

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

Лазаренко Артем Андрійович

«РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО
КУПЕЙНОГО ВАГОНУ МОДЕЛІ 61-817 З КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ
ОПАЛЕННЯ»

Магістерська робота

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

(Енергетичний менеджмент)

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

Керівник роботи:

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (наукове звання та наукова ступінь)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____

« » _____ 20 р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Студента Лазаренко Артема Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: Розрахункові дослідження теплового стану пасажирського купейного вагону моделі 61-817 зкомбінованою системою опалення

затверджена наказом по університету № _____ від « » _____ 2020 р

2 Термін здачі студентом закінченої роботи - до 15.12.2020 р

3 Вихідні дані до магістерської роботи: Результати аналітичного вивчення інформації щодо актуальності проведення розрахункових робіт за темою магістерської роботи

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

Вступ (загальна характеристика необхідності в покращенні енергетики України; проблеми в використанні енергоресурсів для залізничного транспорту).

Розділ 1 – Огляд основних характеристик вагонів(параметри мікроклімату, їх складові та нормування цих параметрів для пасажирських вагонів; класифікація вагонів).

Розділ 2-Числове моделювання теплового стану купе(створення тривимірної моделі; розрахунок коефіцієнтів теплопередачі; розрахунок коефіцієнтів теплопередачі зовнішніх стін; побудова розрахункової сітки; опис розрахункової моделі; проведення комп'ютерного розрахунку).

Розділ 3 – Аналіз результатів числового розрахунку. (аналіз результатів розрахунків; проведення факторного експерименту; аналіз результату факторного експерименту).

Розділ 4 – Проведення нестационарного розрахунку (проведення нестационарного розрахунку та аналі отриманих результатів).

Розділ 5 – Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. (аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера на робочому місці; техніка безпеки на залізничній дорозі; дії працівників під час виникнення пожежі у приміщенні).

Висновки

5 Консультанти з проекту (роботи), із зазначенням розділів проекту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Васькін Р.А.		

6 Дата видачі завдання 09.11.2020 р

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	з 09.11 до 06.12.2020	
2	Захист переддипломної практики	до 10.12.2020	
3	Виконання 1-го розділу	до 25.11.2020	
4	Виконання 2-го розділу	до 04.12.2020	
5	Виконання 3-го розділу	до 09.12.2020	
6	Виконання 4-го розділу	до 11.12.2020	
7	Виконання 5-го розділу	до 14.12.2020	
8	Представлення виконаної роботи	до 15.12.2020	
9	Проходження перевірки на плагіат	до 20.12.2020	
10	Проведення захисту роботи	з 21.12 до 24.12.2020	

Студент-магістр

_____ (підпис)

Керівник випускної роботи

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 63с., 9 таблиць, 31 рисуноків, 25 літературних джерел.

Мета роботи: підвищення ефективності функціонування систем енергоспоживання пасажирських вагонів з комбінованою системою обігріву на основі аналізу їх теплових режимів.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- розробити математичну та числову модель теплового стану пасажирського вагону купейного типу, який обігривається за допомогою комбінованої системою опалення;
- провести моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в вагоні для аналізу його теплового стану;
- дослідити вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан.

Предметом дослідження є параметри мікроклімату пасажирського вагону моделі 61-817.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану пасажирського вагону з комбінованою системою опалення.

Методи дослідження: математичне та числове моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS SFX.

Ключові слова: ВАГОН КУПЕ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ РОБОТИ, МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ

Тема роботи – «Розрахункові дослідження теплового стану пасажирського купейного вагону моделі 61-817 з комбінованою системою опалення».

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

R_j – опір теплопередачі, $(\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

n – кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

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

$C_{\text{п}}$ – коефіцієнт випромінювання поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

T – температура, $^{\circ}\text{C}$;

$q_{\text{ст}}$ – густина теплового потоку на поверхні тіла;

V – швидкість потягу, м/с;

N – кількість дослідів або кількість рядків матриці планування.

T_c – розподіл температури на поверхні стінки;

x, y, z – координати поверхні тіла;

λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

Індекси та скорочення

$N_{\text{ел}}$ – кількість елементів;

$N_{\text{в}}$ – кількість вузлів;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

ДСТУ – Державний Стандарт України;

СНиП – строительные нормы и правила;

ГОСТ – государственный общесоюзный стандарт;

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНІВ.....	9
1.1 Параметри мікроклімату та їх складові.....	9
1.2 Класифікація вагонів.....	12
1.2.1 Плацкартні вагони.....	12
1.2.2 Загальні (відкриті) вагони.....	13
1.2.3 Купейні вагони.....	14
1.3 Висновки за розділом.....	14
2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ КУПЕ.....	16
2.1 Створення тривимірної моделі.....	16
2.2 Побудова розрахункової сітки.....	17
2.3 Опис розрахункової моделі.....	22
2.4 Граничні умови.....	24
2.4.1 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності стелі.....	26
Згідно з [17] опір теплопередачі для горизонтального замкнутого повітряного прошарку де тепловий потік йде знизу вгору дорівнює $0,15 \text{ м}^2\text{к/Вт}$	26
2.4.2 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності зовнішньої стіни.....	27
2.4.3 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності підлоги.....	28
2.4.4 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності вікна.....	29
2.4.5 Граничні умови всіх елементів.....	29
2.5 Проведення комп'ютерного розрахунку.....	30
2.6 Висновки за розділом.....	31
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ.....	32
3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків.....	32
3.2 Факторний експеримент.....	36
3.3 Висновок за розділом.....	41
4 ПРОВЕДЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО РОЗРАХУНКУ.....	42
4.1 Процес нагрівання.....	42
4.2 Процес охолодження з увімкненою подачею теплого повітря.....	44
4.3 Процес охолодження з повністю вимкненою системою опалення.....	46
4.4 Порівняння охолодження з увімкненою системою подачею теплого повітря та без неї.....	47
4.5 Висновок за розділом.....	48
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів що можуть виникати на робочому місці проєктанта.....	49
5.2 Техніка безпеки на залізничній дорозі.....	53

5.3	Дії працівників під час виникнення пожежі у приміщенні	57
5.4	Висновок за розділом	58
ВИСНОВОК		59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		61

ВСТУП

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівень життя населення. Метою соціальної держави, якою відповідно до Конституції є Україна, має бути забезпечення умов для зростання добробуту громадян [1]. Однією з найважливіших складових добробуту в цивілізованих державах є забезпечення громадян і компаній необхідними енергоресурсами. Запорукою реалізації цієї мети має стати надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення й економіки в енергетичних продуктах [2].

Одну з провідних ролей у забезпеченні потреб економіки та населення України в перевезеннях відіграє залізничний транспорт. На залізниці України припадає близько 36,5% пасажирських перевезень (за даними Держстату) – для порівняння в країнах Європейського Союзу частка залізничних перевезень становить біля 8 % [3]. Основний продукт залізничного транспорту – це перевезення, а пасажирський вагон як частина пасажирського комплексу з надання послуг перевезення повинен забезпечувати комфорт пасажирів. Поняття комфорту включає в себе не тільки плавність ходу, а й планування, дизайн внутрішнього обладнання параметри мікроклімату. Так, під час вибору виду транспорту потенційні пасажирі головним фактором називали комфорт (до 40 % пасажирів) [4].

Система опалення є однією з важливих і складних систем життєзабезпечення пасажирського рухомого складу, вона служить для підтримки комфортних умов у холодну пору року. Проте, конструкторами вагонів не враховується низка чинників, що будуть впливати на температурний режим у пасажирському вагоні [5]. За підрахунками відділення енергоменеджменту ПАТ «Укрзалізниця», резерв енергозбереження у галузі – 16,7 тисяч тон палива в умовному обчисленні, що в грошовому еквіваленті досягає 160 млн грн [6].

Аналіз літературних джерел щодо систем опалення пасажирських вагонів дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення ефективності функціонування систем енергоспоживання пасажирських вагонів з комбінованою системою обігріву на основі аналізу їх теплових режимів.

Для досягнення поставленої мети були поставлені і вирішені наступні задачі: розробити математичну та числову модель теплового стану пасажирського вагону купейного типу, який обігривається за допомогою комбінованої системою опалення; провести моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в вагоні для аналізу його теплового стану; дослідити вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану пасажирського вагону з комбінованою системою опалення.

Предметом дослідження є параметри мікроклімату пасажирського вагону моделі 61-817.

1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНІВ

1.1 Параметри мікроклімату та їх складові

Мікроклімат— це сумарне значення окремих факторів — температури, вологості, швидкості руху та газового складу навколишнього повітря, наявності пилу та мікроорганізмів, рівня радіації, іонізації, а також освітлення, атмосферного тиску тощо[7]. Мікроклімат приміщення безпосередньо залежить від сукупності певних факторів. По-перше, це кліматичні умови, по-друге, - ступінь захищеності приміщення від впливу на нього зовнішніх умов (вітру, низьких чи високих температур, вологості), і по-третє, - це внутрішні фактори, такі як виділення вологи, тепла від людей чи інших джерел у самому приміщенні, повітряні потоки у ньому[8]. Дискомфортний мікроклімат в першу чергу приводить до перегріву (гіпертермія) чи переохолодження (гіпотермія) організму. Приклад впливу дискомфортного мікроклімату показаний в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Вплив дискомфортного мікроклімату на організм [7]

Гостра гіпертермія	Підвищення температури тіла, термічний удар, погіршення серцевої діяльності, втрата свідомості. Погіршення стану здоров'я, напруження процесу терморегуляції. Спазм унаслідок втрати солей і вітамінів
Хронічна гіпертермія	Уражаються більшість фізіологічних систем: з боку системи травлення зниження шлункової секреції, втрата апетиту, коліт, гастрит, ентерит; з боку серцево-судинної системи збільшення частоти серцевих скорочень, розширення судин
Гостра загальна гіпотермія	Алергія. Зниження імунітету. Генералізована гіпотермія. Зниження уваги, та працездатності
Хронічна гіпотермія	Зниження стійкості до захворювань та працездатності

Особливо несприятливий вплив на тепловий стан людини здійснює висока вологість у поєднанні з високою температурою (більше 30 °С), тому що при таких параметрах мікроклімату майже все тепло, що виділяється організмом, віддається в навколишнє середовище при випаровуванні поту. При підвищенні вологості піт не випаровується, а стікає краплями з поверхні шкірного покриву. Виникає потокова течія поту, яка виснажує організм і не забезпечує необхідної тепловіддачі. Недостатня вологість повітря несприятлива для людини через інтенсивне випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, а потім забруднення хвороботворними мікробами. Для людини вважається допустимим зниження її маси на 2...3% шляхом випаровування вологи – зневоднення організму. Випаровування вологи на 15...20% призводить до смертельних результатів [7].

Крім фізичних факторів внутрішнього середовища, що впливає на комфорт і здоров'я людини значну роль відіграє повітря, що наповнює приміщення. Важливу роль для життя людини відіграє не просто наявність повітря та його кількість, а і якісний його склад з певними пропорціями кисню, азоту, інших елементів. Крім, згаданих вище, показників, що формують мікроклімат, важливим показником, від якого залежить створення комфорту у приміщеннях, є чистота повітря, тобто відсутність забруднень внутрішнього повітря. Найбільш значним забрудненням внутрішнього повітря громадських будівель є вуглекислий газ. Атмосферне повітря містить у своєму складі велику кількість газів. Основну частину у складі повітря складає азот (70,08%), кисень становить 20,95%, аргон -0,93%, водяна пара – 0,5 – 4,0%, вуглекислий газ – 0,034% (340 ppm). Концентрації основної більшості газів в атмосферному повітрі є фактично постійними величинами. Виключенням є волога та вуглекислий газ (CO₂), процентна частка яких може суттєво змінюватись в залежності від оточуючих умов. Волога і вуглекислий газ для громадських приміщень є забрудненнями. Для приміщень, в яких може перебувати значна кількість людей, основним забрудненням є вуглекислий газ. Люди є основним джерелом виділення вуглекислого газу у приміщеннях. У будь-якому місці, де

знаходяться люди – шкільні класи, дитячі садки, медичні заклади чи заклади культури – всюди існує вірогідність перевищення норми вуглекислого газу (часто значних), як результат дихання людей. Організм людини засвоює через легені кисень та інші елементи і видихає повітря з іншим складом, де вуглекислий газ є переважаючим. Якщо атмосферне повітря містить 0,035 – 0,055% CO₂, то повітря, що видихається людьми 2,5 – 5,0% вуглекислого газу. Але крім вуглекислого газу людський організм виділяє тепло, вологу, пил, пари, різноманітні аерозолі і запахи. Встановлено, що одночасно із зростанням концентрації CO₂ у повітрі приміщень зростає вміст інших отруйних продуктів життєдіяльності людей. Ці продукти отримали назву антропотоксинів. До складу антропотоксинів, крім вуглекислого газу, входить понад тридцять інших речовин: оксид вуглецю, аміак, ацетон, сірководень, альдегіди, фенол, органічні кислоти та інші. Всі ці виділення у приміщеннях пропорційні кількості людей та терміну їх перебування у приміщенні. Якщо у приміщенні, де перебувають люди, недостатньо інтенсивно змінюється повітря, то концентрація у приміщенні виділень від людей зростає і може стати не лише шкідливою, а і небезпечною для здоров'я[9].

Згідно ДСТУ 4049, параметри мікроклімату в вагоні повинні відповідати наступним правилам[10]:

1. Якщо температура зовнішнього повітря нижча ніж 10 °С (до мінус 40 °С), температура повітря в приміщеннях вагона повинна бути в пасажирських і службових приміщеннях 20 °С

2. Температура приточного вентиляційного повітря на вході в приміщення вагона зимової пори року повинна бути вища, ніж температура повітря у вагоні, на 2-3 °С.

3. Якщо температура зовнішнього повітря вища ніж 10 °С, температура повітря вагона, обладнаних системою кондиціонування, повинна бути 24 °С.

4. Температура поверхні підлоги в зимовий період у приміщеннях вагона, які опалюються, повинна бути не нижча ніж 15 °С.

5. Температура внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних стін пасажирського вагона повинна бути не нижча ніж 15 °С.

6. Для вагонів, обладнаних системою кондиціонування повітря, відносна вологість повітря у вагоні повинна бути (50 ± 20) %.

7. Швидкість руху повітря в місцях постійного перебування пасажирів повинна бути не більша ніж 0,20 м/с зимової пори року та не більшою ніж 0,25 м/с літньої пори року.

8. На одну людину з розрахунку номінальної місткості вагона кількість повітря, що подається ззовні, за нормальних умов (20 °С), повинна бути не менша ніж 20 м³/год зимової пори року і не менша ніж 30 м³/год літньої пори року. Якщо температура зовнішнього повітря нижча ніж мінус 40 °С, допускається зменшення кількості повітря, яке подається у вагон ззовні[10].

1.2 Класифікація вагонів

Парк пасажирських вагонів повністю складається з суцільно металевих вагонів, з яких 86% призначені для перевезення пасажирів і 14% парку вагонів – для додаткового призначення (вагони-ресторани, багажні, поштові, поштово-багажні та службові)[11].

Вагони класифікуються на:

- Плацкартні«П» (моделі 61-821);
- Купейні«К» на 36 та 32пасажирів ;
- Загальні (відкриті) вагони (на 68 місць);
- Для додаткового призначення;

1.2.1 Плацкартні вагони

Плацкартний вагон (рисунок 1.1) розраховани на 54 спальні місця, які розділено перегородками на дев'ять шестимісних відділень, відкритих між собою. У кожному відділенні розташовано 6 спальних місць у два яруси, з

яких два вздовж вагону і чотири в поперек нього. Для багажу над кожною парою спальних місць знаходиться третя полиця. Для зручності проміж поперечних спальних місць, під вікном, закріплено столик[11].

