

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: « Моделювання теплового стану пасажирського вагону моделі

48-060 з комбінованою системою опалення »

Напрямок підготовки 6.050601 «Теплоенергетика»  
за фаховим спрямуванням «Енергетичний менеджмент»

Виконавець роботи

Богданюк О.С.

(прізвище і ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Випускна робота  
захищена на засіданні  
ЕК з оцінкою

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Хованський С.О.

(прізвище і ініціали)

доцент каф. ПГМ

(наукова ступінь, звання або посада)

\_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Секретар комісії \_\_\_\_\_  
(підпис)

Суми 2019

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., 11 таблиць, 36 рисунків, 22 літературних джерел.

Графічні матеріали: тривимірна модель вагону моделі 48-060, візуалізація розподілу температури по об'єму вагона, візуалізація швидкості руху повітря у вагоні та результати факторного експерименту – усього чотири аркуша формату А3.

Мета роботи: підвищення ефективності використання теплової енергії пасажирських вагонів з комбінованою системою опалення на основі аналізу їх теплових режимів.

Відповідно до мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- розроблено математичну та числову модель теплового стану пасажирського вагону;
- проведено моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в пасажирському вагоні для аналізу його теплового стану;
- на основі розробленої моделі проведена оцінка теплового стану вагону;
- досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі вагону на його загальний тепловий стан.

Предметом дослідження є параметри мікроклімату пасажирського вагону.

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

Методи дослідження: математичне моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS.

Ключові слова: ТЕПЛОВИЙ СТАН ВАГОНУ, МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ ПРОДУКТІ ANSYS, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Тема роботи – «Моделювання теплового стану пасажирського вагону моделі 48-060 з комбінованим типом опалення»

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНІВ .....	8
1.1 Вимоги до параметрів мікроклімату вагону.....	8
1.1.1 Система опалення вагону .....	9
1.1.2 Система вентиляції вагона .....	9
1.1.3 Система водопостачання вагону.....	10
1.1.4 Система електропостачання вагона .....	10
1.2 Конструкція пасажирського вагона .....	10
1.3 Методика розрахунку коефіцієнта теплопередачі кузова вагона .....	12
1.3.1 Огороджуючі конструкції пасажирського вагона .....	14
1.3.2 Двері пасажирського вагону .....	18
1.3.3 Вікна пасажирського вагону .....	20
2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ.....	21
2.1 Створення тривимірної моделі .....	21
2.2 Побудова розрахункової сітки .....	22
2.3 Опис розрахункової моделі.....	26
2.4 Проведення комп'ютерного розрахунку.....	30
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ .....	33
3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі вагону .....	33
3.2 Факторний експеримент для моделі вагону з комбінованою системою опалення .....	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	50

					6.05601.01 БР 00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Богданюк О.С.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хованський С.О.</i>			4	62	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сотник М.І.</i>			СумДУ ЕМ-51		

Моделювання теплового стану  
пасажирського вагону моделі 48-060 з  
комбінованою системою опалення

4.1 Основні методи пожежогасіння.....	50
4.2 Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння .....	51
ВИСНОВОК.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	60

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

На сьогоднішній день питання, яке стосується енергоефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) перетворилося в одну з найважливіших проблем всього світу. Особливо гостро це питання постало перед Україною, це пов'язано з дефіцитом природних ресурсів, високою енергоємністю та поступовим збільшенням споживання енергетичних ресурсів.

Основним рішенням поставлених проблем є проведення заходів з енергозбереження, спрямованих покращення сьогоднішньої ситуації. Енергозбереження являє собою діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна) спрямовану на раціональне використання та економне витрачання різних видів енергії. Актуальним напрямом збереження енергії є широко розповсюджений в Україні залізничний транспорт, який в свою чергу являється значним споживачем енергоресурсів [1].

Згідно з [2], залізнична мережа України є однією з найбільших серед країн Європи, вона грає важливу роль у вантажо- та пасажирообігу країни. Залізничний транспорт являється важливою галуззю для розвитку національної економіки та є основою її транспортної системи. У найближчому майбутні, враховуючи вимоги Європейського Союзу [2], які потребують зменшення кількості викиду шкідливих речовин в атмосферу автомобільним транспортом, популярність та важливість залізничних перевезень з кожним роком буде збільшуватися.

Підвищення енергоефективності залізничного транспорту вимагає використання інноваційних технологій, а також запровадження сучасних стандартів з енергоефективності до проектування нових, так і реконструкції існуючих вагонів, також необхідно врахувати енергоспоживання всіх їх технічних систем.

Метою роботи є підвищення ефективності використання теплової енергії пасажирських вагонів з комбінованою системою опалення на основі аналізу їх теплових режимів.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення даної мети були поставлені та вирішені наступні задачі: розроблено математичну та числову модель теплового стану пасажирського вагону; проведено моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в пасажирському вагоні для аналізу його теплового стану; на основі розробленої моделі була проведена оцінка теплового стану вагону; досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі вагону 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 48-060.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНІВ

## 1.1 Вимоги до параметрів мікроклімату вагону

В пасажирських вагонах використовується енергетичне обладнання, що включає в себе кліматичну систему і комплекс електрообладнання, які є необхідними для забезпечення комфортних умов для перебування пасажирів, роботи поїзних бригад як в русі, так і в пунктах обороту на стоянках. Ефективність роботи енергетичного обладнання та рівень забезпечення комфорту в значній мірі визначаються теплотехнічними якостями пасажирських вагонів. Комфорт в загальному вигляді включає багато факторів, що визначаються умовами життєдіяльності людей, наприклад, в пасажирських вагонах це: освітленість, ергономіка, тип диванів та сидінь, різні види послуг тощо. В даному випадку розглядається основна складова комфорту - гігієнічні умови (параметри) мікроклімату, при яких терморегуляторна система людини знаходиться в стані спокою. У пасажирському вагоні гігієнічні нормативи передбачають регламентування декількох параметрів, що визначають мікроклімат. До них відносяться температура і вологість у приміщеннях постійного (салон) і тимчасового (санітарно-технічні приміщення, тамбур) перебування людей, кількість повітря, що подається, швидкість руху повітря в приміщеннях в зимовий та літній періоди, запиленість повітря, а також температури огороджувальних поверхонь [3]. Параметри мікроклімату для пасажирських вагонів регламентовані та описані в ДСТУ 4049-2001 «Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки». Мікроклімат в вагоні може несприятливо сказитися на здоров'я пасажирів, а тому, його показники відносяться до категорії показників, що визначають не тільки комфортність, але і безпеку. Це свідчить про те, що вони повинні бути обов'язковими для всіх видів рухомих складів та для всіх юридичних і фізичних осіб, пов'язаних із забезпеченням пасажирських перевезень.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.1.1 Система опалення вагону

Технічні вимоги до системи опалення пасажирських вагонів майже не змінювалися на протязі багатьох років. Як і раніше система опалення повинна забезпечувати рівномірний обігрів приміщення в зимовий і перехідні періоди року. В даному випадку застосовується комбінована система опалення. Вода в котлі підігрівається розташованими в водяній сорочці високовольтними нагрівальними елементами, а при відсутності електроенергії - за рахунок спалення твердого палива. Згідно з [4], в зимовий час в салонах вагонів повинна підтримуватись температура повітря в межах  $20 \pm 2$  °С, а в санітарно-технічних приміщеннях не нижче 18 °С. Різниця температур повітря по висоті та довжині приміщень вагона повинна бути не більша ніж 3 °С, при цьому температура поверхонь внутрішніх огорожень не повинна бути нижче ніж 15 °С.

### 1.1.2 Система вентиляції вагона

Системою вентиляції вагона, розрахована на безперервну роботу, вона має подавати певну кількість свіжого повітря в розрахунку на кожне місце в залежності від зовнішньої температури повітря. Згідно [4], кількість повітря, що подається в середину вагона, повинна становити не менша ніж 20 м<sup>3</sup>/год в холодний період року та не менша ніж 30 м<sup>3</sup>/год в теплу пору року. В тому разі коли температура зовнішнього повітря падає до мінус 40 °С, можливе зменшення кількості повітря, яке подається у вагон з навколишнього середовища. Швидкість руху повітря в місцях знаходження пасажирів не повинна перевищувати 0,20 м/с [4]. У вагонах без кондиціонування (без системи охолодження) допускається збільшення витрати повітря, а швидкість руху повітря в місцях перебування пасажирів може бути на рівні 0,50 м/с [4]. Повітря

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



яке подається в вагони повинен бути очищений від пилу. При цьому крім очищення повинно проводитися обеззараження повітря. Відносна вологість повітря в вагонах повинна становити  $50 \pm 20 \%$  [4]. Однак досить часто вологість повітря в приміщеннях вагон не відповідає нормі. Так в зимовий час при роботі системи опалення відносна вологість повітря може зменшитися до 15%, а в зимовий час вологість повітря в вагоні навпаки може збільшуватися до 90% [4].

