасним нормам теплового опору стін.