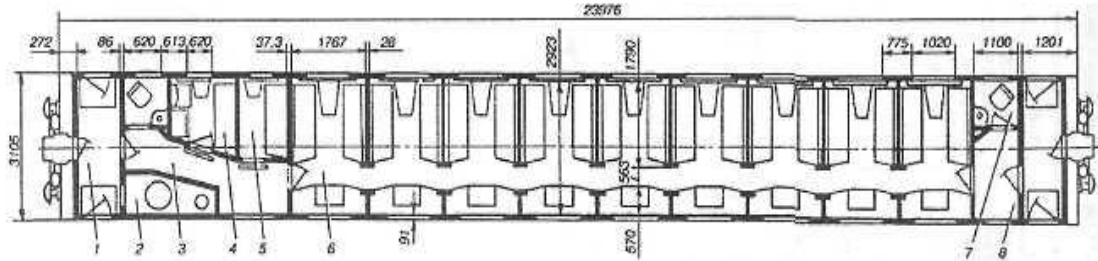


Рисунок 1.1 - Планування плацкартного вагона[11]

1.2.2 Загальні (відкриті) вагони

Особливістю загальних вагонів (рисунок 1.4) є те, що вагон не має спальних місць, у салоні, на 68 пасажирів, встановлено м'які зручні крісла. Для багажу над вікнами встановленні полиці вздовж всього вагону, а для зручності в спинці кожного крісла встановлено полицю. Окрім основного приміщення, з пасажирськими місцями, в вагоні розташовано два туалети, два тамбура, службове приміщення, а також котельне відділення. В деяких загальних вагонах встановлено буфетне відділення, в якому знаходиться електричне обладнання для підігріву їжі, води, варіння сосисок, кави і інше обладнання. Для встановлення такого відділення, зменшують кількість пасажирів[11].

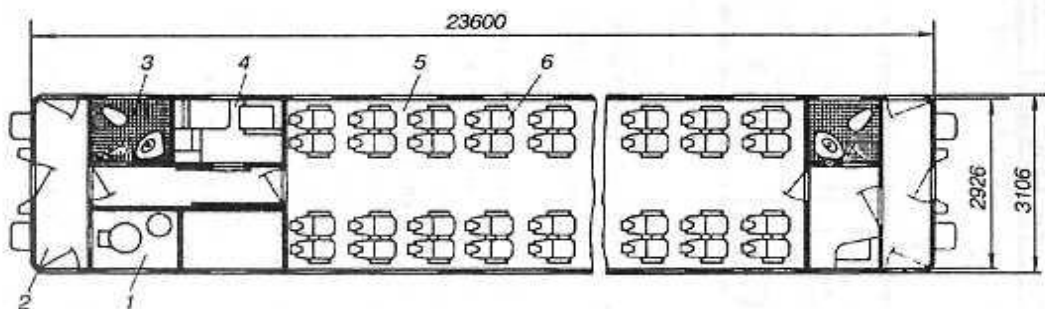


Рисунок 1.2 – Планування загального (відкритого) вагону[11]

1.2.3 Купейні вагони

Для забезпечення більш комфортельних умов пасажиром, створюються купейні вагони. В вагоні розташовано по дев'ятьдво-(рисунок 1.2), три- , або чотиримісних купе (рисунок 1.3)

Більшістю вони мають по дев'ять чотири- (рисунок 1.2), три- , або двомісних купе (рисунок 1.3). Деякі вагони мають збільшені розміри купе, в таких вагонах вісім двомісних купе з м'якими місцями і умивально-душеві відділення на кожні два суміжних купе, це зроблено для більш комфортного проїзду[11].

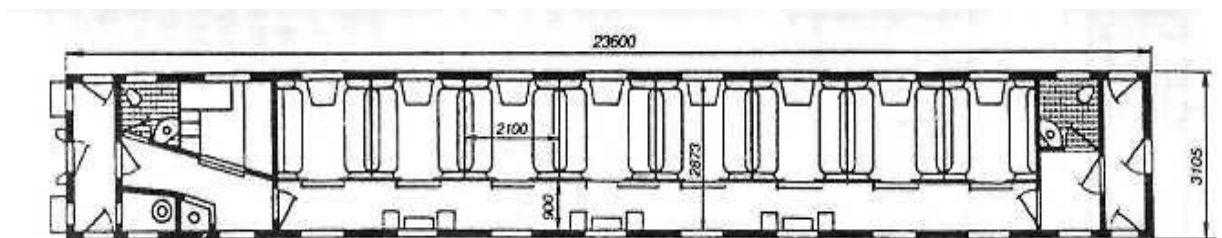


Рисунок 1.3 – Планування двомісного вагону-купе[11]

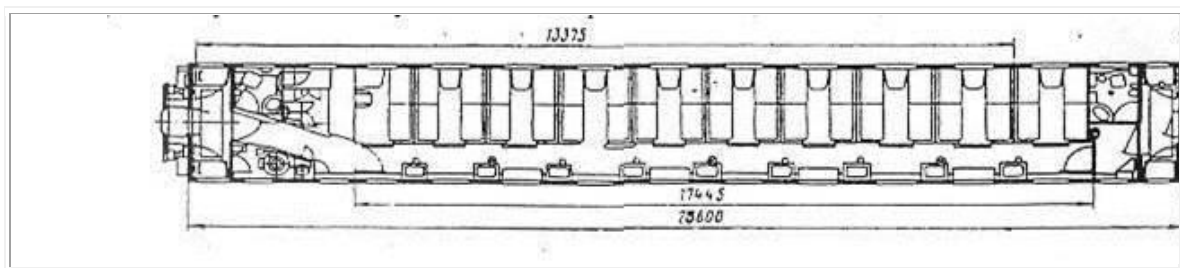


Рисунок 1.4 – Планування чотиримісного вагону-купе [11].

Більшість вагонів що випускається зараз в Україні, згідно з Укрінформ, саме вагони купейного типу, а найрозповсюдженіший вагон моделі 61-817. Який і був обраний для проведення розрахунку.

1.3 Висновки за розділом

- Були розглянуті основні параметри мікроклімату та їх нормативні значення відповідно до ДСТУ, згідно яких будуть задаватися параметри при числовому моделюванні.
- Проаналізовано обсяги споживання енергоресурсів залізничним транспортом на підтримання мікроклімату.
- Проведено огляд рухомих складів поїздів. Визначено що один з найпоширеніших вагонів в Україні є вагон моделі 61-817.

2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ КУПЕ

2.1 Створення тривимірної моделі

Для проведення чисельного експерименту моделі теплового стану в купе вагону моделі 61-817 була створена тривимірна модель купе за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 2.1).

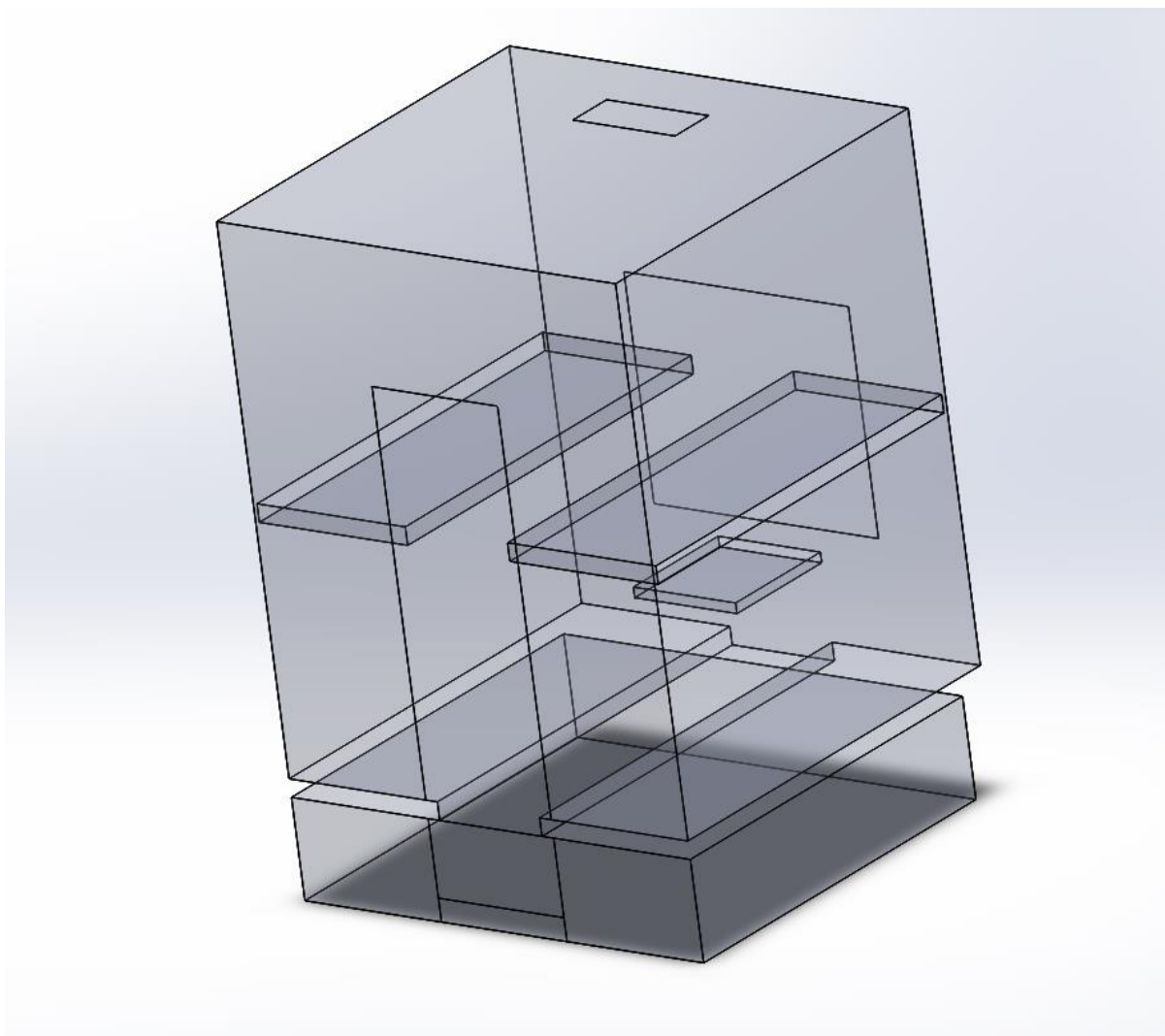


Рисунок 2.1– Тривимірна модель вагону купе

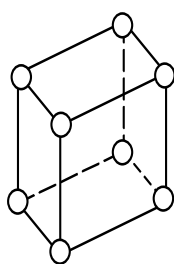
Розміри моделі наближені до реальних умов (1.7×2.6×1.7) м. При створенні тривимірної моделі у якості опалювальних приладів було спроектовано радіатори опалення та подача теплого повітря з вентиляції.

Розрахунковою областю в даній розрахунковій задачі є об'єм купе, який складається з області повітря, опалювальних приладів, полиць та столу.

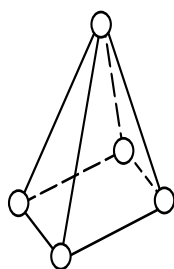
2.2 Побудова розрахункової сітки

Для виконання чисельного дослідження побудована розрахункова сітка. Побудова розрахункової сітки – це процес ділення розрахункової області на велику кількість окремих комірок. Розрахункова сітка – це основа всього розрахунку. Якщо сітка не задовольняє параметрам якості, то розрахунок може мати чималу похибку або не запуститися взагалі.

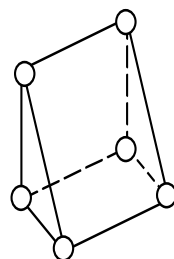
Побудова розрахункової сітки – це процес розбиття розрахункової області на велику кількість окремих комірок. Комірki сітки уявляють собою багатогранники, звичайно тетраедри, гексаедри, призми або піраміди (рис. 2.2). Крайки цих осередків утворюють лінії розрахункової сітки, а точки, розташовані на крайках або в центрі комірок – вузли розрахункової сітки. У результаті чисельного рішення рівнянь математичної моделі саме у вузлах розрахункової сітки й визначаються необхідні параметри течії [12].



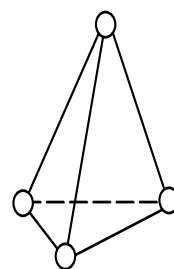
Гексаедр



Піраміда



Призма



Тетраедр

Рисунок 2.2 – Типові форми осередків (комірок) сітки [12]

Головна вимога до розрахункової сітки – вона повинна бути досить густою, щоб прорахувати фізичні ефекти, що відбуваються у середині області розрахунку. Для досягнення кращої рівномірності точності розрахунку, вузлам

сітки необхідно більш густо розташовуватися в місцях швидкої зміни параметрів течії, зокрема біля твердих стінок. Крім того, при побудові сітки необхідно запобігати одержанню надмірно перекошених або витягнутих комірок, форма яких сильно відрізняється від правильних багатогранників. Наявність таких комірок буде істотно ускладнювати одержання збіжного рішення [12].

Для побудови розрахункової сітки зазделегідь створена геометрична тривимірної модель з SolidWorks була перенесена до генератору сіток ICEM CFD.

Для покращення точності розрахунку врахування параметрів (зміна густини потоків, скачки температур, швидкостей тощо) необхідно подрібнити елементи розрахункової сітки біля граничних поверхонь (рис. 2.3) де можуть виникати швидкі зміни цих параметрів.

Маючи уявлення про процеси, що протікають в розрахунковій області, які будуть досліджуватися в данному розрахунку визначаємо місця на тривимірній моделі де будуть виникати швидкі зміни параметрів (скачки температур чи швидкостей, зміна густини потоків тощо). Для більш точного врахування таких змін подрібнюємо елементи розрахункової сітки біля граничних поверхонь (рис. 2.3).

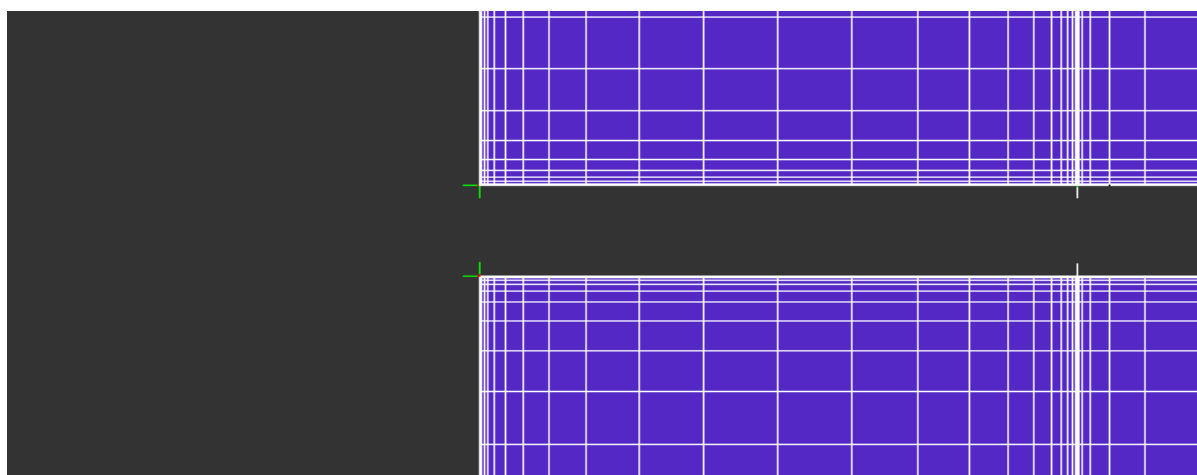


Рисунок 2.3 – Структура подрібнення розрахункової сітки повітря біля граничних поверхонь.

Для поліпшення точності розрахунку течії повітря біля твердих стінок проводилося згущення комірок. Зміна розміру комірки проводиться поступово, біля стінок менші, а чим ближче до внутрішньої зони розрахункової області тим вони крупніші. Необхідно зазначити, через згущення комірок об'єм розрахункової сітки неминуче збільшиться, але це обов'язковий крок.

Враховуючи те що геометрична модель області розрахунку складається з правильних елементарних об'ємів, для яких можлива впорядкована сітка, була обрана гексайдерна блочно-структурована сітка. Блоки такої сітки представляють собою паралелепіеди, ребра і грані якого асоціюються з лініями, точками і поверхнями області геометрії. Наступним кроком, для побудови структурованої сітки, кожен блок розбивається на більш дрібні структурні елементи.