### 1.1.3 Система водопостачання вагону

Система водопостачання пасажирських вагонів є найважливішим санітарно-технічним обладнанням, що забезпечує необхідні умови пасажирам під час їх тривалої поїздки. Незалежно від типу кожен пасажирський вагон оснащений самопливною системою водопостачання, призначеною для забезпечення пасажирів питною водою, задоволення їх побутових потреб і поповнення системи опалення в проміжках між заправками. Система періодично заправляється в моменти зупинок поїзда. Обсяг всієї системи складає 1000 літрів, з такого розрахунку, що на одного пасажира має витратитися не більше 20 л на добу, при тому, що система поповнюється кожні 12 годин [5].

### 1.1.4 Система електропостачання вагона

Електрообладнання пасажирських вагонів використовується для освітлення вагонів, вентиляції приміщень з подачею в вагон зовнішнього повітря, опалення вагона, підігріву подається в нього повітря взимку і охолодження повітря, що подається влітку, створення комфорту пасажирам і полегшення праці поїзної бригади, забезпечення безпеки руху поїздів.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрообладнання пасажирських вагонів складається з комплексу електричних пристроїв, що використовуються в системі електропостачання вагонів для отримання, передачі та розподілу електричної енергії. У цей комплекс входять також пристрої та обладнання, які споживають електроенергію і створюють комфорт для пасажирів.

У всіх вагонах встановлені пристрої опалення, освітлення, вентиляції та інші. Потужність, яка припадає на один вагон, становить: для системи освітлення, сигналізації та управління 2,5-4 кВт; для примусової вентиляції 4-6 кВт; для електричного опалення більше 25 кВт [6].

## 1.2 Конструкція пасажирського вагона

На сьогоднішній день достатньо розповсюдженими є пасажирські вагони з локомотивною тягою, згідно з [7], їх декілька типів: вагони відкритого типу з кріслами для сидіння; не купейні із спальними місцями; купейні; вагони з поліпшеними умовами комфорту.

Вагон моделі 48-060 належить до відкритого типу. Особливістю даного типу вагону є встановлені в салоні м'яких та зручних крісел для сидіння пасажирів. На протязі усього салону над встановленні полицки призначені для перевезення багажу. Даний вагон розрахований на перебуванням у дорозі не більш як сім годин, переважно у денний час.

Більша частина парку пасажирських вагонів, які діють на території України зроблені на базі найбільш розповсюдженого кузова суцільнометалевої конструкції (рис. 1.1) [7], що складається з набору поздовжніх і поперечних елементів обтягнутих зовні силовою обшивкою з конструкційних сталей. В спеціальні отвори кузова закріплюються вікна і двері. На внутрішню поверхню силової обшивки після спеціальної обробки, яка включає в себе антикорозійне покриття, накладається теплоізоляція у вигляді матів, панелей або герметичних пакетів.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

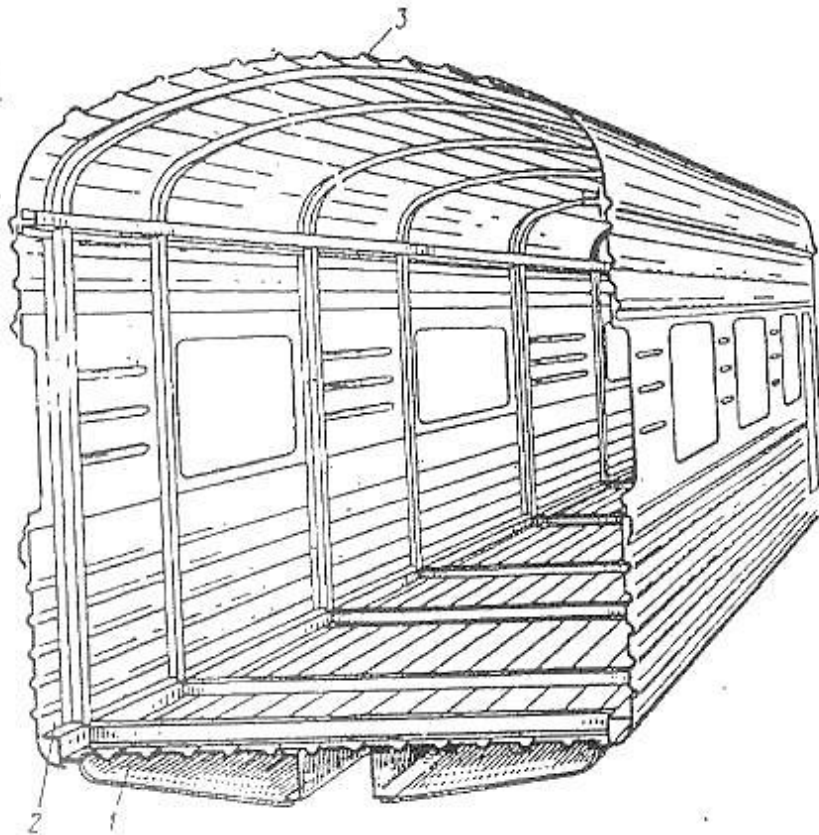


Рисунок 1.1 – Кузов пасажирського вагона в середній зоні [7]:

1- рама; 2- стіна; 3-покрівля.

Теплоізоляція бічних стін і підлоги, в свою чергу, закривається декоративними панелями із не горючих матеріалів. Дана конструкція характерна тим, що рама 1, стіни 2 та покрівля 3 з'єднані між собою таким чином, що утворена ними тонкостінна оболонка добре витримує експлуатаційні навантаження. При будівництві кузовів вагонів застосовують вогнестійкі матеріали. Вага сучасних пасажирських вагонів варіюється від 40 до 60 тонн. За для підвищення стійкості, надійності та довговічності кузова, вагонобудівники застосовують нові матеріали та конструкційні форми. Кріплення обладнання жорстко пов'язано з силовою конструкцією кузова з використанням різних металевих і дерев'яних профілів. Зовнішня поверхня кузова типового вагона становить величину порядку  $290 \div 300 \text{ м}^2$ . З них  $10 \div 15 \%$  припадає на поверхню вікон. Теплотехнічні якості вагону, які характеризується величиною коефіцієнтом теплопровідності встановлюється згідно ДСТУ EN 12663-1:2018

										6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
											11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

«Залізничний транспорт. Вимоги до конструкції кузова залізничного транспортного засобу. Частина 1. Локомотиви та пасажирський рухомий склад».

До теплоізоляційних матеріалів, що використовуються для теплоізоляції кузовів пасажирських вагонів при їх будівництві та капітально-відновлювальному ремонті пред'являються жорсткі вимоги [3]: негорючість; не токсичність; стійкість до вібрацій та механічна міцність; стабільність фізико-технічних якостей в умовах експлуатації; стійкість форми при коливаннях температури навколишнього середовища в діапазоні від мінус 65 °С до плюс 75 °С; однорідність структури матеріалу; довго строковість; забезпечення стійкості до корозії металу, що стикається з теплоізоляцією; об'ємна маса не більше 50 кг / м<sup>3</sup>; середній коефіцієнт теплопередачі після 6 років експлуатації не повинен збільшитися більш, ніж на 10%. Термін служби теплоізоляції повинен відповідати терміну служби вагона, тобто 28 років.

### 1.3 Методика розрахунку коефіцієнта теплопередачі кузова вагона

Фактичний коефіцієнт теплопередачі багатошарової плоскої стінки, Вт/м<sup>2</sup>·К [8]:

$$K_{\text{факт}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (1.1)$$

де  $\alpha_3$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої поверхні стінки, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$\delta_i$  – товщина і-го шару стінки, м;

$\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності і-го шару стінки, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$\alpha_B$  – коефіцієнт теплопровідності від внутрішньої поверхні стінки до повітря в середині приміщення вагона, Вт/м<sup>2</sup>·К.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні вагона, який залежить від середньої швидкості руху потяга знаходиться за формулою, Вт/м<sup>2</sup>·К [8]:

$$\alpha_3 = 15 + \frac{3 \cdot v}{L^{0,2}}, \quad (1.2)$$

де  $v$  – швидкість поїзда, м/с;

$L$  – довжина кузова вагона, м.

Згідно з офіційних повідомлень прес-служби «Укрзалізниці» пасажирські потяги в Україні курсують з маршрутною швидкістю (середня на рейсі), яка дорівнює 57км/год = 15,83 м/с.

$$\alpha_3 = 15 + \frac{3 \cdot 15,83}{11,6^{0,2}} = 44,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Для всіх типів пасажирських вагонів коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні дорівнює  $\alpha_B = 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  [8].

Кузов вагона всередині має поздовжні і поперечні елементи жорсткості, виконані зі сталі. У місцях їх розміщення створюються теплові мости, збільшують коефіцієнти теплопередачі елементів огорожі. Під час експлуатації вагона можлива поява зазорів між шарами огорожі кузова. Ці фактори слід врахувати шляхом збільшення значень коефіцієнтів  $K_{\text{факт}}$ , для отримання розрахункового коефіцієнта теплопередачі  $K_{\text{роз}}$ .

Розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·К [8]:

$$K_{\text{роз}} = K_{\text{п}} \cdot K_{\text{факт}}, \quad (1.3)$$

де  $K_{\text{п}}$  – поправочний коефіцієнт згідно [8], для пасажирських вагонів дорівнює 1,6.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

### 1.3.1 Огороджуючі конструкції пасажирського вагона

Комфортні умови пасажирам при тривалій температурі зовнішнього повітря до мінус 40 °С забезпечуються високими теплоізоляційними якостями огороджуючі конструкцій кузовів і системою опалення [3].