Одним з важливих частин роботи є перевірка сітки на якість до початку розрахунку, яка проводиться в кілька етапів:

- 1) Візуальна перевірка сітки на наявність занадто вузьких витягнутих та скошених комірок.
- 2) Перевіряємо кут між гранями комірок (рис. 2.4).

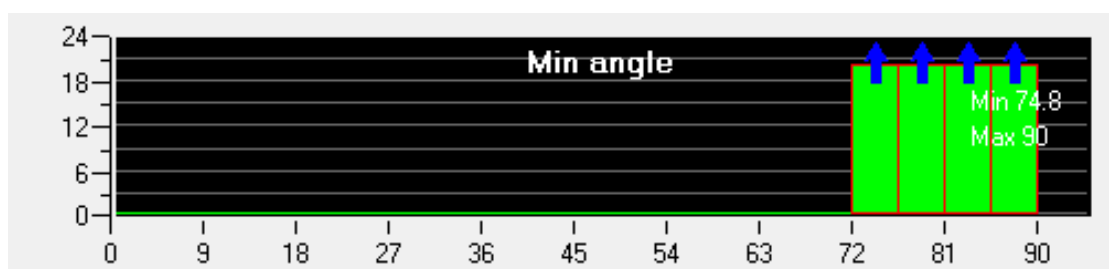


Рисунок 2.4 – Діаграма якості області повітря за кутом між гранями комірок

Для отримання необхідної якості розрахункової сітки, параметр angle (кут між гранями комірок) повинен бути більшим за 9° [12]. Аналіз отриманої діаграми показує, що кут між гранями комірок складає 74° і більше.

- 3) Витягнутість контрольних об'ємів гексаєдрів знаходиться за допомогою критерію якості aspect ratio (коефіцієнт пропорційності) на рис. 2.5.

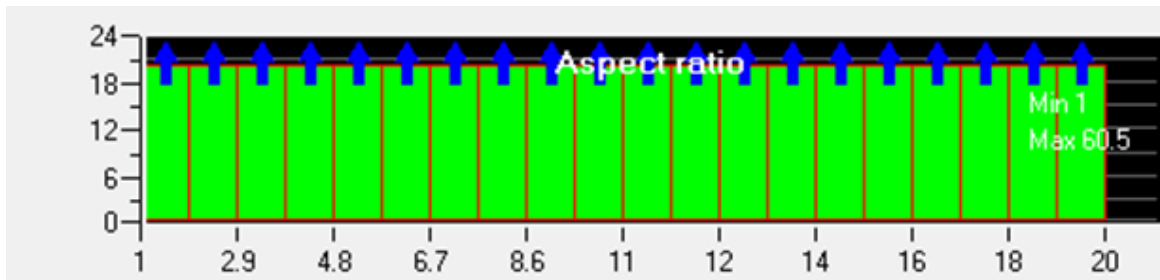


Рисунок 2.5– Діаграма якості область повітря за коефіцієнт пропорційності

Коефіцієнт пропорційності – це максимальне значення співвідношення площ граней комірок (відношення товщини елемента до його довжини), показує як витягнутий контрольний об’єм, згідно рекомендацій [12] його максимальне значення має бути 100. Як видно з даної діаграми, сітка задовольняє цій умові.

4) Параметр детермінант (determinant) характеризує як співвідносяться сторони стінок гексаедра (рис. 2.6).

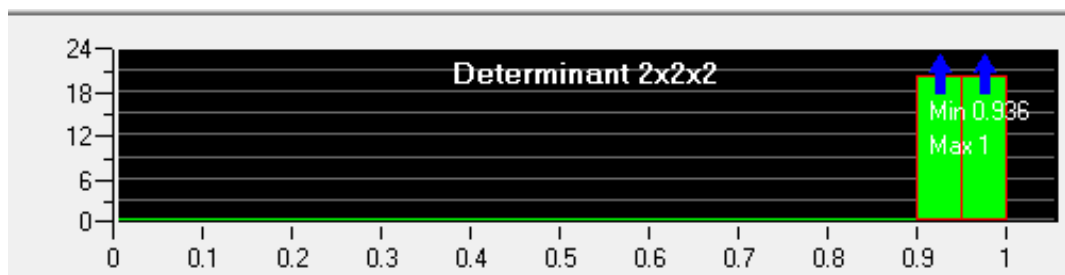


Рисунок 2.6 – Діаграма якості область повітря згідно параметру детермінант

Значення детермінанту 1 свідчить про те, що всі елементи сітки співрозмірні, а 0 буде вказувати, що елемент вироджуються в одному або більше краях, а негативні значення – перевернуті елементи. Відношення довжин сторін стінок гексаедра повинно бути більшим за 0,3 [12]. Як видно з даної діаграми мінімальне значення такого відношення складає 0,9. Дана діаграма показує, що якість сітки є задовільною.

Вигляд розрахункової сітки в ICEM CFD зображений на рисунку 2.7.

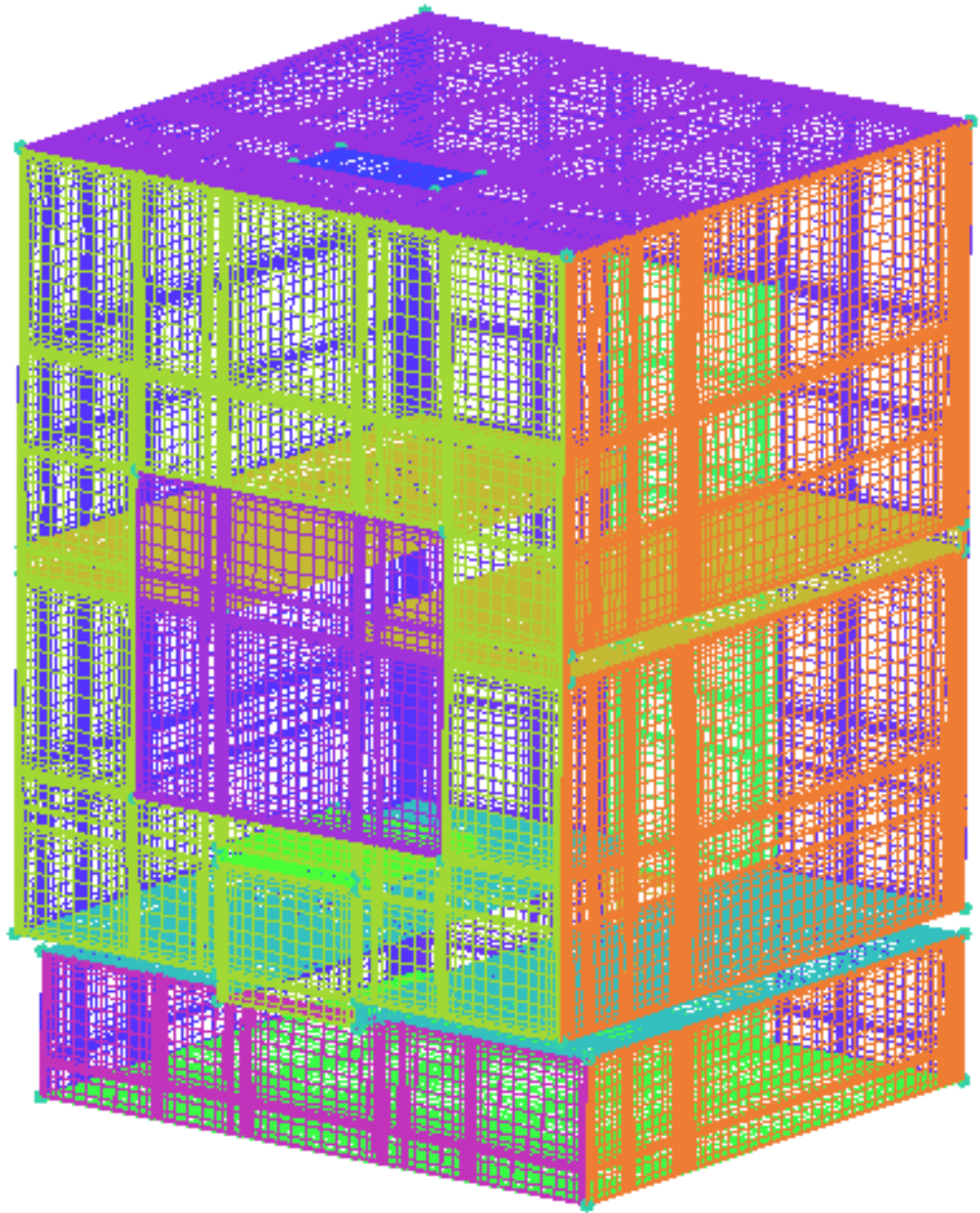


Рисунок 2.7 – Вигляд розрахункової сітки в продукті ICEM CFD

Основні параметри отриманої розрахункової сітки області повітря:

– кількість елементів $N_{\text{ел}}^{\text{пов}}$ – 1806365 шт;

– кількість вузлів $N_{\text{в}}^{\text{пов}}$ – 1744380 шт.

Розрахункова модель приміщення має 1 806 365 елементів, тому у ході розрахунку буде задіяно приблизно 2 Гб оперативної пам'яті комп'ютера.

2.3 Опис розрахункової моделі

Наступним кроком буде задавання параметрів розрахункової області. Для цього розрахункова сітка була імпортована в модуль препроцесор CFX-Pre (рис. 2.8).

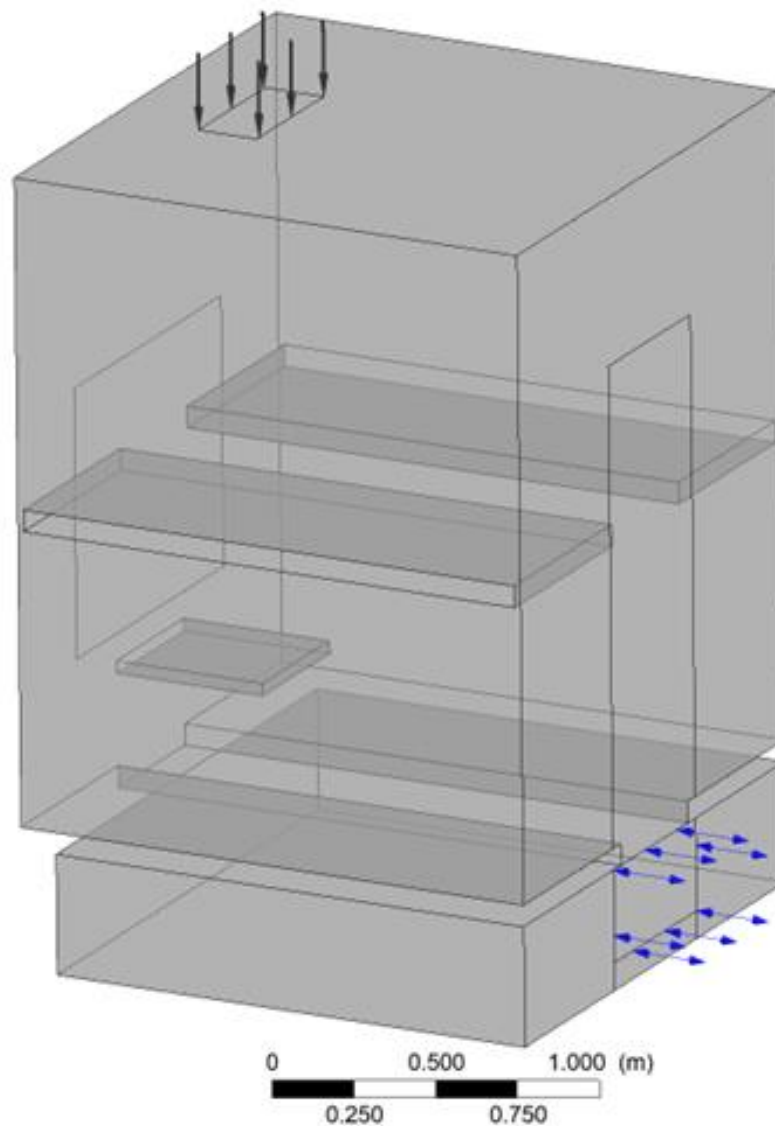


Рисунок 2.8 – Розрахункова область в препроцесорі

Для розв'язку конкретної задачі теплопровідності середовища необхідно додати граничні умови, які б визначали розглядаючий процес. Таким чином, повний математичний опис тієї чи іншої задачі теплопровідності повинен містити в собі не тільки рівняння теплопровідності, але й особливості, що

виступають у вигляді геометричних та фізичних характеристик, а також крайових умов, які іменуються умовами однозначності і включають[13]:

- геометричні умови, що характеризують розмір та форму 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)

Завдяки тому, що дана геометрична модель представляє собою структуровану сітку, препроцесор автоматично визначає геометричні розміри і форма розрахункової області.

Робочим тілом в даній розрахунковій області є повітря, термодинамічні параметри якого наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Термодинамічні параметри повітря

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

Продовження таблиці 2.1

Коефіцієнт розсіювання	m^{-1}	0
Коефіцієнт поглинання	m^{-1}	0,01

2.4 Граничні умови

Граничні умови можна задавати всього трьома способами. В нашому випадку були застосовані граничні умови першого та другого роду. Граничні умови I роду задаються розподілом температури по поверхні тіла у будь-який момент часу[14]:

$$T_c = f(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

де x, y, z – координати поверхні тіла.

Враховуючи те, що розглянутий невеликий проміжок часу то приймаємо, що температура поверхні твердих стінок залишається незмінною протягом часу експеримент, а рівняння (1) набуває вигляду:

$$T_c = const.$$

Для задання граничних умов був розрахований коефіцієнт теплопровідності огорожувальних конструкцій вагону, за формулою[15]:

$$k=1/R; \quad (2)$$

Де R- приведений опір теплопередачі; $m^2K/Вт$;

Приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій знаходиться за формулою; $m^2K/Вт$ [16]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3};$$

де: $\alpha_в, \alpha_3$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку;

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

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу і-го прошарку; (м²·°С)/Вт.

δ_i – товщина і-го прошарку; м;

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

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої поверхні стін вагона знаходиться за формулою, Вт/м²·К [16]:

$$a_3 = a_{кн} + a_{л};$$

де $a_{л}$ – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/м²·К;

$a_{кн}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м²·К;

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої поверхні стін вагона конвекцією знаходимо за формулою, Вт/м²·К [16]:

$$a_{кн} = 7,34 * V^{0,656};$$

де V – швидкість потягу, м/с;

Коефіцієнт тепловіддачі радіацією знаходимо за формулою, Вт/м²·К [16]:

$$a_{л} = 4C_{п} T^3;$$

де T – температура навколишнього повітря; $C_{п}$ – коефіцієнт випромінювання поверхні, Вт/м²·К⁴;

2.4.1 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності стелі

Будова стелі показана на рисунку 2.11, а необхідні теплотехнічні та фізичні характеристики в таблиці 2.4.

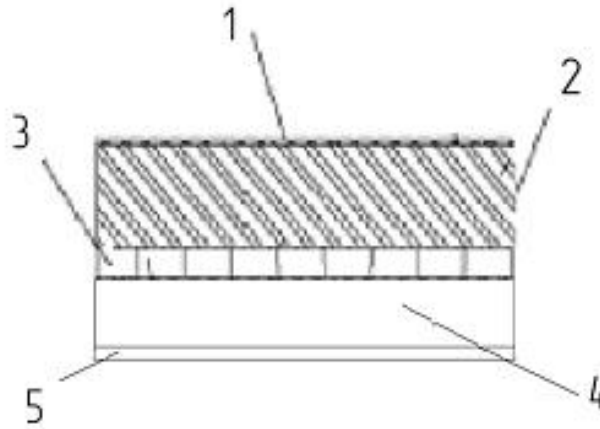


Рисунок – 2.9 будова стелі

Таблиця 2.4 – Теплотехнічні та фізичні характеристики стелі

№ позиції	Матеріал	Товщина δ , м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м ² К
1	сталевий лист	0,002	58
2	пінополіуретан	0,065	0,045
3	фанера	0,04	0,15
4	повітря	0,12	-
5	деревоволокниста плита	0,019	0,15

Згідно з [17] опір теплопередачі для горизонтального замкнутого повітряного прошарку де тепловий потік йде знизу ввєрх дорівнює 0,15 м²к/Вт

$$R_{\text{стеля}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,002}{58} + \frac{0,065}{0,045} + \frac{0,004}{0,15} + 0,15 + \frac{0,019}{0,15} + \frac{1}{48,96} = 2,123 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$$k_{\text{стеля}} = 1/2,123 = 0,471 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

2.4.2 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності зовнішньої стіни

Будова зовнішньої стіни показана на рисунку 2.10, а необхідні теплотехнічні та фізичні характеристики в таблиці 2.3.

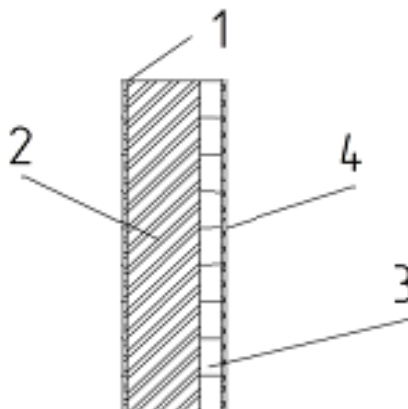


Рисунок 2.10 – будова зовнішньої стіни

Таблиця 2.3 – Теплотехнічні та фізичні характеристики зовнішньої стіни

№ позиції	Матеріал	Товщина δ , м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м ² К
1	сталевий лист	0,002	58
2	пінополіуретан	0,080	0,045
3	деревоволокниста плита	0,019	0,15
4	склопластик	0,0015	0,350

$$R_{\text{стінка}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,002}{58} + \frac{0,08}{0,045} + \frac{0,019}{0,15} + \frac{0,0015}{0,35} + \frac{1}{48,96} = 2,044 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$$k_{\text{стінка}} = 1/2,089 = 0,489 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

2.4.3 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності підлоги

Будова підлоги показана на рисунку 2.9, а необхідні теплотехнічні та фізичні характеристики в таблиці 2.2.

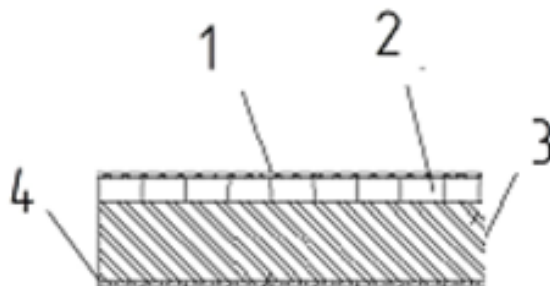


Рисунок 2.11 – будова підлоги

Таблиця 2.2– Теплотехнічні та фізичні характеристики підлоги.

№	Матеріал	Товщина δ , м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м ² К
1	Лінолеум	0,002	0,38
2	Деревоволокниста плита	0,019	0,15
3	Пінополістирол	0,08	0,045
4	Сталевий лист	0,005	58

$$a_{\text{кн}} = 7,34 * 15,83^{0,656} = 44,93$$

$$a_{\text{л}} = 4 * 5,18 * 10^{-8} * 284^3 = 4,03$$

$$a_3 = 44,93 + 4,03 = 48,96.$$

$$R_{\text{підлоги}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,002}{0,38} + \frac{0,019}{0,15} + \frac{0,08}{0,045} + \frac{0,005}{58} + \frac{1}{48,96} = 2,045 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$$k_{\text{підлога}} = 1/2,045 = 0,489 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

2.4.4 Розрахунок коефіцієнта теплопровідності вікна

Приведений опір однокамерного склопакету у роздільних плетіннях згідно з [15] $0,73 \text{ м}^2\text{к/Вт}$, тоді за формулою (2):

$$k_{\text{вікно}} = 1/0,73 = 1,37 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

2.4.5 Граничні умови всіх елементів

Граничні умови на кожному з елементів приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Граничні умови

п/п	Поверхня	Назва поверхні	Тип граничної умови	Чисельне значення
1	Повітряне опалення	Inlet	Inlet	0.248 м/с $(\text{volumeAve(Temperature)}@va$ $gon+3 \text{ [K]})$
2	Двері купе	Door	Adiabatik	-
3	Підлога	Floor	Heat Transfer Coefficient	$0.489 \text{ (-}24^{\circ}\text{C) Вт/м}^2\text{К}$
4	Вентиляційний отвір	Outlet	Opening	$\text{areaAve(Temperature)}@outlet$
5	Радіатор	Radiator	Temperature	Змінювалось від 24 до 50°C
6	Полиці	Shelf	Adiabatik	-
7	Стіл	Table	Adiabatik	-
8	Дах	Top	Heat Transfer Coefficient	$0.471 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

Продовження таблиці 2.5

9	Зовнішня стіна	Wall_out	Heat Transfer Coefficient	0.489(від -24 ⁰ С до +10 ⁰ С) Вт/м ² К
10	Внутрішні стіни	Wall_in	Adiabatik	-
11	Вікно	Window	Heat Transfer Coefficient	1.37 (від -24 ⁰ С до +10 ⁰ С) Вт/м ² К

2.5 Проведення комп'ютерного розрахунку

Комп'ютерні розрахунки проводилися в комплексній програмі CFX-Solver Manager. Ця програма вирішує рівняння методом поступових наближень. Дана задача була вирішена в стаціонарній постановці. Розв'язок виводиться на екран в вигляді графіків, для контролю вирішення заданих рівнянь їх (рис. 2.12, 2.13).

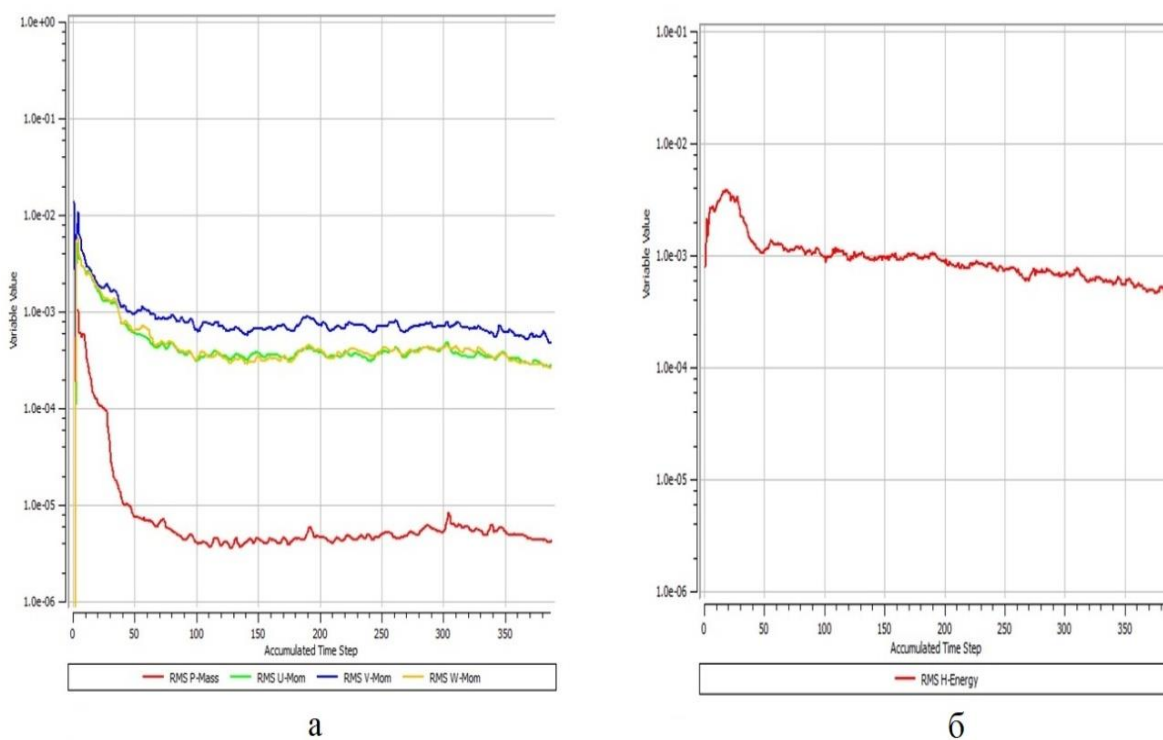


Рисунок 2.12– Графіки сходження за рівняннями; а- швидкості та нерозривності; б- моделі теплопереноса;

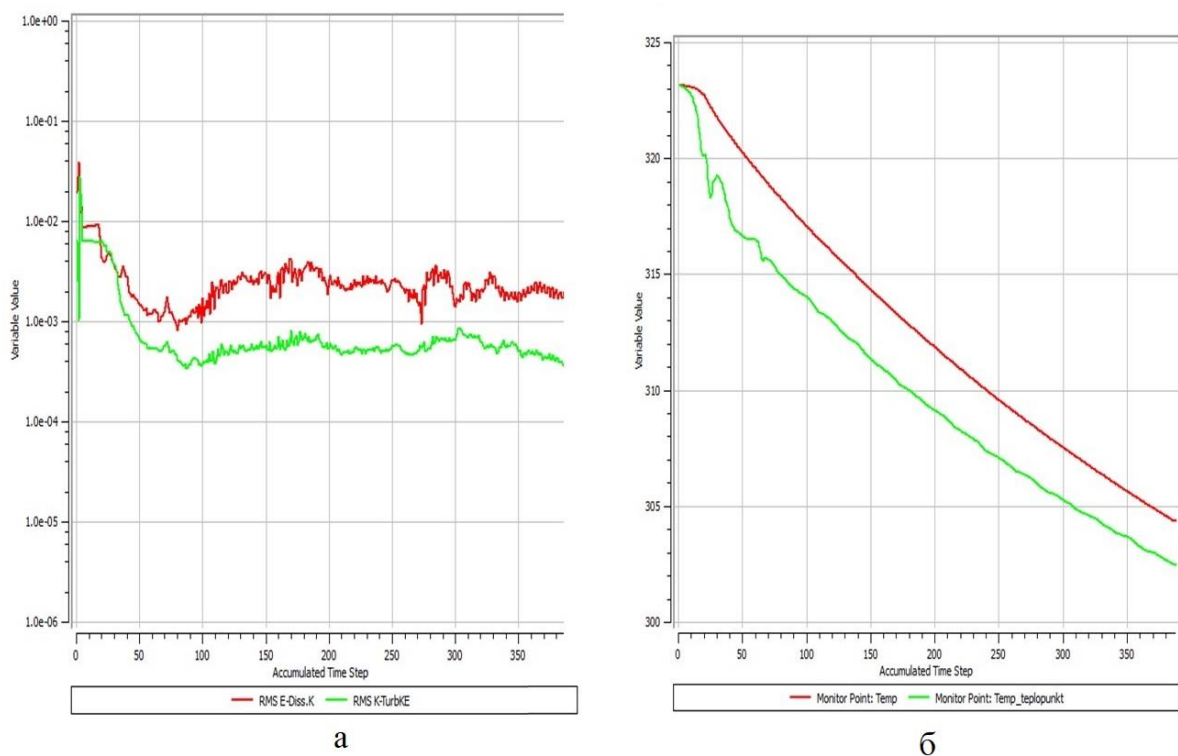


Рисунок 2.13– Графіки сходження за рівняннями; а-моделі турбулентності; б- заданими користувачами.

2.6 Висновки за розділом

- Згідно з реальних розмірів вагону була створена тривимірна модель повітря в середині купе за допомогою програмного продукту SolidWorks.
- Була розбита розрахункова сітка після переносу геометричної моделі до генератору сіток ICEM CFD
- Розраховані коефіцієнти теплопровідності для всіх огорожувальних конструкцій
- Розрахункова сітка була імпортована до комплексної програми CFX-Solver Manager, де були задані граничні умови для всіх поверхонь

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ

3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків

Проведемо візуалізацію отриманих даних після проведення дослідів рис. 3.1, 3.2, 3.3.

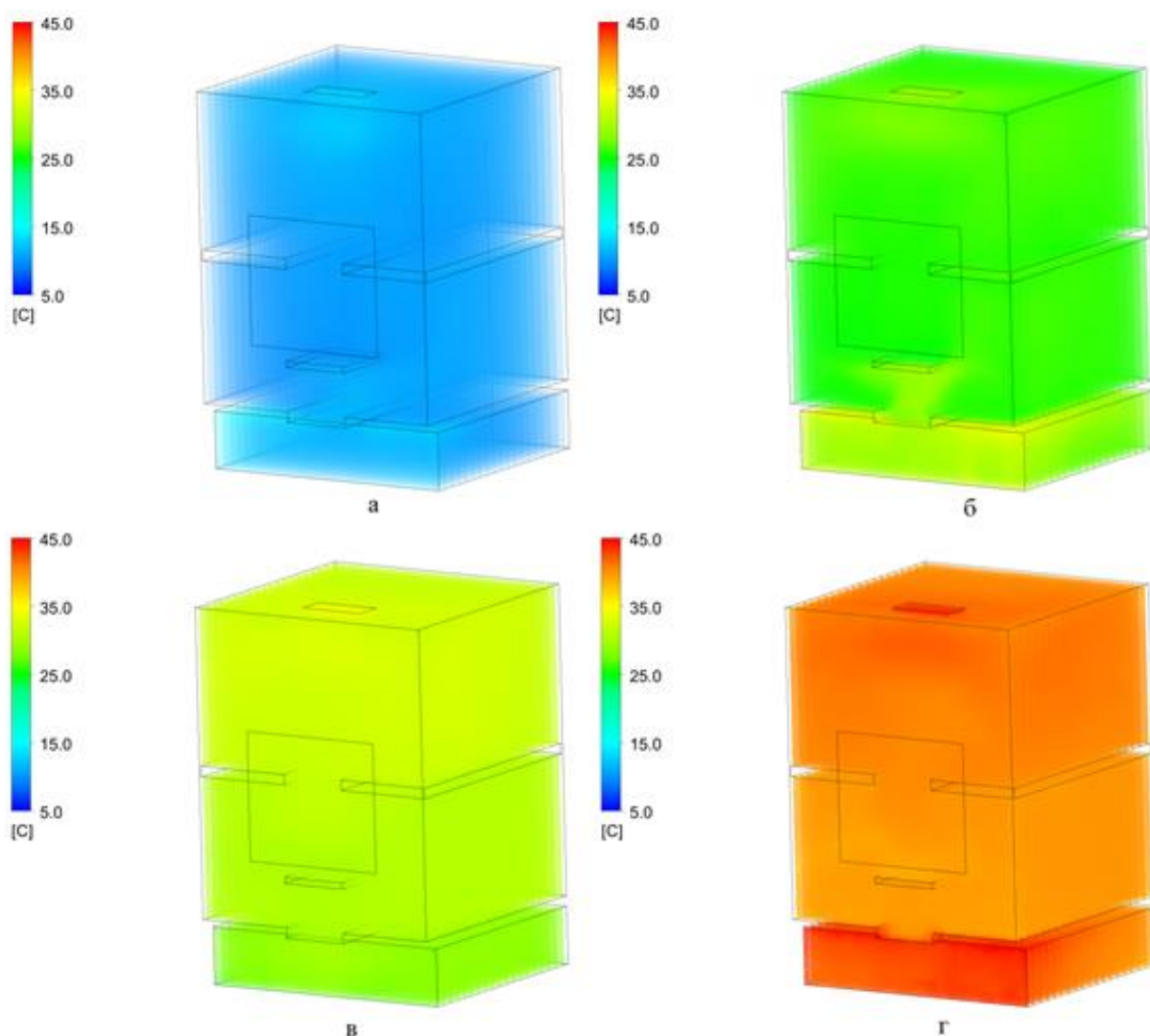


Рисунок 3.1 – Температура купе по об'єму; а – при температурі радіатора $+24^{\circ}\text{C}$ та температурі навколишнього середовища -24°C ; б- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та -24°C навколишнього середовища;в- $+24^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;г- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;

На рисунку 3.1 показано отриману температуру в купе та її розподіл по об'ємові при зміні температур на радіаторі та зовні вагону.