Для утеплення кузовів пасажирських вагонів в якості теплоізоляції використовується пінополістирол, який закладається в осередки внутрішньої обрешітки металевій конструкції між зовнішньою та внутрішньою обшивками кузова. Обрешітка кріплять болтами до металевому каркасу кузова. Укладені пакети теплоізоляції обгортають одним шаром гідроізоляційної папери, що прикріплюється по боках до обрешітки. До обрешітки поверх теплоізоляції кріплять внутрішню обшивку. Стінки котельного приміщення пасажирського вагону виготовлені з матеріалів, що забезпечують підвищену стійкість до займання, які не дозволяють розповсюджуватися вогню [9]. Будова внутрішніх та зовнішніх стін вагона представлена на рисунку 1.2, а товщина та теплопровідність матеріалів зовнішніх та внутрішніх стін приведено в таблицях 1.1 та 1.2.

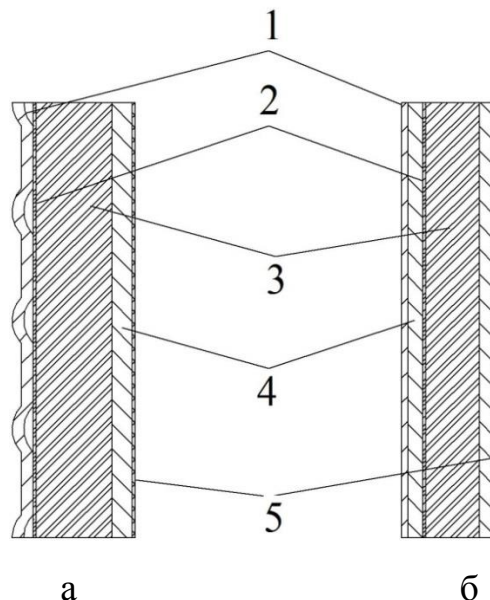


Рисунок 1.2 – Будова зовнішніх (а) та внутрішніх (б) стін пасажирського вагона: 1-сталевий лист; 2-гідроізоляція; 3-пінополістирол; 4-деревоволокниста плита; 5- склопластик.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1 - Матеріали шару зовнішніх стін та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	сталевий лист	0,002	58
2	гідроізоляція	0,0011	0,23
3	пінополістирол	0,05	0,045
4	деревоволокниста плита	0,019	0,055
5	склопластик	0,003	0,4

Знаходимо фактичний коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{\text{факт.з.}}^{\text{ст.з.}} = \frac{1}{\frac{1}{44,1} + \frac{0,002}{58} + \frac{0,0011}{0,23} + \frac{0,05}{0,045} + \frac{0,019}{0,055} + \frac{0,003}{0,4} + \frac{1}{10}} = 0,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{\text{роз.з.}}^{\text{ст.з.}} = 1,6 \cdot 0,63 = 1,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Згідно з [4], середній коефіцієнт теплопередачі для огороження кузова пасажирських вагонів повинен бути не більший за  $K = 1,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Для внутрішніх стін вагона за якими є службові приміщення або приміщення тамбуру, дані норми не застосовуються, так як ці поверхні не контактують напряму з навколишнім середовищем.

Таблиця 1.2 - Матеріали шару внутрішніх стін та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	сталевий лист	0,002	58
2	гідроізоляція	0,0011	0,23
3	пінополістирол	0,035	0,045
4	деревоволокниста плита	0,009	0,055
5	склопластик	0,0017	0,4

Фактичний коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін розраховуємо за формулою:

$$K_{\text{факт.}}^{\text{ст.в.}} = \frac{1}{\frac{0,002}{58} + \frac{0,0011}{0,23} + \frac{0,035}{0,045} + \frac{0,018}{0,055} + \frac{0,0017}{0,4} + \frac{1}{10}} = 0,82 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін:

$$K_{\text{роз.}}^{\text{ст.в.}} = 1,6 \cdot 0,82 = 1,31 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Будова стелі зображена на рисунку 1.3, а товщина та теплопровідність матеріалів стелі приведено в таблиці 1.3.

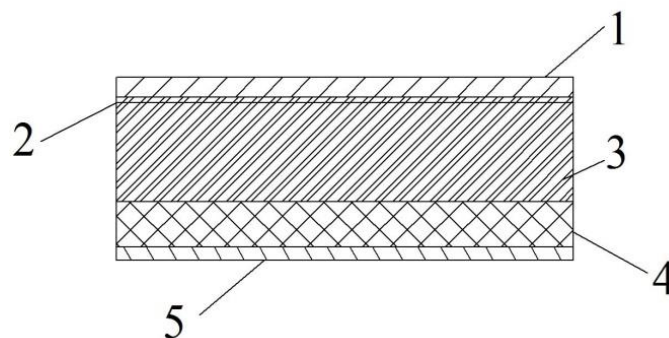


Рисунок 1.3 – Будова стелі пасажирського вагона: 1- сталевий лист; 2- мастика; 3- пінополістирол; 4- дерев'яний брус; 5- фанера.

Таблиця 1.3 - Матеріали шару стелі та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	сталевий лист	0,0015	58
2	мастика	0,0011	0,23
3	пінополістирол	0,065	0,045
4	дерев'яний брус	0,05	0,055
5	фанера	0,004	0,35



Знаходимо фактичний коефіцієнт теплопередачі стелі:

$$K_{\text{факт}}^{\text{стеля}} = \frac{1}{\frac{1}{44,1} + \frac{0,0015}{58} + \frac{0,0011}{0,23} + \frac{0,065}{0,045} + \frac{0,05}{0,18} + \frac{0,004}{0,35} + \frac{1}{10}} = 0,54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі стелі:

$$K_{\text{роз}}^{\text{стеля}} = 1,6 \cdot 0,54 = 0,86 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Будова підлоги зображена на рисунку 1.4, товщина та теплопровідність матеріалів підлоги приведено в таблиці 1.4. Підлогу салону і тамбурів вагону покривають лінолеумом.

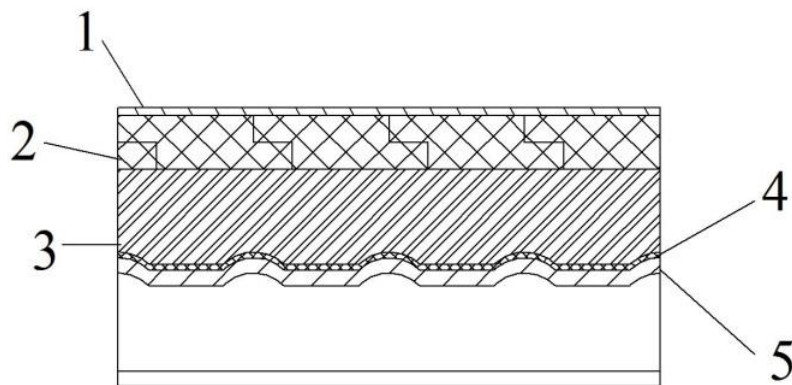


Рисунок 1.4 – Будова підлоги пасажирського вагона: 1- лінолеум; 2- дерев'яні дошки; 3- пінополістирол; 4- гідроізоляція; 5- сталевий лист.

Таблиця 1.4 - Матеріали шару підлоги та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	лінолеум	0,003	0,19
2	дерев'яні дошки	0,03	0,05
3	пінополістирол	0,07	0,045
4	гідроізоляція	0,0011	0,16
5	сталевий лист	0,005	58

Фактичний коефіцієнт теплопередачі підлоги:

$$K_{\text{факт}}^{\text{підлога}} = \frac{1}{\frac{1}{44,1} + \frac{0,003}{0,19} + \frac{0,03}{0,05} + \frac{0,07}{0,045} + \frac{0,011}{0,16} + \frac{0,005}{58} + \frac{1}{10}} = 0,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі підлоги:

$$K_{\text{роз}}^{\text{підлога}} = 1,6 \cdot 0,44 = 0,71 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

### 1.3.2 Двері пасажирського вагону

Двері мають вентиляційні отвори, глухе вікно, накладні петлі, запобіжні решітки на склі і ущільнення, що виключають потрапляння пилу всередину вагона, а в якості утеплювача застосовується пінополістирол. В нижній частині розташований вентиляційний отвір, призначений для відводу повітря з салону пасажирського вагону. Товщина та теплопровідність матеріалів дверей приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Матеріали дверей та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	сталевий лист	0,002	58
2	пінополістирол	0,04	0,045

Знаходимо фактичний коефіцієнт теплопередачі дверей:

$$K_{\text{факт}}^{\text{двері}} = \frac{1}{\frac{0,04}{0,045} + \frac{0,004}{58} + \frac{1}{10}} = 0,99 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі дверей:

$$K_{\text{роз}}^{\text{двері}} = 1,6 \cdot 0,99 = 1,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

### 1.3.3 Вікна пасажирського вагону

Вікна вагону є опускаючими (рис. 1.5) [3], ширина яких становить 1000 мм. Опускаючі вікна відчиняються приблизно на 1/3 частини висоти. Віконна рама пасажирського відділення мають горизонтальний середник, над яким розташована фрамуга, закріплена на рояльні петлі, що забезпечує міцне кріплення. В санітарно технічних та котельному приміщеннях у вікнах відсутня фрамуга.

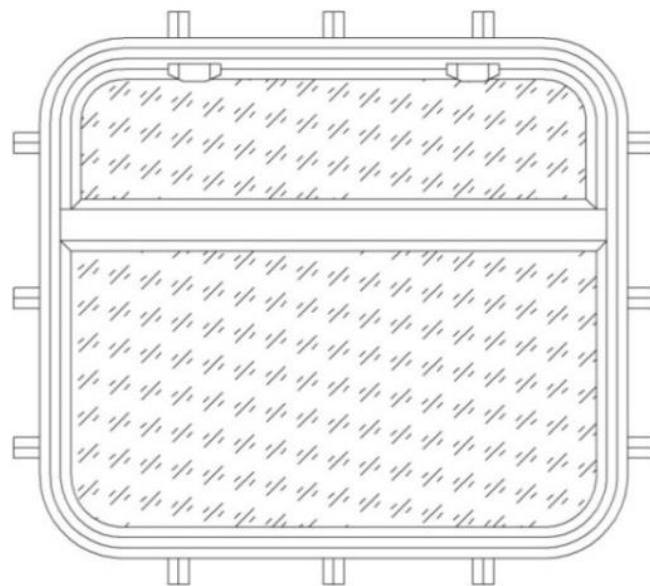


Рисунок 1.5 – Вікно вагону з фрамугою [3]

Будова вікна пасажирського вагона представлено на рисунку 1.6. В обидві рами вставлено спеціальне термооброблене скло, яке використовують в будівництві пасажирських вагонів, товщина 6 мм. Товщина та теплопровідність матеріалів вікна приведено в таблиці 1.6.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

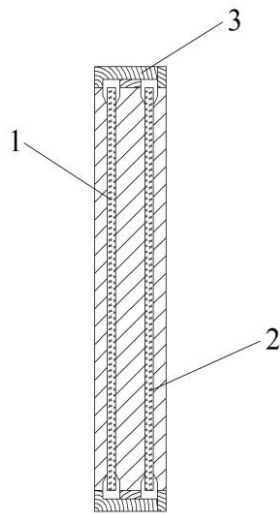


Рисунок 1.6 – Будова вікна пасажирського вагону: 1-зовнішнє скло;  
2-внутрішнє скло; 3- віконна рама

Таблиця 1.6 - Матеріали вікна та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К
1	скло	0,006	0,76
2	повітря	0,025	0,023

Фактичний коефіцієнт теплопередачі вікна знайде:

$$K_{\text{факт}}^{\text{вікно}} = \frac{1}{\frac{1}{44,1} + \frac{0,012}{0,76} + \frac{0,025}{0,023} + \frac{1}{10}} = 0,83 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт теплопередачі вікна:

$$K_{\text{роз}}^{\text{вікно}} = 1,6 \cdot 0,83 = 1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

## 2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ

### 2.1 Створення тривимірної моделі

Для проведення чисельного експерименту моделі теплового стану вагону за допомогою програмного забезпечення SolidWorks була створена тривимірна модель пасажирського вагону моделі 48-060 (рис. 2.1).

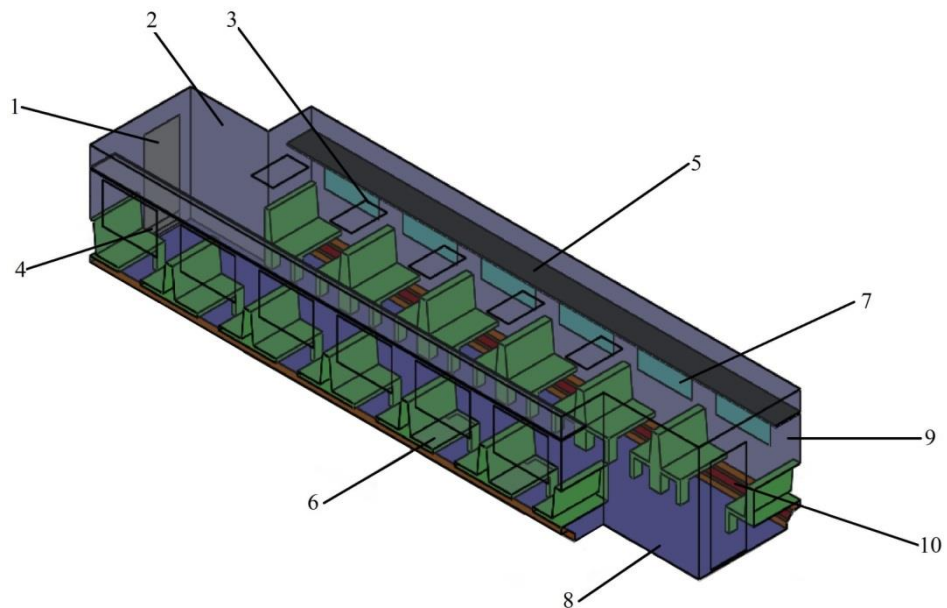


Рисунок 2.1– Тривимірна модель пасажирського вагону моделі 48-060:

1-двері; 2-внутрішня стіна; 3-вентиляція (подача); 4-вентиляція (відвід);  
5-полички для багажу; 6-лавки; 7-вікно; 8-підлога; 9-зовнішня стіна;  
10-пристрій опалення.

Габаритні розміри моделі вагону наближені до реальних умов (11,6x2,1x2,6м). При створенні тривимірної моделі у якості опалювальних приладів було спроектовано радіатори з нагрівальними трубами, які знаходяться за захисними кожухами. Розрахунковою областю в даній задачі є об'єм вагону, який складається з області повітря, опалювальних приладів, лавок для сидіння та поличок для вантажу.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2.2 Побудова розрахункової сітки

Для виконання чисельного дослідження за допомогою програмного продукту ICEM CFD була побудована розрахункова сітка. Даний продукт дозволяє створювати елементи сітки різних типів, такі як: вузлові елементи, лінії, та оболонки. Зазвичай в якості комірки виступають багатогранники різної форми (рис. 2.2), а саме: а) гексаедр; б) тетраедр; с) призма; d) піраміда; е) змішані [10].

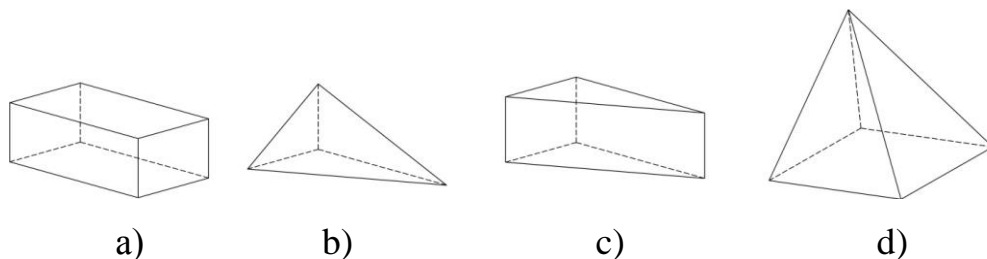


Рисунок 2.2 – Типові форми комірок сітки

Сітка може бути побудована автоматично з використанням опцій меню Mesh, але цей метод не завжди застосовується при побудові сітки зі складною геометрією. В нашому випадку вона була виконана за допомогою блокової структури (модуль HEXA). Для спрощення проведення наступних розрахунків, розрахункова сітка буде побудована лише для половини вагону.

Як відомо з [10], об'єкти сітки присутні в проекті тільки після генерації самої сітки. При використанні побудови за допомогою блокової структури їх число жорстко пов'язано з процесом розбивки на блоки. Слід зауважити, що при створенні об'ємної сітки, на початку відбувається автоматична генерація поверхневої сітки, яка і відображається в графічному вікні. Фактично відбувається тільки оцінка розміру об'ємної сітки, а її створення починається тільки на етапі виклику процедури запису сітки. Дана техніка дозволяє істотно знизити витрати часу на моделювання.

Принцип роботи з блоками полягає в створенні блоків: прямокутників (в двовимірному випадку) або паралелепіпедів (в тривимірному випадку), вершини,

ребра і грані якого асоціюються з точками, лініями і поверхнями тієї області геометрії, на якій необхідно створити сітку (замешувати). Далі будується структурована сітка для блоку, яка автоматично переноситься на асоційовану з блоком складну фігуру [11].

Наступним кроком в роботі є етап «асоціація», в якому асоціюють вершини, сторони, грані блоків з геометрією, на якій вони побудовані. Для досягнення точності в розрахунку, вузли сітки повинні якомога більш густіше розташовуватися у місцях значної зміни параметрів течії, а саме біля стінок. Також при побудові сітки потрібно уникати надмірно деформованих комірок, форма яких відрізняється від правильних форм багатокутників.

Після того, як встановлені асоціації блокової структури з геометрією, можна приступати до установки параметрів розбиття сітки: числа вузлів і законів їх розташування вздовж ребер блоків. Установка параметрів мешування можлива також і при не накладанні асоціацій (їх можна накласти потім або зовсім не накладати).