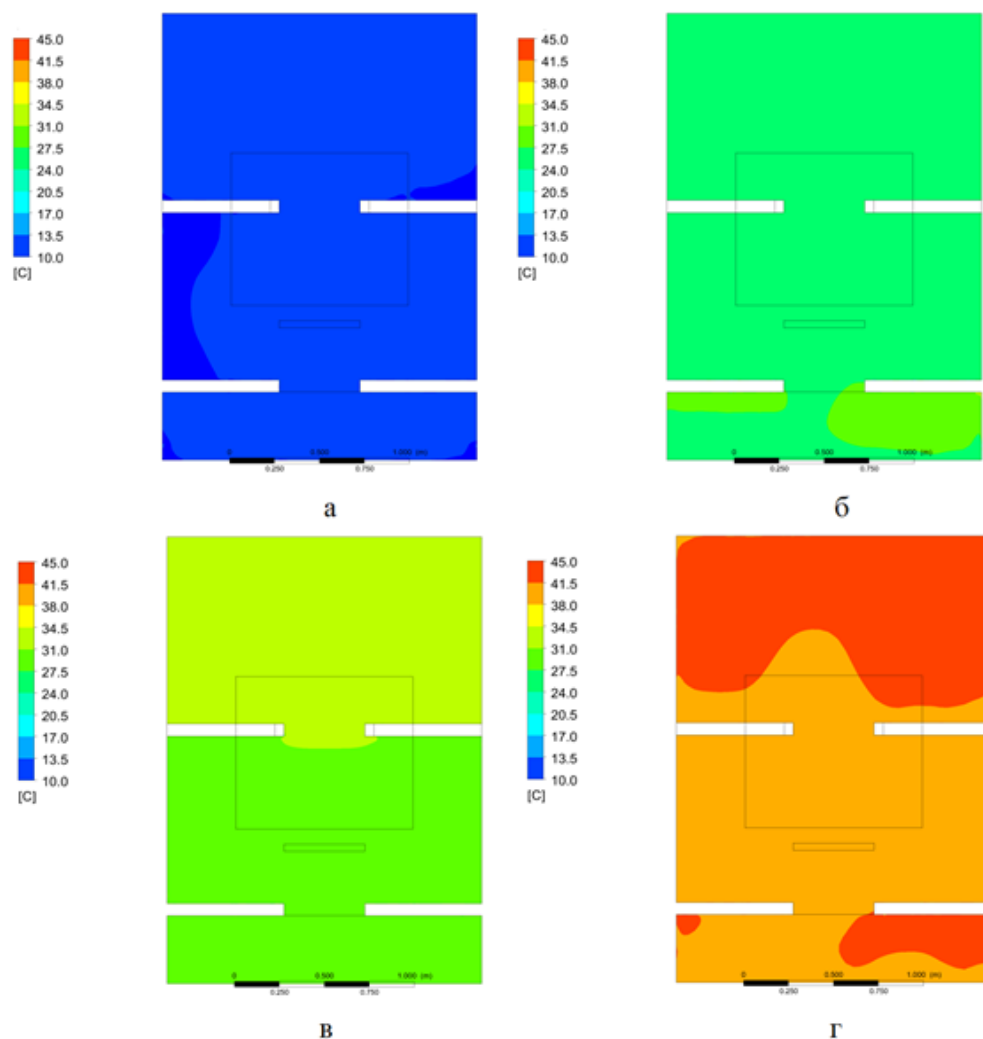


Рисунок 3.2 – Температура купе на площині в середині купе; 1- а-при температурі радіатора $+24^{\circ}\text{C}$ та температурі навколишнього середовища -24°C ; б- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та -24°C навколишнього середовища; в- $+24^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища; г- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;

Рисунок 3.2 дає чітке розуміння того, що для всіх розрахунків буде вірним твердження- температура збільшується по висоті купе. Це прогнозований факт, так як більш тепле повітря підіймається до гори. Проте

різниця цих температур ,при зміні параметрів розрахунків, різниться, в теплу пору року вона більш сутєва.

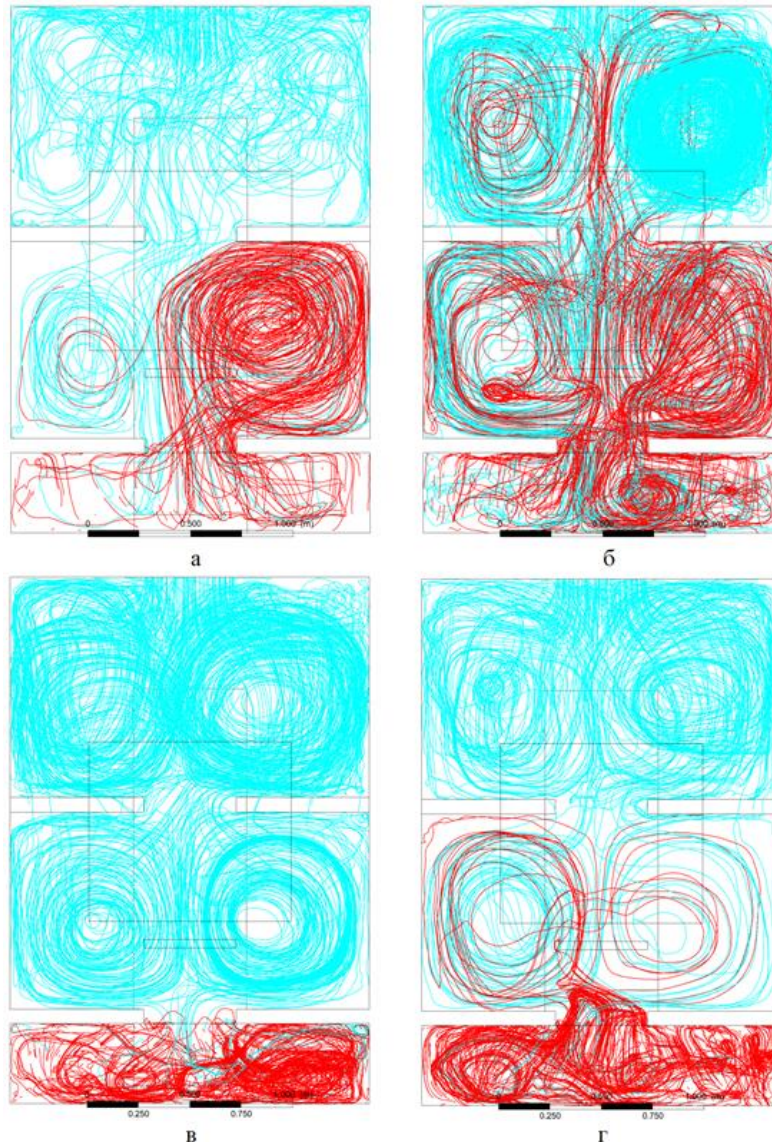


Рисунок 3.3 –Рух повітря в об'ємі купе; а-при температурі радіатора $+24^{\circ}\text{C}$ та температурі навколишнього середовища -24°C ; б- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та -24°C навколишнього середовища;в- $+25^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;г- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;

На рисунку 3.3 показано рух повітряних мас від радіатора та входу вентиляції. Як бачимо чим більша різниця в температурах радіатора та навколишнього середовища тим більша роль в опаленні від радіатора і навпаки чим різниця менша тим більша роль повітряного опалення.

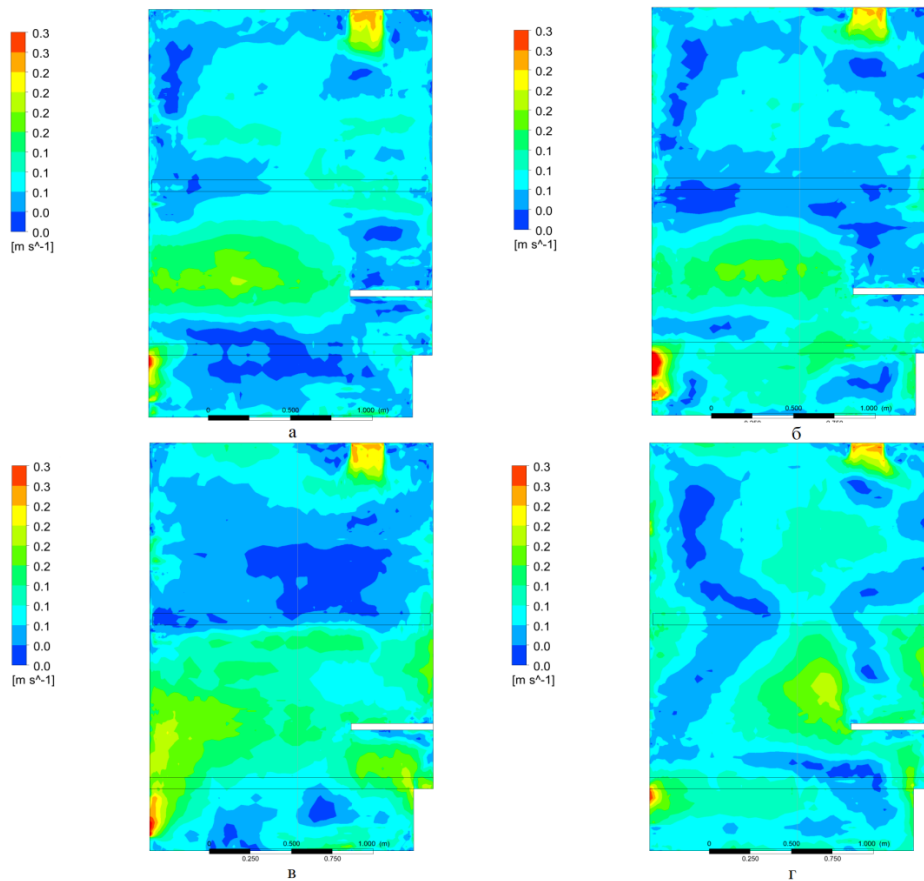


Рисунок 3.4 –Швидкість руху повітря на площині в середині купе; а-при температурі радіатора $+24^{\circ}\text{C}$ та температурі навколишнього середовища -24°C ; б- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та -24°C навколишнього середовища; в- $+25^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища; г- $+50^{\circ}\text{C}$ на радіаторі та $+10^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища;

На рисунку 3.4 показаний рух повітря на площині в середині купе. Як бачимо, при будь яких температурах, навколишнього середовища та радіатора, швидкість повітря рівномірна по всьому купе, за винятком вентиляційного отвору в дверях та місця подачі теплого повітря. Також завдяки цій візуалізації було перевірено відповідність швидкості до ДСТУ 4049, згідно якого людина не може перебувати в зоні, де швидкість повітря більша за 0.2 метра за секунду. Такі області на малюнку позначені жовтим, помаранчевим та червоним кольорами. Оскільки перевищення відбувається лише в незначних в якій

постійне перебування людини не передбачено вважається що всі норми виконуються.

3.2 Факторний експеримент

Основною задачею факторного планування експерименту є керування експериментом без необхідності знання умов проходження процесу, що дозволяє значно підвищує правильність досліджень та пришвидшує їх розрахунок. Планування експерименту було сформульовано так: лише при одному (оптимальному) відношенні факторів при якому функція мети матиме максимальне (мінімальне) значення. Функція мети буде неперервно змінюватися згідно з змінами факторів[18].

В цій роботі було виконано двофакторний експеримент: температура навколишнього середовища та температура на радіаторі.

Для спрощення обробки експериментальних даних та запису умов експерименту, для кожного фактора та рівня фактору було задано кодове позначення. В кодовому вигляді верхній рівень позначається +1, нижній -1, а основний 0. Рівні та інтервали варіації факторів представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Рівні та інтервали варіації факторів

Рівні та інтервали варіації факторів	Фактори	
	Температура на радіаторі	Температура повітря зовні
Кодове позначення	t_1	t_2
Основний рівень ($x_{i,0}$)	37	-7
Верхній рівень (+)	50	10
Нижній рівень (-)	24	-24
Інтервал варіації	13	17

Умови проведення дослідів у кодовому вигляді записано у вигляді таблиці (матриці) планування експерименту. Для розрахунку двофакторного експерименту було проведено 4 дослідів, результати яких були записані до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Матриця планування двофакторного експерименту і результати досліджень

Номер дослідів	Планування			Розрахунок	Результат
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	Y
1	+	-	-	+	10,4
2	+	+	-	-	25,37
3	+	-	+	-	30,32
4	+	+	+	+	39,7

Отримані коефіцієнти регресії[19]:

$$b_j = \sum_{i=1}^n x_{jn} \cdot Y_n / N,$$

$$b_0 = \frac{10,4 + 25,37 + 30,32 + 39,7}{4} = 26,448;$$

$$b_1 = \frac{-10,4 + 25,37 - 30,32 + 39,7}{4} = 6,088;$$

$$b_2 = \frac{-10,4 - 25,37 + 30,32 + 39,7}{4} = 8,563;$$

$$b_{12} = \frac{10,4 - 25,37 - 30,32 + 39,7}{4} = -1,398.$$

Середньоквадратичне відхилення визначається як[19]:

$$S_{\text{від}}^2 = \sqrt{\frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_n - \bar{y})^2}{N(n-1)}}$$

Середнє арифметичне дослідів визначається як[19]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_1^N y_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{25,37 + 26,42 + 24,23}{3} = 25,34$$

Дисперсія відтворення другого дослідів визначається як [19]:

$$S^2 = \frac{\sum_1^n (y_n - \bar{y})^2}{n}$$

$$S^2 = \frac{(25,37 - 25,34)^2 + (26,42 - 25,34)^2 + (24,23 - 25,34)^2}{(3 - 1)} = 0,3.$$

Знаходимо дисперсію відтворення всієї матриці визначається як [19]:

$$S_{\text{від}}^2 = \frac{4 \cdot ((22,9 - 23,1)^2 + (23 - 23,1)^2 + (23,15 - 23,1)^2)}{4 \cdot 2} = 0,3.$$

$$S_{\text{від}} = 0,548$$

Середньоквадратична похибка визначається як [18]:

$$S_{bi} = \frac{S_{\text{від}}}{\sqrt{N}},$$

$$S_{bi} = \frac{0,548}{\sqrt{4}} = 0,274$$

Знаходимо значимість коефіцієнтів за критерієм Стюдента[19]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{bi}},$$

$$t_0 = \frac{|26,448|}{0,274} = 96,523; \quad t_1 = \frac{|6,088|}{0,274} = 22,217;$$

$$t_2 = \frac{|8,563|}{0,274} = 31,25; \quad t_{12} = \frac{|-1,398|}{0,274} = 5,1.$$

Для даного рівня значення $q=0,05$ та числа степенів свободи $f=2$, тоді значення критерію Стюдента буде дорівнювати 4,3.

Рівняння отримує вигляд :

$$Y = 26,448 + 6,088x_1 + 8,563x_2 - 1,398x_1x_2$$

Тоді рівняння з натуральними показниками матиме вигляд:

$$Y = 26,448 + 6,088 \cdot \frac{x_1 - x_{1.0}}{\Delta x_1} + 8,563 \cdot \frac{x_2 - x_{2.0}}{\Delta x_2} - 1,398 \cdot \frac{x_1 - x_{1.0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_2 - x_{2.0}}{\Delta x_2},$$

$$Y = 26,448 + 6,088 \cdot \frac{t_1 - 37}{13} + 8,563 \cdot \frac{t_2 + 7}{17} - 1,398 \cdot \frac{t_1 - 37}{13} \cdot \frac{t_2 + 7}{17},$$

$$t_{\text{вп}} = 0,424t_{\text{рад}} + 0,738t_{\text{зс}} - 0,006t_{\text{рад}}t_{\text{зс}} + 14,289.$$

Рівняння, яке було отримано, описує вплив та температури радіатора на температуру повітря в купе та дає змогу визначити температуру радіаторів для підтримки необхідної температури всередині купе в проміжку температур навколишнього середовища які розраховувались.

Було отримане графічне зображення (рис. 3.5) залежності температури в середині приміщення від температур зовнішнього середовища та радіатора.