Якість розрахункової сітки впливає на декілька наступних факторів: точність розрахунку, збіжність результату, об'єм оперативної пам'яті затрачений комп'ютером на проведення розрахунку та затрачений час. Для отримання більш точного результату розрахунку поблизу твердих стінок (область де повітря контакту з твердими поверхнями або поверхонь одна з одною) було проведено згущення комірок розрахункової стінки [10]. Виконаний плавний перехід від комірок меншого розміру до більшого, це було зроблено для підвищення якості розрахункової сітки. Під час згущення комірок помітно збільшує і сам об'єм сітки, але це є необхідним заходом для покращення отриманої якості результатів розрахунку.

Дана розрахункова сітка є блочно-структурованою, тобто складається виключно з шестигранних (об'ємних) елементів – гексаедрів. Вибір пав на такий тип сітки через те, що дана геометрична модель розрахункової області представляє собою сукупність достатньо правильних елементарних об'ємів, для яких прийнятна впорядкована сітка елементів, є найкращим варіантом з точки зору оперативної пам'яті та обчислювального часу з розрахунку на вузол. Всі

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блоки являються гексаедрами, ребра та грані яких здійснюють асоціацію з іншими поверхнями області геометрії. Для цього в межах усіх блоків будується структурована сітка, яка в автоматичному режимі здійснює перенесення асоціацій на фігуру, тобто відбувається процес розбивки блока на більш дрібні елементи.

Після того як роботи над побудовою розрахункової сітки завершуються проводиться перевірка її якості. Першим кроком якої візуальний її огляд на наявність візуальних помилок в прообразі розрахункової сітки (наявність деформованих комірок, форма яких сильно відрізняються від правильної форми багатокутників). Якщо у ході перевірки візуально помилки не була знайдене, то це говорить, що отримана сітка є якісною. Для отримання більш точних результатів перевірки застосовують можливості програмного продукту ISEM CFD. Для перевірки застосовується діаграма якості за допомогою якої можливо виявити наявні помилки. Згідно з [12], одним з найбільш достовірних способів перевірки якості сітки є критерій під назвою determinant (детермінант). За допомогою нього можна виявити помилки в прообразі сітки (в більшості випадків так звані негативні об'єми – вироджені елементи), а так само знайти елементи з поганою якістю (гексаедричні елементи з дуже гострими або тупими кутами). Параметр детермінант (determinant) заснований на тому, що для кожної комірки береться якобіанський визначник для кожного вузла комірки, далі ділиться мінімальний визначник на максимальний, результати даного обчислення ми бачимо на діаграмі (рис. 2.3).

Комірки в яких цей показник приближений до 1 свідчить про гарну якість та співрозмірність елементів сітки, а 0 вказує на наявність елементів, що вироджуються в одному або більше краях. Також в результаті перевірки можуть бути отримані перевернуті елементи, на них будуть вказувати від'ємні значення. Якщо все ж таки присутні вище перераховані типи комірок, то це пов'язано з низькою точністю апроксимації елементів, вони з'являються при імпорті геометрії низької якості. Наявність в сітці розрахункової області вироджених елементів і елементів з негативними обсягами недопустимо так, як вони приводять до помилок при розрахунку. З діаграм добре видно, що в сітці відсутні

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



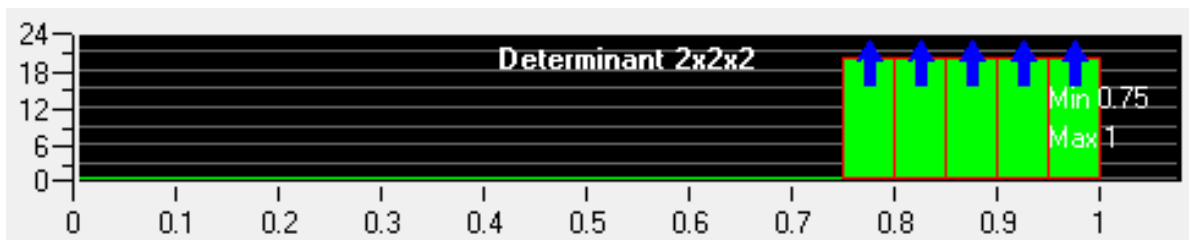


Рисунок 2.3 – Діаграма якості (детермінант) області повітря

вироджені комірки та від’ємні об’єми. Також мінімальне отримане значення детермінанту складає 0,75. Даний результат вказує на те, що якість сітки є задовільною. Отримання кращого результату є не можливе з урахування особливості геометрії розрахункової області. Основні параметри області повітря даної розрахункової сітки: кількість елементів  $N_{ел}^{пов}$  – 3301275шт; кількість вузлів  $N_{в}^{пов}$  – 3189768 шт.

Розрахункова модель приміщення має 3301275 елементів, тому у ході комп’ютерного розрахунку приблизна задіяна кількість оперативної пам’яті становить 4 Гб. На рисунку 2.5 представлений отриманий вигляд розрахункової сітки в продукті ICEM CFD.

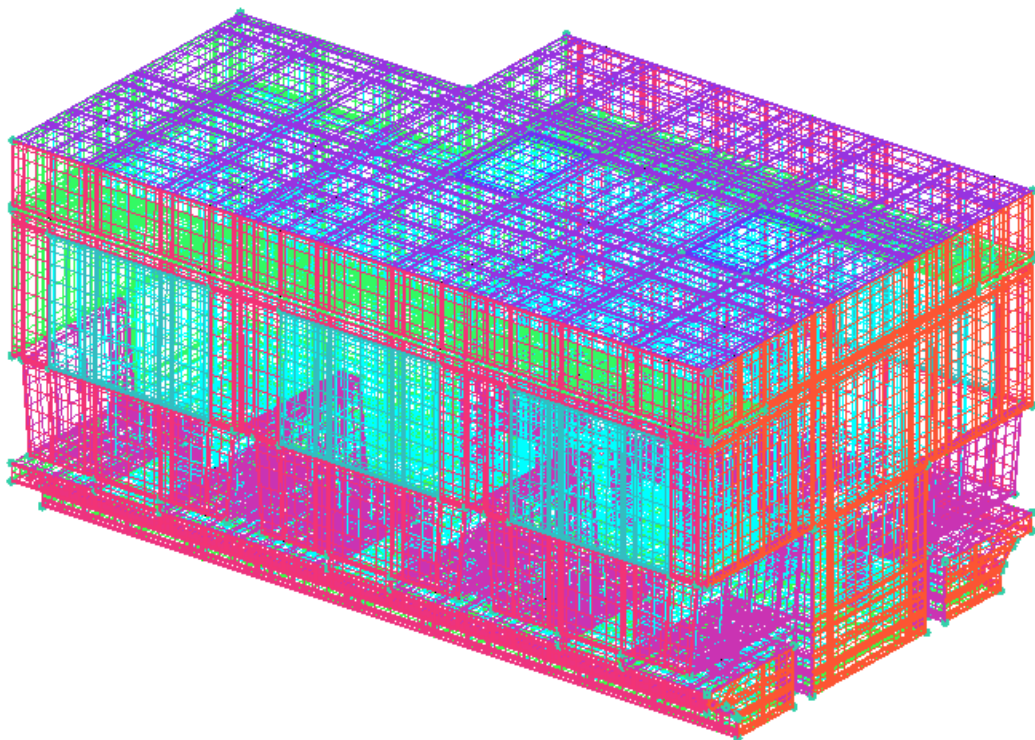


Рисунок 2.5 – Вигляд розрахункової сітки в продукті ICEM CFD

## 2.3 Опис розрахункової моделі

Для виконання розрахунку повинна бути створена розрахункова модель з заданими параметрами області. Для цього розрахункова сітка була перенесена в спеціальний програмний продукт під назвою CFX-Pre (рис. 2.6).

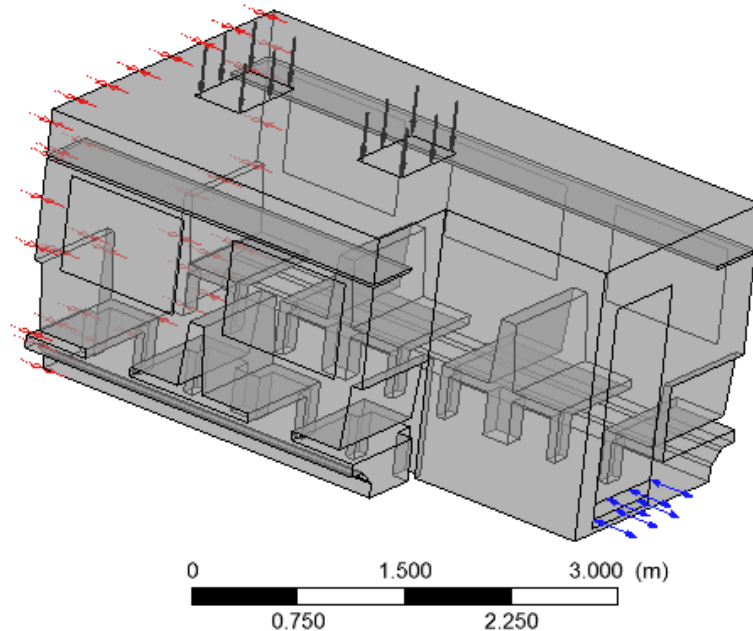


Рисунок 2.6 – Розрахункова область в препроцесорі ANSYS CFD

Отримані в ході розрахунку термодинамічні параметри повітря наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Термодинамічні параметри повітря

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

Продовження таблиці 2.1

Коефіцієнт теплопровідності	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$2,428 \cdot 10^{-2}$
Коефіцієнт поглинання	$м^{-1}$	0,01
Коефіцієнт розсіювання	$м^{-1}$	0
Показник заломлення	-	1
Коефіцієнт теплового розширення	$К^{-1}$	0,00366

Граничні умови можна задавати декількома способами [12]:

Граничні умови I роду [12]. В даному випадку температура поверхні об'єктів задається для кожного моменту часу:

$$t_{ст} = f(x_{ст}, y_{ст}, z_{ст}, \tau), \quad (2.1)$$

де  $t_{ст}$  – температура поверхні тіла;  $x_{ст}, y_{ст}, z_{ст}$  – координати поверхні тіла.