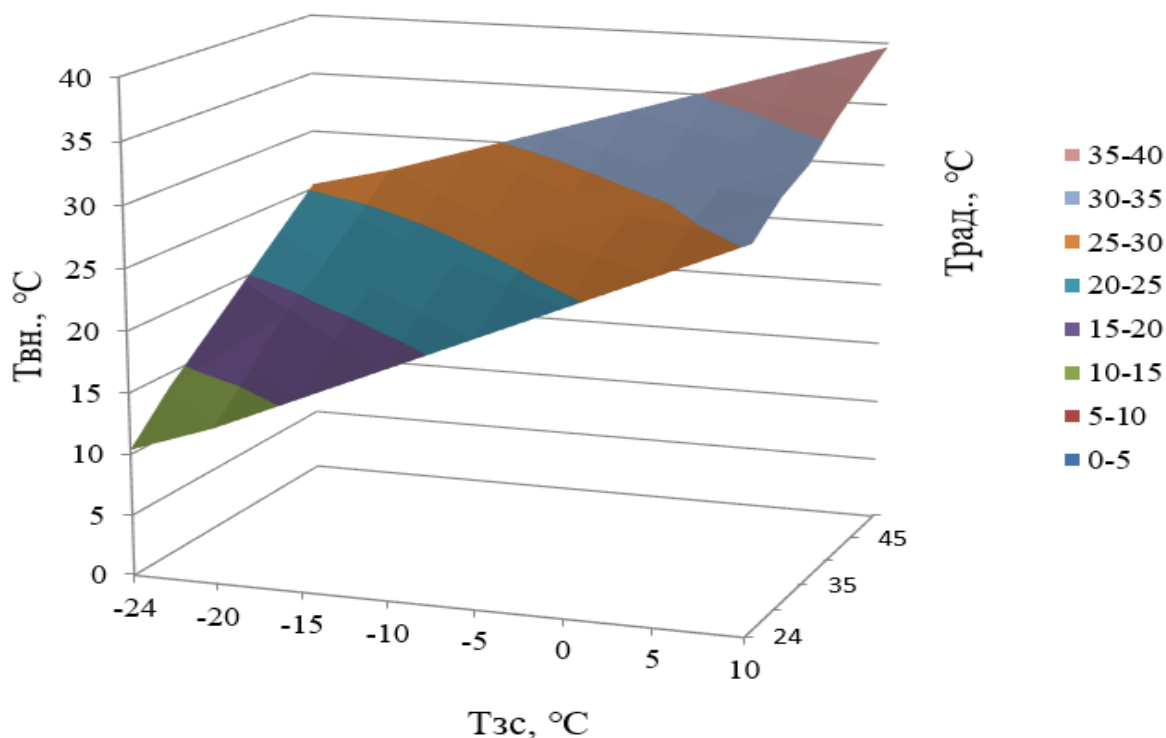


Рисунок 3.5– Геометрична інтерпретація залежності температури в середині приміщення від температур радіатора та зовнішнього середовища.

Отриманий графік дає змогу оперативно змінювати температуру радіатора для підтримки необхідної температури повітря в середині купе в залежності від температури навколишнього середовища. Для простоти використання, на основі раніше отриманого рівняння, було побудовано два графіка(рис 3.6) які відображають необхідну температуру радіатора при зміні температури зовнішнього повітря для підтримання в купе 16, 18, 20 та 22⁰С.

Графік на рисунку 3.5 дозволяє оперативно коректувати температури радіатора для підтримання певної температури повітря в середині в купе в

залежності від температури оточуючого середовища. Для спрощення використання, на основі визначено вище рівняння були побудовані чотири графіка(рис. 3.6) які відображають залежність температури радіатора від температури навколишнього повітря для підтримання в купе 16, 18, 20 та 22⁰С.

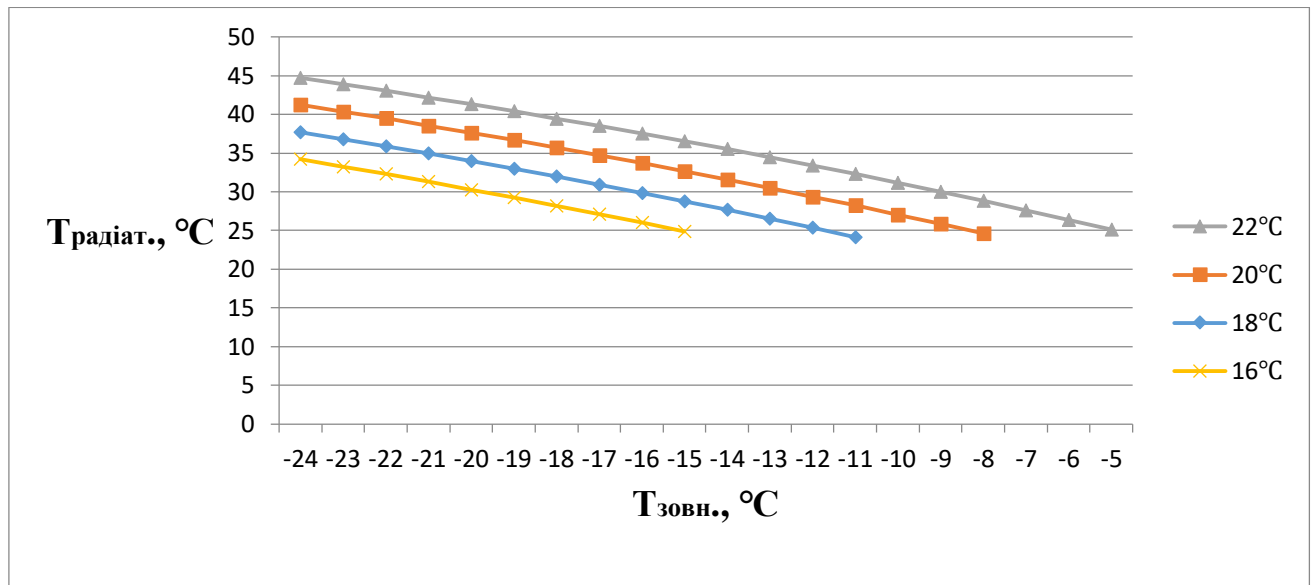


Рисунок 3.6– Геометрична інтерпретація залежності температури радіатора від температури навколишнього повітря для підтримання в купе 16, 18, 20 та 22⁰С

3.3 Висновок за розділом

- Проведено факторний експеримент з двома факторами: температура радіатора та температурою навколишнього середовища
- Отримали графічне зображення руху повітря в купе та поширення температури по об'ємі купе від радіатора.
- Розроблено рівняння залежності температури в середині купе від температури зовнішнього повітря та температури радіатора. Отримане рівняння дозволяє швидко визначати необхідну температуру радіатора для підтримки мінімальної необхідної температури в середині купе для комфортного перебування в ньому пасажирів, в залежності від температури навколишнього середовища

4 ПРОВЕДЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО РОЗРАХУНКУ

Нестаціонарними тепловими процесами називають процеси теплообміну, що протікають в змінюваному в часі температурному полі. Особливістю цих процесів є зміна тепломісткості тіл і пов'язане з цим їх нагрівання або охолодження. Найчастіше нестаціонарний теплообмін спостерігається в періодично діючих апаратах (нагрівання або охолодження). У безперервно діючих апаратах нестаціонарне перенесення тепла виникає лише в періоди пуску, зупинки або зміни режиму їх роботи [20]. При розрахунку нестаціонарних процесів теплообміну визначають або час, необхідний для нагрівання або охолодження, або кінцеву температуру [20]. Будь-який процес нагрівання або охолодження тіла можна розділити на три режими. Перший з них характеризується поступовою зміною температури при цьому швидкість зміни температури в окремих точках різна, а температурне поле залежить від початкового розподілу температур. Надалі вплив початкового розподілу температур в тілі зникає, і відносна швидкість зміни температури в кожній точці тіла стає постійною величиною. Після закінчення тривалого часу настає третій, стаціонарний режим [20].

Було виконано 3 розрахунки, в першому було розраховано нагрівання купе при мінімальній температурі навколишнього середовища (-24°C) та максимальній температурі радіатора ($+50^{\circ}\text{C}$), в інших розрахунках проводилось охолодження при температурі навколишнього середовища -24°C , для порівняння в другому розрахунку було ввімкненою подачою теплого повітря, а в останньому цілком вимкненою системою опалення.

4.1 .Процес нагрівання

Під час виконання процесу нагрівання вагону купе був проведений нестаціонарний розрахунок. Для цього розрахунку після повного

охолодження вагону був увімкнений радіаторта зподача теплого повітря з вентиляції. Нагрівання почали з початкової температури 15 °С, й проводили розрахунок протягом 24 годин з кроком 15 хвилин. Температура назовні - 24 °С.

Розглянемо розподіл температур в купе після нагрівання(рис 4.1).

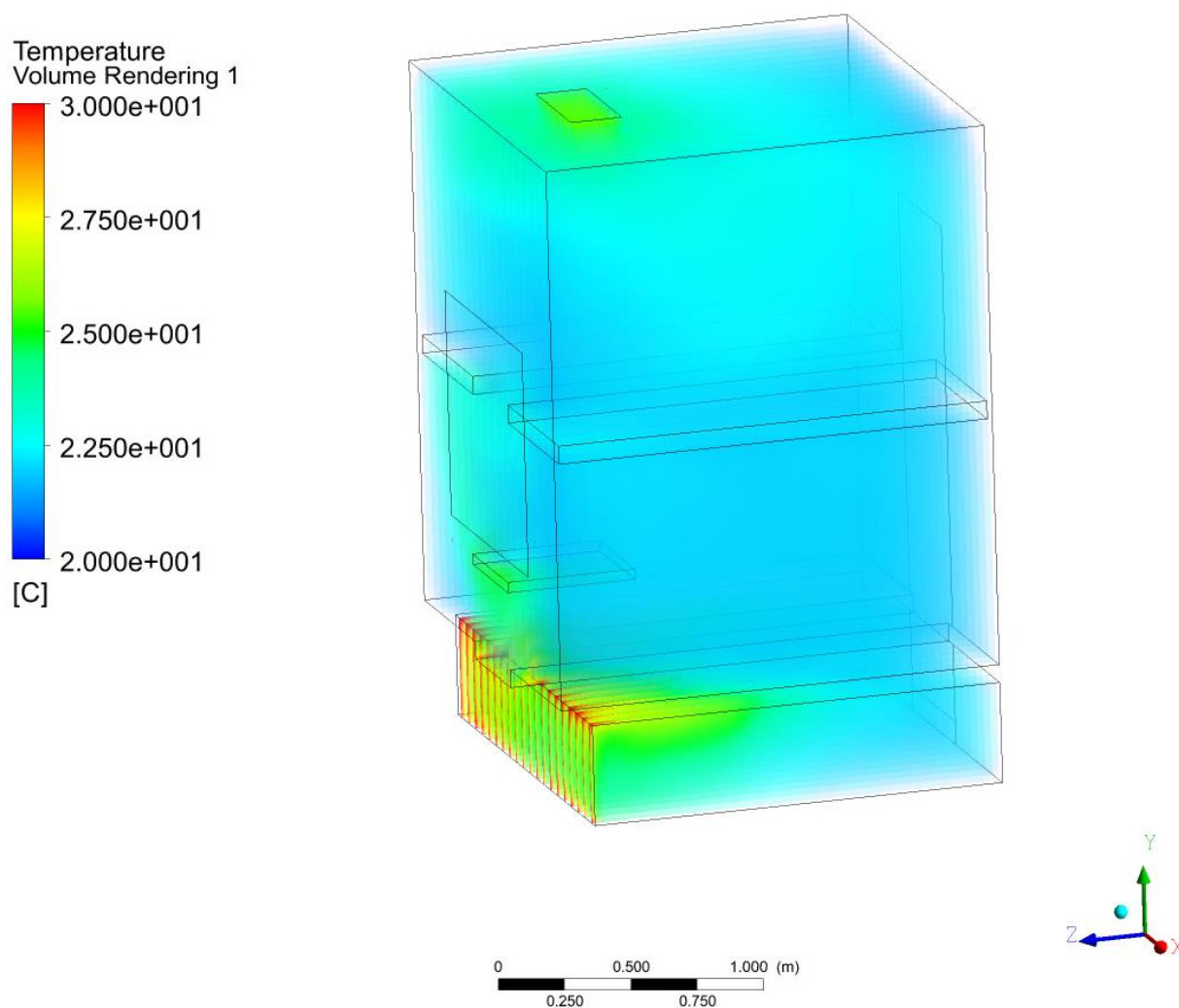


Рисунок 4.1– Розподіл температури по купе після нагрівання.

Як бачемо з малюнка 4.1 повітря дещо холодніше в нижній частині купе та біля вікна, це пояснюється тим що значенна частина тепловтрат відбувається саме через ці елементи конструкції.

Розглянемо характер процесу нагрівання в часі рис 4.2

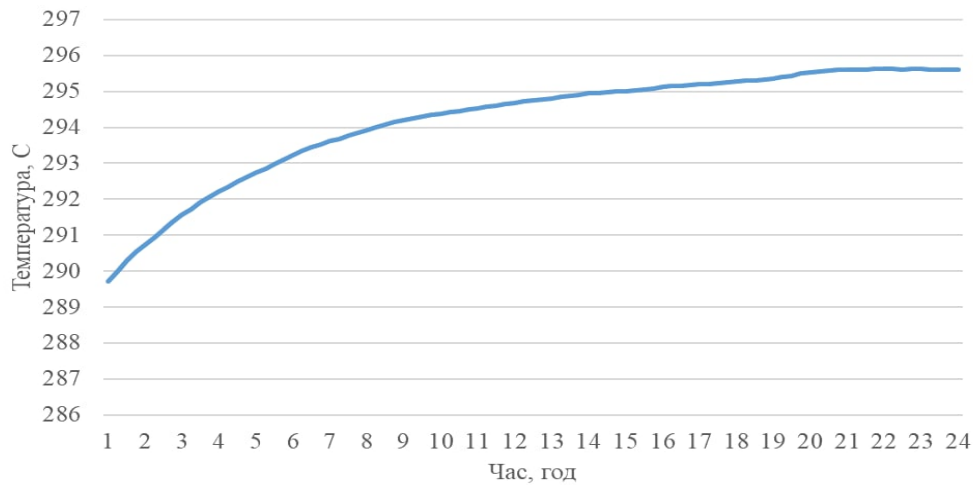


Рисунок 4.2 – процес нагрівання в часі

Аналіз графіка демонструє, що для виходу на стаціонарний режим необхідно приблизно 20 годин. Як бачимо з графіку нагрівання відбувається плавно, це зумовлено не великою площею поверхонь через яку відбуваються тепловтрати. Вже через шість годин години температура в купе задовольняє норми згідно з ДСТУ.

4.2 Процес охолодження з ввімкненою подачою теплого повітря

Під час виконання процесу охолодження вагону купе був проведений нестационарний розрахунок. Для цього розрахунку був вимкнений радіатор, але залишена подача теплого повітря з вентиляції. Охолодження почали з початкової температури 25 °С, й проводили розрахунок протягом 24 годин з кроком 15 хвилин. Температура зовнішнього середовища -24 °С.

Розглянемо розподіл температур в купе після охолодження на рис 4.3

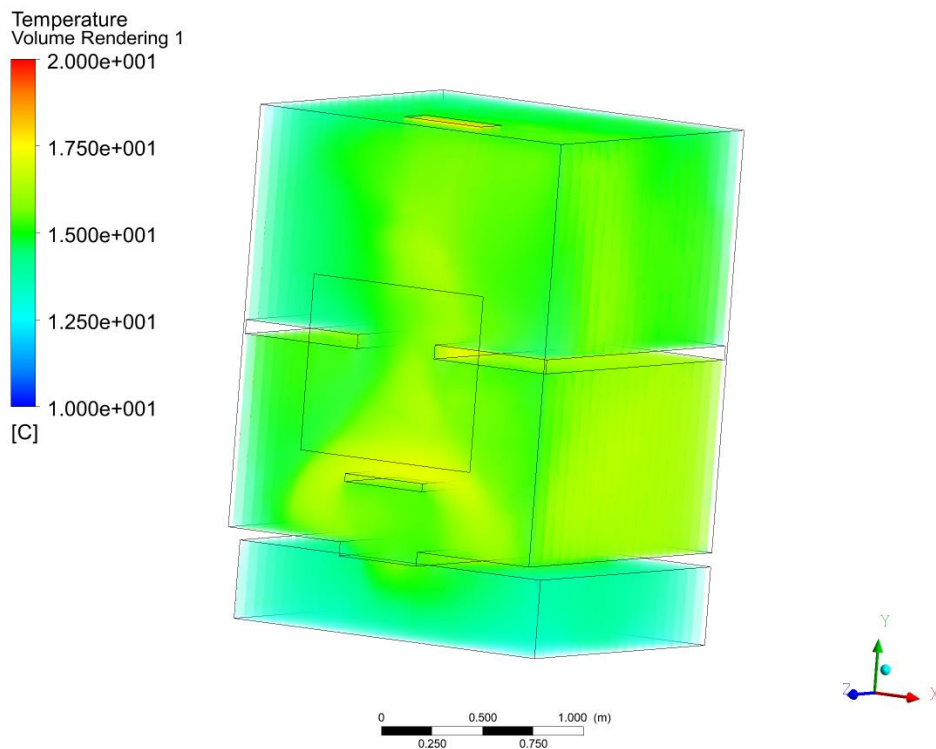


Рисунок 4.3 – Розподіл температури по купе після охолодження, з увімкненою подачею теплого повітря

Як бачемо з малюнка 4.3 повітря дещо холодніше в нижній частині купе та біля вікна, це пояснюється тим що значенна частина тепловтрат відбувається саме через ці елементи конструкції.

Розглянемо характер процесу охолодження в часі рис 4.4

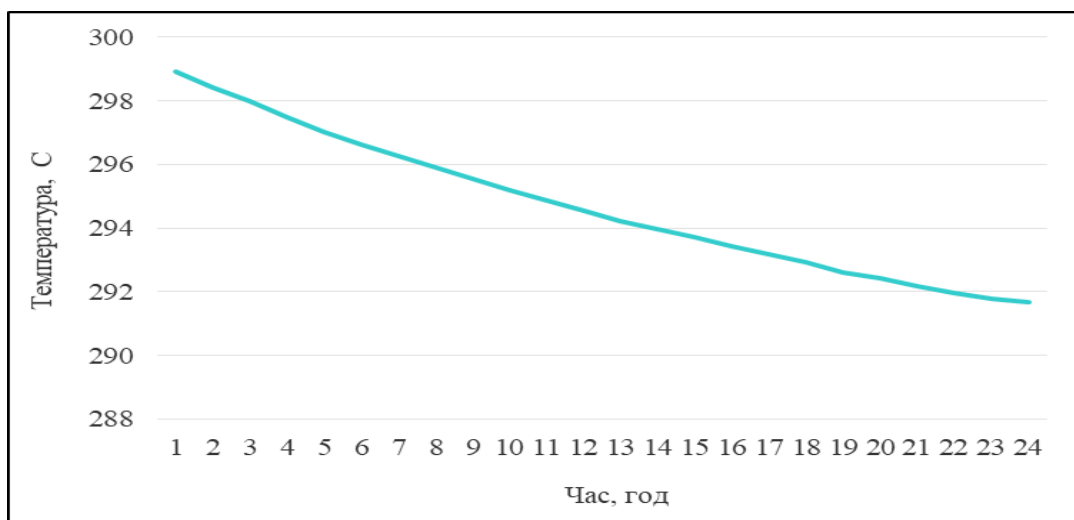


Рисунок 4.4 – Охолодження в часі, з увімкненим повітряним опаленням

Аналіз графіка демонструє, що для виходу на стаціонарний режим охолодження 24 годин не достатньо. Як бачимо з графіку охолодження відбувається плавно, це зумовлено не великою площею поверхонь через яку відбуваються тепловтрат

4.3 Процес охолодження з повністю вимкненою системою опалення

Для другого розрахунку був вимкнений радіатор та подача теплого повітря з вентиляції. Охолодження почали з початкової температури 25 °С, й проводили розрахунок протягом 24 годин з кроком 15 хвилин. Температура зовнішнього середовища -24 °С.

Розглянемо розподіл температур в купе після охолодження на рис 4.5

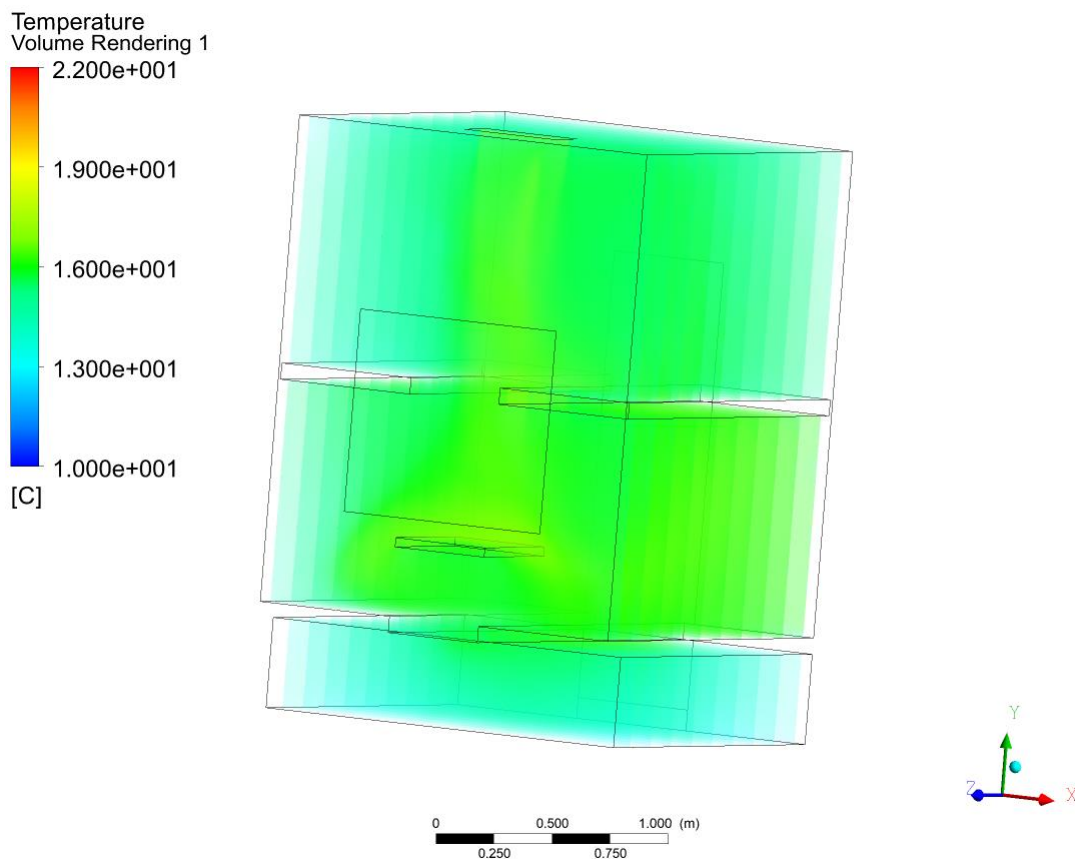


Рисунок 4.5 – Розподіл температури по купе після охолодження

Тенденція розподілу температури схожа з першим розрахунком охолодження, не зважаючи на те що температури дещо нижчі.

Розглянемо характер процесу охолодження в часі рис 4.6

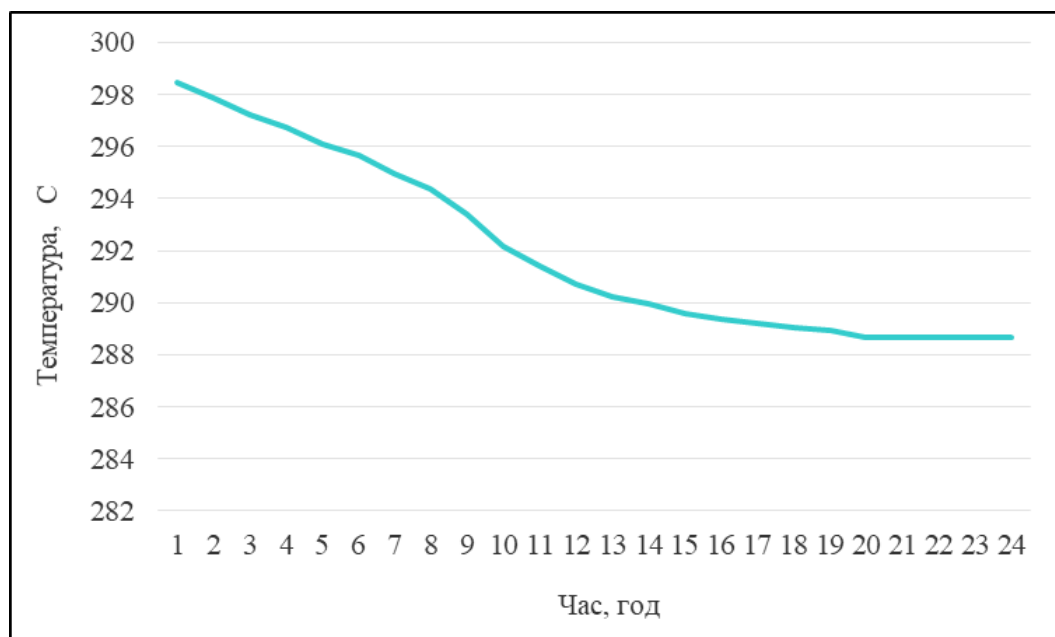


Рисунок 4.6 – Охолодження в часі

Аналіз графіка демонструє, що для виходу на стаціонарний режим необхідно 19 годин. Охолодження відбулось значно швидше в порівнянні з першим дослідом. Після 13 годин інтенсивність охолодження зменшується та починає вирівнюватись.

4.4 Порівняння охолодження з увімкненою системою подачею теплого повітря та без неї

Для порівняння, охолодження вагону з увімкненою системою подачі теплого повітря та без неї, було побудовано дві кривих охолодження по часу які показані на рисунку 4.7

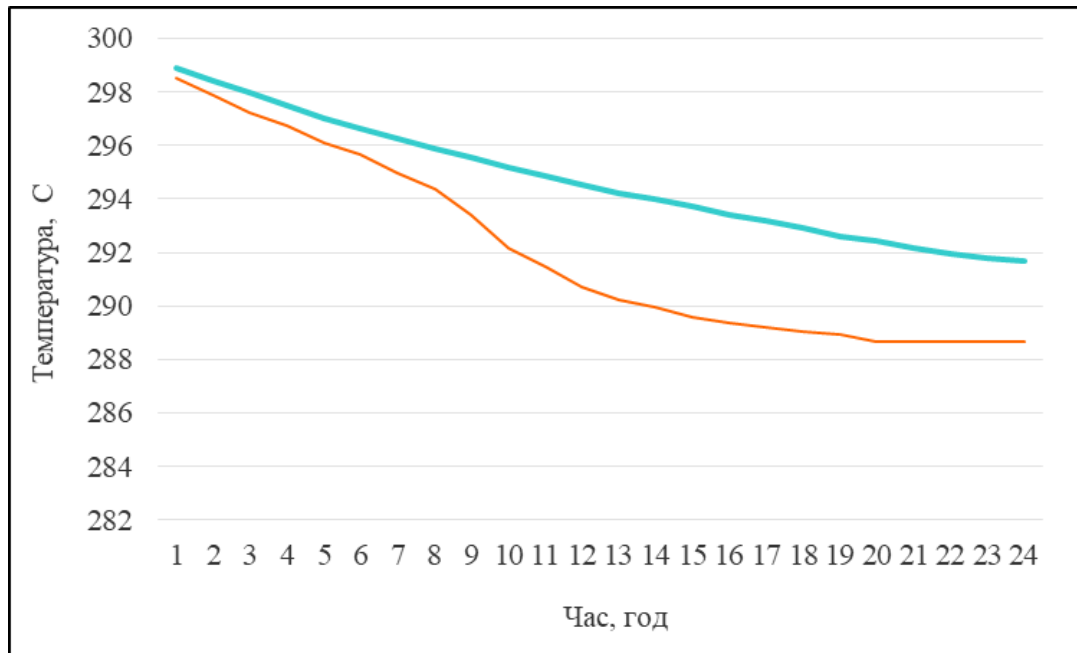


Рисунок 4.7– Охолодження в часі; Синій графік з увімкненою системою подачі теплого повітря; Помаранчевий з вимкненою системою подачі теплого повітря

Аналіз графіка демонструє, важливість системи подачі теплого повітря. Навіть при вимкненій основній системі опалення, підігріте повітря дає змогу підтримувати температури на необхідному рівні згідно норм(+20°C) на протязі 18 годин, що на 9 годин довше в порівнянні з випадком у якому вимкнено систему підігріву цілком.

4.5 Висновок за розділом

- В результаті нестационарного розрахунку було встановлено:
- Температура в купе задовольняє норми через шість годин з моменту ввімкнення системи опалення
- При вимкненій основній системі опалення, система подачі теплого повітря дасть змогу підтримувати температури на рівні встановлених норм на протязі 18 годин, а при цілком вимкненій системі опалення вже через 9 годин

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів що можуть виникати на робочому місці проектанта

Як робоче місце було розглянуто філію «Проектно-конструкторське технологічне бюро інформаційних технологій»

Для працівника несприятливими подіями внаслідок впливу умов праці є стрес, втома, травма, захворювання (хвороба), смерть. Втома - фізіологічний стан організму, що виникає внаслідок надмірно інтенсивного або тривалої діяльності, що виявляється тимчасовим зниженням функціональних можливостей людського організму. Розрізняють фізичну, розумову і емоційну втому[21].

Фізична втома проявляється в порушеннях функцій м'язів: зниженням точності, сили, ритмічності і узгодженості рухів; виникає при тривалій або інтенсивній фізичній діяльності.

Розумова втома проявляється зниженням продуктивності інтелектуальної праці, ослабленням уваги, уповільненням мислення, зниженням показників інтересу до роботи, розумової активності; виникає при інтенсивній інтелектуальній діяльності[21].

Емоційна втома проявляється помітним зниженням емоційних реакцій під впливом монотонних або надсильних подразників (стресів).

Недостатній час відпочинку або надмірне робоче навантаження протягом тривалого часу може привести до хронічної втоми або перевтоми. Розрізняють психічну (душевну) і розумову перевтому. В умовах сучасного ритму праці і життя все частіше у працівників з'являється синдром хронічної втоми[21].

Стрес є серйозною проблемою психологічно характеру для багатьох організацій. Він може бути спричиненим багатьма факторами, включаючи шум від працюючого обладнання або переповнення приміщення людьми, поганих

відносин з колегами та/або керівництвом, збільшенням робочого навантаження і недостатньою свободою дій при виконанні роботи[21].

Іншими масово поширеними несприятливим наслідками праці є те або інше захворювання яке може проходити бурхливо або відносно швидко минути, тривати роками чи періодично загострюватися (хронічні).

Захворювання які спровоковані умовами праці, називають виробничозумовленими захворюваннями[21].

Специфічні впливи факторів, пов'язаних з конкретними виробничими чинниками, призводить до розвитку певних, спричинених цими факторами, захворювань. Оскільки такі захворювання викликані несприятливими умовами праці на конкретних робочих місцях конкретних професій, то їх називають професійними захворюваннями[21].

Погане загальне освітлення та тривале використання комп'ютерів викликає напругу зору, в результаті чого воно погіршується, з'являються головні болі, відчуття втоми в очах і печіння. Регулювання рівня освітленості приміщення і контрастності зображення на екрані комп'ютера, а також часта перефокусування очей необхідні для попередження виникнення проблем із зором. Освітлення має відповідати характеру виконуваної роботи[21].

Захворювання кістково-м'язової системи та пошкодження м'яких тканин типу тендиніту виникають в результаті використання меблів та обладнання, які не відповідають індивідуальним анатомічним особливостям. Тендинит може розвинутися в результаті повторюваних рухів окремих частин тіла. Так, наприклад, починають боліти пальці від тривалого писання або при роботі з дуже товстими папками, які необхідно постійно діставати із шаф і повертати на місце. Багато працівників страждають від різноманітних зап'ястя і грудної клітини, через погану підгонку меблів і устаткування і відсутності перерви у друкуванні (на клавіатурі комп'ютера) або інших повторюваних діях. Недосконала конструкція меблів і обладнання призводять також до порушення постави і здавлення нервів нижніх кінцівок, так як багато працівників більшу частину часу проводять сидячи. Всі перераховані фактори сприяють

виникненню захворювань нижніх кінцівок та попереку в такій же мірі, як і тривале стояння[21].