Як відомо з [12], граничні умови I роду реалізуються в задачах теплопровідності якщо на поверхні тіла підтримується заданий режим зміни температури, чи при інтенсивному теплообміні з навколишнім середовищем, коли температура поверхні тіла близька до температури середовища  $t_{ст} = const$  (в разі інтенсивних процесів теплообміну на поверхні - кипінні, конденсації, вимушеному русі розплавлених металів).

Граничні умови II роду [12]. У цьому випадку задається величина теплового потоку для кожної точки на поверхні тіла в довільний момент часу, тобто:

$$q_{ст} = f(x_{ст}, y_{ст}, z_{ст}, \tau), \quad (2.2)$$

де  $q_{ст}$  – густина теплового потоку на поверхні тіла.

Згідно з [12], умови теплообміну другого роду мають місце при нагріванні тіл високотемпературними джерелами теплоти, наприклад при нагріванні

металевих виробів у високотемпературних печах ( $q_{\text{ст}} = \text{const}$ ), коли теплообмін в основному відбувається за допомогою випромінювання за законом Стефана - Больцмана, а температура тіла, що нагрівається, значно менше температури випромінюючих поверхонь.

Граничні умови III роду [12]. У цьому випадку температури середовища  $t_0$  взаємодіє з поверхнею тіла.

Згідно з [13], процеси обміну тепла між середовищем та об'єктом являються складним процесом і залежать від багатьох факторів і для того, щоб описати процес теплообміну між ними застосовують гіпотезу Ньютона-Ріхмана, згідно з якою:

$$q_{\text{ст}} = \alpha(t_{\text{ст}} - t_0), \quad (2.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, названий коефіцієнтом тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Формула (2.3) показує, що коефіцієнт тепловіддачі дорівнює кількості відданої (сприйнятої) теплоти одиницею поверхні тіла в за певний проміжок часу при різниці температур.

На основі закону Фур'є [13]:

$$\alpha(t_{\text{ст}} - t_0) = -\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{\text{ст}}, \quad (2.4)$$

Таким чином, виходячи з рівності теплових потоків отримуємо рівняння:

$$\frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{\alpha}{\lambda}(t_{\text{ст}} - t_0), \quad (2.5)$$

Якщо отримане значення коефіцієнту тепловіддачі є достатньо великим то, граничні умови III роду переходять в граничні умови I роду, так як температура поверхні тіла практично стає рівною температурі рідини.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Граничні умови IV роду. Процес формування ґрунтується рівності теплових потоків, які проходять крізь прилеглі поверхні тіл:

$$\lambda_1 \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{ст} = \lambda_2 \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{ст'}, \quad (2.6)$$

Як відомо з [13], при ідеальній тепловій взаємодії двох тіл обидва об'єкта мають однакову температуру, це значить, що відбувається безперервний перехід ізотерма від одного тіла до іншого, при цьому різниця температур у цих точках задовольняють умову (2.6). В даному випадку застосовувалися граничні умови першого та другого роду. Граничні умови на кожному з с елементів приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Граничні умови

№	Поверхня	Назва поверхні	Тип граничної умови	Значення
1	Сидіння	Bench	Adiabatic	-
2	Двері в тамбур	Door	Heat Transfer Coefficient	1,58 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
3	Підлога	Floor	Heat Transfer Coefficient	0,71 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = -24 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$
4	Полочки для вантажу	Shelf	Adiabatic	-
5	Симетрія	Simmetria 1	Symmetry	-
6	Стеля	Top	Heat Transfer Coefficient	0,86 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = -24 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$
7	Стіна внутрішня (в тамбур)	Wall in	Heat Transfer Coefficient	1,31 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
8	Стіна (зовнішні)	Wall inside	Heat Transfer Coefficient	1,01 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = -24 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$

Продовження таблиці 2.2

9	Радіатор	radiator	Heat Transfer	20 ÷ 70 °C
10	Вікна	windows	Heat Transfer Coefficient	1,33 Вт/м <sup>2</sup> К $t_3 = -24 \div 8 \text{ °C}$

Для проведення розрахунків була застосована модель гравітації. Дана модель дозволила врахувати процес вільної конвекції, яка відбувається в об'ємі вагонну, це відноситься до дій об'ємних сил. Побудова розрахункової області була здійснена в просторових координатах X,Y,Z. Для того щоб розрахувати природну конвекцію повітря, необхідно на координатній осі Y задати прискорення вільного падіння, яке дорівнює  $g = -9,81 \text{ м/с}^2$ .

Поширення теплового випромінювання в середовищі було розраховане за допомогою моделі Монте-Карло. Згідно з [14] «цей метод моделює "випадковий хід" пакетів фотонів в середовищі, що має поглинання і розсіяння і базується на наборі законів, що управляють рухом пакета фотонів».

#### 2.4 Проведення комп'ютерного розрахунку

Розрахунок здійснюється в окремому комплексному програмному модулі, який має назву CFX-Solver Manager. Програма здійснює підрахунок за допомогою поступових наближень. Дана задача була вирішена в стаціонарній постановці. Контроль за процесом рішення заданих рівнянь здійснюється візуально, за ходом роботи ми можемо спостерігати в декількох вкладках, в яких показані параметри та функцію тих комірок, які вже були обраховані. Враховуючі побачені результати ми можемо робити висновки про коректність проведених розрахунків (рис. 2.7 - 2.10).

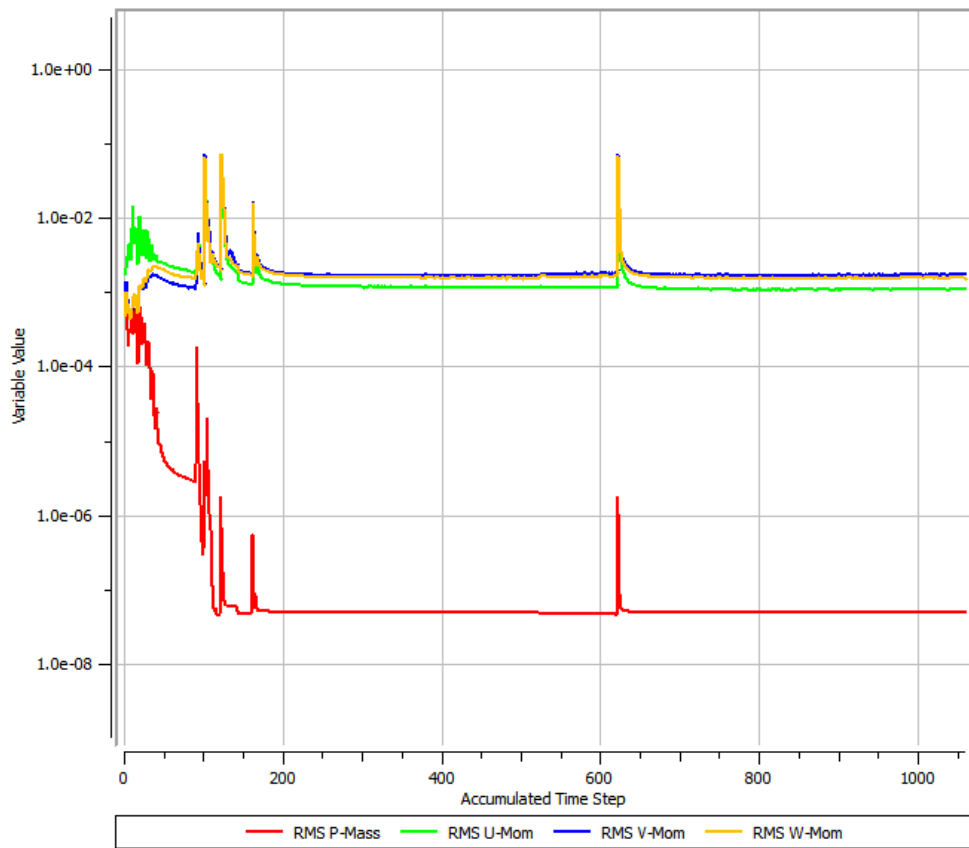


Рисунок 2.7 – Графік сходження рівнянь швидкості і масової витрати

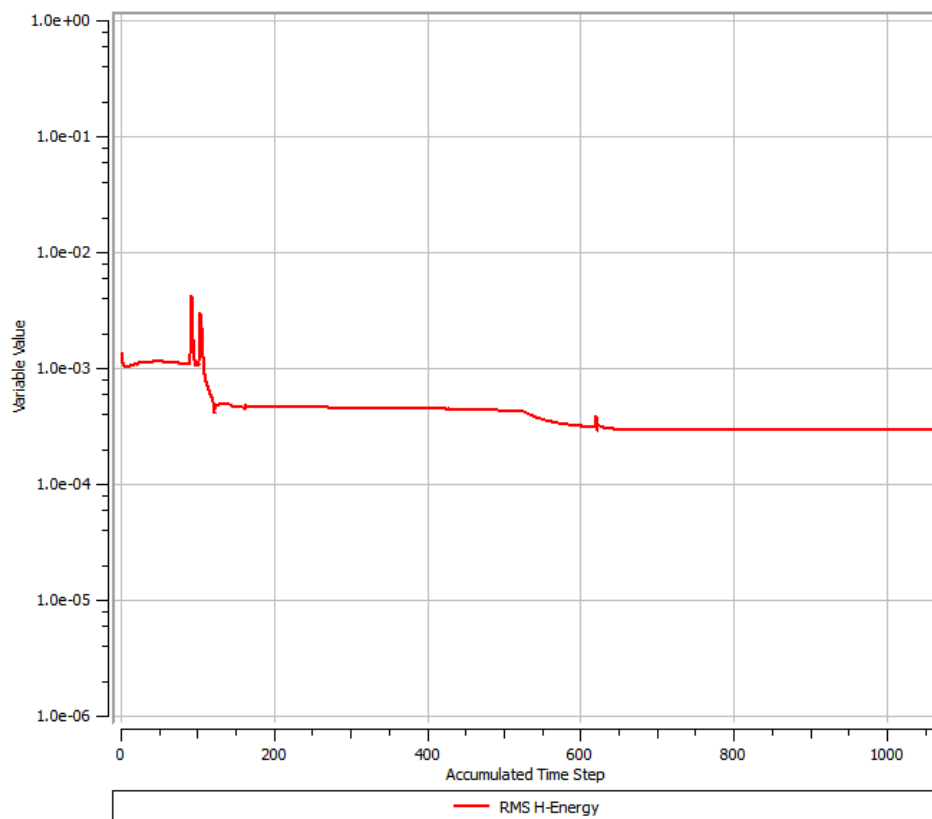


Рисунок 2.8 – Графік сходження рівняння тепло переносу

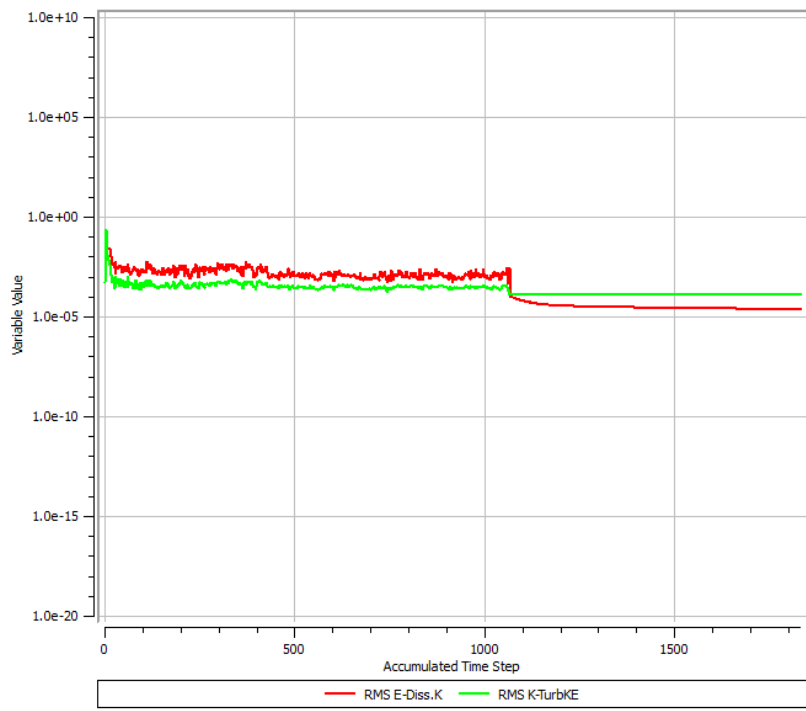


Рисунок 2.9 – Графік сходження рівнянь моделі турбулентності

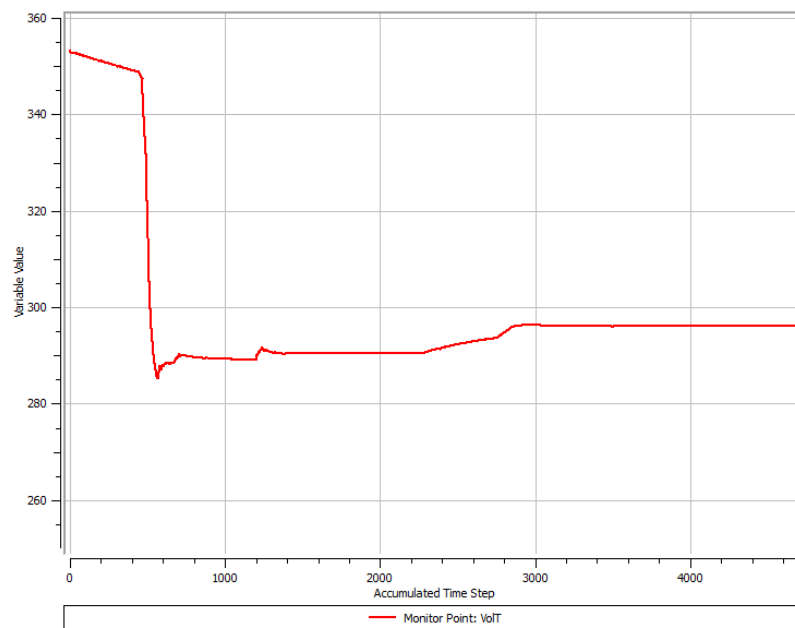


Рисунок 2.10 – Графік сходження значень температури повітря

Для отримання даних результатів розрахунку необхідно було провести всього 1500 ітерацій. Як видно з отриманих графіків (рис. 2.7-2.10) розрахунок вийшов на стаціонарний режим (впродовж деякого часу різкі зміни не спостерігаються), а тому можемо вважати, що даний розрахунок є завершеним та вірним.



### 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ

#### 3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі вагону

Отримані під час розрахунку основні теплофізичні, гідромеханічні, термодинамічні та оптичні параметри розрахункових областей при досягненні стаціонарного режиму розрахунку при температурі теплоносія в приладах опалення 70 °С та огорожувальних конструкцій мінус 24 °С наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні теплофізичні, гідромеханічні, термодинамічні та оптичні параметри розрахункової області повітря

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Густина	$\text{кг}/\text{м}^3$	1,284
Динамічна в'язкість	$\frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}}$	$1,725\cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт теплопровідності повітря	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$	$2,428\cdot 10^{-2}$
Питома теплоємність повітря	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	$1,0038\cdot 10^3$
Число Прандтля (Pr)	-	0,71316
Середньо об'ємна температура	°С	23,1

Основні вище перераховані параметри були осереднені по об'єму розрахункової області та з урахуванням виходу на стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі.

В даному приміщенні відбувається процес вільної конвекції. Згідно з [15] «вільна конвекція виникає внаслідок різниці густин більш нагрітих і менш нагрітих частинок рідини або газів. Вона може здійснюватися в необмеженому і обмеженому просторі. Разом з конвективним рухом переноситься теплота».

В даному випадку визначальними значеннями для вільної конвекції є безрозмірні числа (критерії) Прандтля (Pr) та Релея (Ra). Отримані результати розрахунку демонструють, що в вагоні рух повітря є турбулентним, оскільки  $Pr = 0,713$ .

Розподіл температури по об'єму зі встановленою системою комбінованого опалення закритого пасажирського вагону з різними заданими граничними умовами, а саме зі встановленою температурою опалювальних приладів з діапазоном варіювання від 70 °C та до 20°C та температурою навколишнього середовища від -24 °C до 8 °C наведено на рисунках 3.1-3.8.