Одним з найпоширюваніших небезпечних факторів являється травмування. Причинами травм можуть бути: падіння, порізи, удари, проколи, поранення, роздроблення, переломи, опіки, електроопіки, електричні удари, обмороження, теплові удари, осліплення тощо[21].

Найчастіше травми можна отримати, якщо спіткнутися, посковзнутися або впасти. Якщо на вулиці погана погода: йде дощ, сніг або утворився ожеледь, а в приміщенні не проводиться своєчасне прибирання, то посковзнутися можна і на вологій підлозі. Спіткнутися можна, як правило, об телефонні та електричні шнури, протягнуті в проходах і коридорах. Розташувані електричних розподільних шаф в коридорах і проходах також можуть ускладнити пересування службовців[21].

При неправильному зберіганні устаткування і матеріалів вони можуть впасти або розсипатися, завдавши тілесні ушкодження працівникам, а в разі їх недбалого розташування в приміщенні працівники будуть постійно на них натикатись. Порізатися можна при використанні офісного обладнання типу паперорізальних машин, а також висувних ящиків, шаф і столів з гострими краями[21].

Небезпека ураження електричним струмом виникає, коли електричні дроти протягнуті впоперек коридорів та проходів, що може привести до їх пошкодження чи недотримання правил електробезпеки[21].

Небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі. [21].

Погана якість повітря в приміщенні викликає, мабуть, найбільша кількість скарг з боку працівників, коли мова заходить про охорону їхнього здоров'я та забезпечення безпеки. Існує багато причин, що приводять до зниження якості повітря. Серед них - закриті або герметизовані споруди, куди надходить занадто мала кількість зовнішнього повітря; переповненість

приміщення людьми, не вчасне технічне обслуговування системи вентиляції; наявність в оточенні пестицидів і чистячих засобів, збиток, заподіяний водою і поява цвілі; підвищена або знижена вологість і бруд у приміщенні (погана організація внутрішнього побуту). У таблиці 5.1[21]. наводиться список основних типів забруднювачів внутрішнього повітря, виявлених в більшості офісних приміщень. Основним джерелом таких забруднень є офісне обладнання. На жаль, при розробці систем вентиляції більшості робочих приміщень це не враховують[22].

Таблиця 5.1 Основні типи забруднювачів внутрішнього повітря[22].

Поллютант	Джерела	Вплив на здоров'я
Летучі органічні сполуки	Фотокопіювальні та інші офісні машини, килими, новий пластик	Роздратування очей і дихальної системи, алергічні реакції
Азбест	Продукти ізоляції, що з піною суміші, вогнегасники, стельова і підлогова плитка	Пульмональний (легеневий) фіброз, рак
Вуглекислий газ	Видихуваний людьми повітря, горіння	Головний біль, блювота, запаморочення
Чадний газ	Автомобільні вихлопи, тютюновий дим, горіння	Головний біль, слабкість, запаморочення; тривалий вплив може призвести до серцевих захворювань
Формальдегід	Використовувана для закріплення ламінованих дерев'яних продуктів, таких як Древесностругана плита і фанера; тютюновий дим	Роздратування дихальної системи, очні і шкірні роздратування, блювота, головний біль, втома, можливість ракового захворювання
Фреони	Негерметичні кондиціонери	Роздратування дихальної системи;
Аміак	чистячі розчини, світлокопіювальні машини	Роздратування очей, шкіри та дихальної системи
Мікроорганізми (віруси, бактерії, грибки)	Зволожувачі повітря і кондиціонери, парообразующих конденсатори, градирні, цвіла папір, старі книги, волога газетний папір	Респіраторні інфекції, алергічні реакції

Майже всюди низька якість внутрішнього повітря сприяє збільшенню захворюваності професійної астмою та іншими респіраторними захворюваннями, підвищення чутливості до впливу хімічних речовин і розвитку на цій основі алергічних реакцій[22].

5.2 Техніка безпеки на залізничній дорозі

На працівників вокзалів і станцій можуть впливати такі шкідливі та небезпечні фактори:

- підвищена запиленість;
- рухомий склад який рухається, та транспортні засоби;
- нижена або підвищена з температура повітря;
- електрична напруга;
- нервово-психічні перевантаження під час виконання робіт;
- вібрації і підвищений рівень шуму на робочих місцях[23].

На кожній залізничній станції та вокзалі розробляються інструкції відповідно до вимог Положення про розробку інструкцій з охорони праці. В узагальненому виді ці правила мають наступний вигляд:

- Усі працівники, які виконують роботи, пов'язані з рухом поїздів, та інші роботи в умовах підвищеної небезпеки, підлягають обов'язковому медичному огляду відповідно до вимог
- До обслуговування електроустановок допускаються працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки
- Під час проходу вздовж колії необхідно стежити: заодиначними локомотивами, поїздами, маневровими складами або відчепами вагонів; за тим, чи немає предметів, які виступають за межі габаритів рухомого складу; за пристроями та предметами, які розміщені на шляху прямування.

- Під час виходу на колію зі споруд, із-за рухомого складу, будівель, тощо необхідно попередньо перевірити відсутність рухомого складу, що рухається на шляху прямування працівника або наближається до переходу.

- Переходити колії дозволяється тільки під прямим кутом, попередньо переконавшись у тому, що на відстані не менше 400 м немає рухомого складу, який рухається до місця переходу.

- Складачам поїздів дозволяється переходити колію на відстані від них не менше ніж 3 м, а проходити в просторі між розчепленими вагонами, якщо відстань між ними становить не менше ніж 5 м.

- Іншим працівникам станцій і вокзалів дозволяється обходити групи вагонів або локомотиви, що стоять на колії, на відстані від них не менше ніж 5 м, а проходити в просторі між розчепленими вагонами, якщо відстань між ними становить не менше ніж 10 м.

- Не дозволяється для переходу через колію підлазити під вагони.

- Під час переходу через колію яка зайнята рухомим складом, що стоїть, необхідно користуватися тільки перехідними площадками вагонів.

- Під час користування перехідною площадкою вагона необхідно переконатися в справності підніжок та поручнів, у відсутності рухомого складу, який рухається суміжною колією на небезпечній відстані, а також у тому, чи немає на міжколійя або збіччі предметів, через які можна спіткнутися.

- Заходити та сходити з перехідної площадки вагона треба обличчям до вагона, тримаючись за поручні.

- При призначенні на роботу на нову станцію чи новий район станції локомотивна та складацька бригади перевіряються на знання техніко-розпорядчого акта станції та місцевих інструкцій і інструктуються про особливості роботи на даній станції або районі.

- Не дозволяється проїзд на автозчепаччи буксах стоячи на платформі, сидячи на бортах платформичи на перехідних площадках, спеціальних підніжках вагонів.

- Не дозволяється працівникам під час руху біля високих платформ стояти на спеціальній підніжці вагона з боку високої платформи.
- Обладнання установками автоматичного пожежогасіння та пожежної сигналізації (уключаючи системи оповіщення про пожежу) у виробничих і складських будівлях виконується з урахуванням вимог Правил пожежної безпеки в Україні[23].

Пішоходам, що пересуваються біля залізничних об'єктів, забороняється:

1. Ходити по залізничних коліях.
2. Переходити і перебігати через залізничні колії перед потягом (або локомотивом, вагоном, дрезиною тощо), що наближається, якщо до нього залишається менше ніж 400 метрів.
3. Переходити колію відразу після проходу потяга (або локомотива, вагона, дрезини тощо), не впевнившись, що по сусідніх коліях не пересувається рухомий склад.
4. Переходити залізничні переїзди при закритому положенні шлагбаума або при червоному світлі світлофора переїздної сигналізації.
5. На станціях і перонах пролізати під вагонами і перелізати через автотзепи для переходу через колію.
6. Проходити вздовж залізничної колії ближче п'яти метрів від крайньої рейки.
7. Проходити по залізничних мостах і тунелях, не обладнаних спеціальними настилами для проходу пішоходів.
8. Пролізати під закритим шлагбаумом на залізничному переїзді, а також виходити на переїзд, коли шлагбаум починає закриватися.
9. На електрифікованих лініях підніматися на опори, а також торкатись до металевих проводів заземлення, які ідуть від опори до рейки.
10. Наближатися до електропроводу, що лежить на землі, ближче ніж на 10 метрів.

11. Підніматися на дах потягів, локомотивів, вагонів тощо.
12. Класти на рейки залізничної колії будь – які предмети.
13. Підходити ближче ніж на 0,5 метра до краю платформи після оголошення про подачу або прибуття потяга до його повної зупинки[24].

Пасажирам залізничного транспорту забороняється:

1. Проїжджати на дахах, підніжках, перехідних площадках вагонів.
2. Заходити у вагон та виходити з вагона під час руху потяга.
3. Висуватися із вікон вагонів і дверей тамбурів під час руху потяга.
4. Стояти на підніжках і перехідних площадках, відчиняти двері вагонів під час руху потяга, затримувати автоматичні двері вагонів під час їх зачинення та відчинення.

5. Проїжджати у вантажних потягах без спеціального дозволу.
6. Знаходитись в потязі у нетверезому стані.
7. Залишати дітей без нагляду на вокзалі та в потязі.
8. Провозити у вагонах легкозаймисті, шкідливі та вибухові речовини.

Виходити із вагона на міжколійя і знаходитись там під час руху потяга.

9. Стрибати з платформи на залізничні колії.
10. Проводити на пасажирських платформах рухомі ігри.
11. Бігти по платформі поруч із вагоном потяга, що прибуває або відходить, а також перебувати ближче ніж 2 метри від краю платформи під час проходу потяга без зупинки.
12. Підходити до вагона до повної зупинки потяга.
13. Без потреби самовільно зупиняти потяг.
14. Самостійно перевозити ручну поклажу засобами, які призначені для перевезення пошти або багажу працівниками пошти та залізниці.
15. Розміщувати ручну поклажу в тамбурах вагона, коридорі салону, проходах купе та в проході вагона приміського потяга[24].

5.3 Дії працівників під час виникнення пожежі у приміщенні

У разі виникнення пожежі або ознак горіння кожен працівник зобов'язаний:

1. негайно повідомити про це телефоном аварійно-рятувальну службу. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

2. Вжити за можливості заходи по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;

3. Повідомити про пожежу керівника чи відповідальну компетентну посадову особу та чергового об'єкту;

4. У разі необхідності викликати інші аварійні служби (медичну, газорятувальну тощо)[25].

Посадова особа об'єкта, що першою прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликана аварійно-рятувальна служба (продублювати повідомлення), довести подію до відома керівника установи:

- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію) використовуючи для цього наявні сили та засоби;

- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;

- припинити роботи на об'єкті (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі);

- здійснити у разі необхідності відключення електроенергії, агрегатів, (за винятком систем протипожежного захисту);

- організувати зустріч підрозділів аварійно-рятувальної служби, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху до осередку пожежі та до водних джерел;

- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі[25].

5.4 Висновок за розділом

В розділі охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях були розглянені наступні питання:

- Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів що можуть виникати на робочомк місці проектанта
- Техніка безпеки на залізничний дорозі
- Дії працівника під чам виникнення пожежі у приміщенні

ВИСНОВОК

В результаті виконання даної бакалаврської роботи отримані наступні результати:

1. Розглянуті основні параметри мікроклімату та їх нормативні значення відповідно до ДСТУ;
2. Проведено огляд рухомих складів поїздів. Було визначено що вагон моделі 61-817 один з най поширеніших вагонів в Україні;
3. Згідно з реальних розмірів вагону була створена тривимірна модель повітря в середині купе за допомогою програмного продукту SolidWorks;
4. Була розбита розрахункова сітка після переносу геометричної моделі до генератору сіток ICEM CFD;
5. Розраховані коефіцієнти теплопровідності для всіх огороджувальних конструкцій;
6. Проведено факторний експеримент з двома факторами: температура радіатора та температурою навколишнього середовища;
7. Отримали графічне зображення руху повітря в купе та поширення температури по об'ємові купе від радіатора;
8. Розроблено рівняння залежності температури в середині купе від температури зовнішнього повітря та температури радіатора. Отримане рівняння дає змогу швидко визначати необхідну температуру радіатора для підтримки її необхідної температури в середині купе для комфортного перебування пасажирів, в залежності від температури навколишнього середовища;
9. Згідно з результатів нестационарного розрахунку температура в купе задовольняє норми через шість годин з моменту ввімкнення системи опалення, а при вимкненні системи опалення;
10. В результаті нестационарного розрахунку було встановлено, що при вимкненій основній системі опалення система подачі теплого повітря, дасть змогу підтримувати температури на рівні встановлених норм на протязі 18 годин,

в порівнянні при повністю вимкненій системі опалення температура впаде нижче норми вже через 9 годин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. СХВАЛЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071
2. Лазаренко А.А., Хованський С.О. Моделювання теплового стану пасажирського вагону купейного типу з комбінованою системою опалення. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) : тези доповідей . Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 323.
3. Програма (прогнозна) оновлення рухомого складу АТ «Укрзалізниця» на період до 2021 року. АТ «Укрзалізниця». 2017. URL: <http://eurotrain.railwaypublish.com/assets/files/pdf/1.pdf>. (Дата звернення 14.11.2017).
4. Ефимова Г. Н. Специфика и проблемы сервиса на железных дорогах. Современные проблемы сервиса и туризма. 2010. № 1. С. 51–57.
5. Дисертація: «Удосконалення функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів» Білошицький Е. В.
6. Газета «Магістраль» ПАТ «Укрзалізниця» №46 (2281), 29 листопада — 5 грудня 2017 р.
7. [Електронний ресурс]. <https://studfile.net/preview/8072657/page:7/#9>
8. [Електронний ресурс]. http://www.klimatvdomi.com/index_0_ua.html
9. Проект ПРООН/ГЕФ «Усунення бар'єрів для сприяння інвестиціям в енергоефективність громадських будівель в малих і середніх містах України шляхом застосування механізму ЕСКО» якість повітря в громадських будівлях та шляхи її покращення
10. ДСТУ № 4049

11. Пасажи́рські ваго́ни. Особливості будови і технічні пристрої забезпечення комфорту для пасажирів. Елена Григорьевна Дьякова
Анна Давидовна Трахтенберг.
12. Любимов А.К., Шабарова Л.В. Методы построения расчетных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011 – 25 с.
13. [Електронний ресурс] [http://elkniga.info/book_18_glava_19_2.4_CN
iselne%20_modeljuvannja,m.html](http://elkniga.info/book_18_glava_19_2.4_CN_iselne%20_modeljuvannja,m.html)
14. Фізика теплопровідності та експериментальні методи визначення коефіцієнту теплопровідності речовин. Автори: В.В. Калінчак С.Г. Орловська, О.С. Черненко.
15. Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування. Автори: В.С. АНТОНЮК, Г.С Тимчик
16. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника (с Изменениями N 1-4)
17. ДБН В.2.6-31:2006
18. Факторний експеримент [Електронний ресурс]: «Регресійний аналіз і планування експериментів» - Режим доступу до ресурсу: http://vysloukh.in.ua/6_Regres_analiz1.pdf
19. Основы научных исследований. Авторы: Е.Г.Баранов, В.А.Бунько
О.В.Колоколов А.И.Денисенко
20. [Електронний ресурс]. <https://studfile.net/preview/5470469/page:18/>
21. Безпека праці та промислова санітарія. За редакцією К.Н. Ткачука і
О.Л. Гуменюк
22. Журнал "Довідник кадровика" №8 2007 Микола Лисюк, директор
Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та
охорони праці
23. Наказ № 44 державного комітету України з промислової безпеки, охорони
праці та гірничого нагляду
24. [Електронний ресурс] [https://selidovo-rada.gov.ua/novini/pravila-bezpeki-na-
zaliznichnikh-transporti-koliyakh-ta-stantsiyakh-ta-poblizu-nikh](https://selidovo-rada.gov.ua/novini/pravila-bezpeki-na-zaliznichnikh-transporti-koliyakh-ta-stantsiyakh-ta-poblizu-nikh)

25.Наказ про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні № 1417