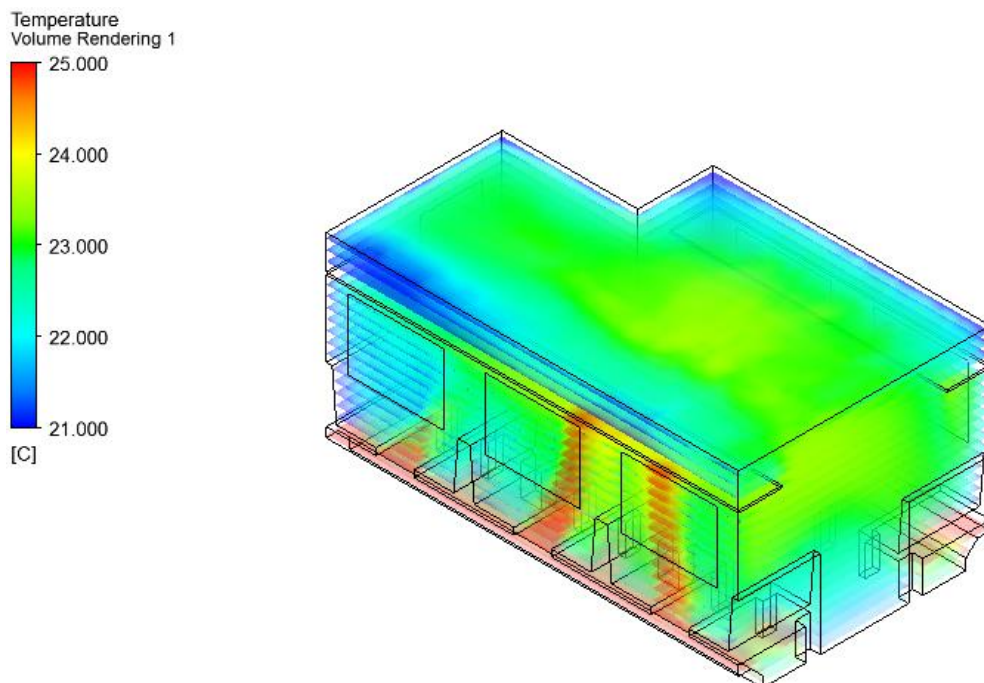


Рисунок 3.1 – Розподіл температури по об'єму пасажирського вагону при: 70 °C на радіаторі та -24 °C огорожувальних конструкцій

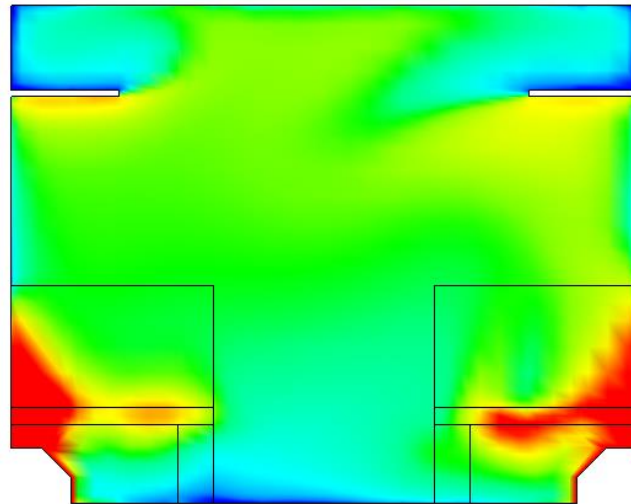
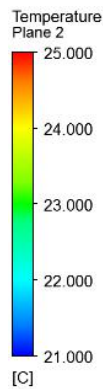


Рисунок 3.2 – Розподіл температури на площині в середині пасажирського вагону при: 70 °С на радіаторі та –24 °С огорожувальних конструкцій

З рисунків 3.1 та 3.2 видно, що при заданих 70 °С на радіаторі та –24 °С навколишнього середовища середня температура по об’єму вагону складає близько 23 °С. Найхолодніші зони вагону це простір в кутках над полицками для багажу, так як вони виступають в якості бар’єру і не дають проходити підігрітому повітрю в цю зону.

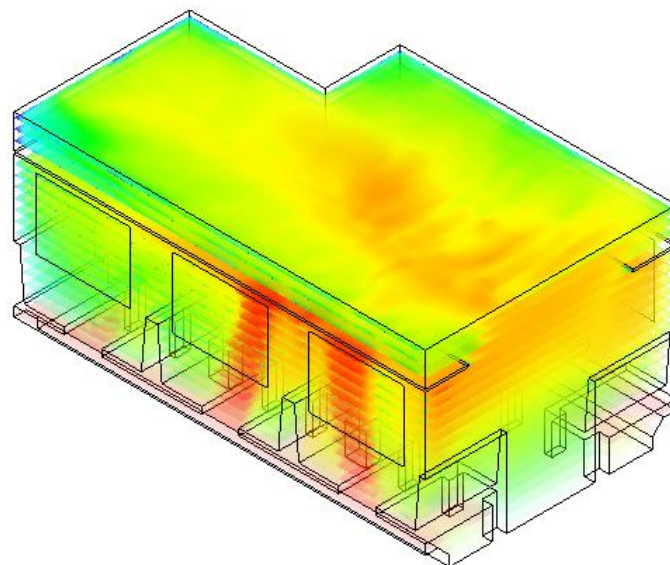
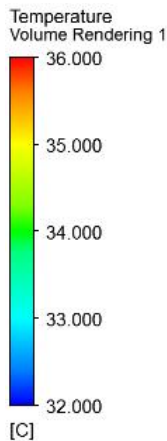


Рисунок 3.3 – Розподіл температури по об’єму пасажирського вагону при: 70 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Temperature  
Plane 2  
36.000  
35.000  
34.000  
33.000  
32.000  
[C]

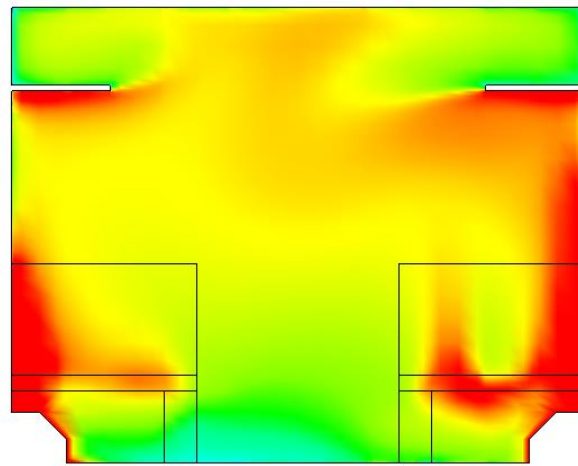


Рисунок 3.4 – Розподіл температури на площині в середині пасажирського вагону при: 70 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

На рисунках 3.3 та 3.4 видно, що при 70 °С на радіаторі та 8 °С навколишнього середовища середня температура по об'єму вагону коливається в діапазоні від 34 °С до 35 °С. Найхолодніші зони вагону є простір в середині вагону поблизу підлоги так як основна маса підігрітого повітря підіймається до гори.

Temperature  
Volume Rendering 1  
13.000  
12.500  
12.000  
11.500  
11.000  
[C]

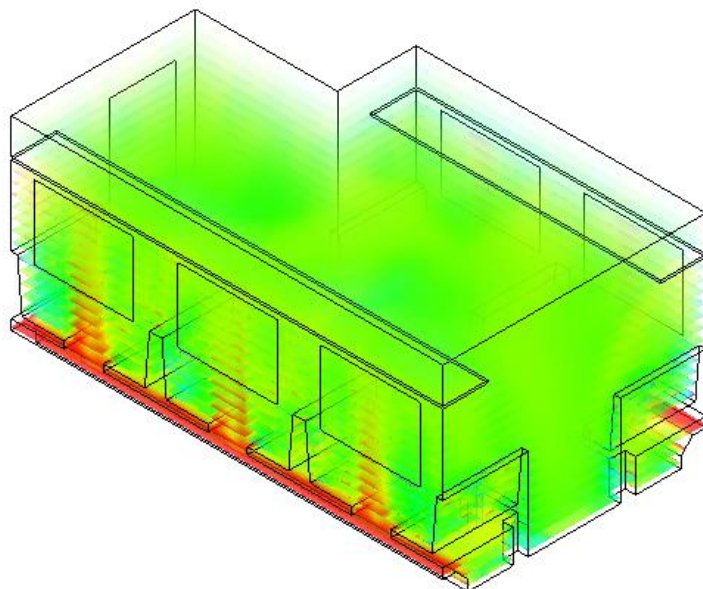


Рисунок 3.5 – Розподіл температури по об'єму пасажирського вагону при: 20 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

Temperature  
Plane 2  
13.000  
12.500  
12.000  
11.500  
11.000  
[C]

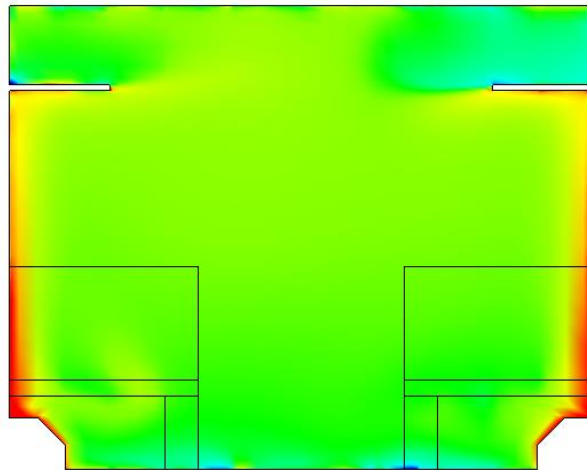


Рисунок 3.6 – Розподіл температури на площині в середині пасажирського вагону при: 20 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

З рисунків 3.5 та 3.6 видно, що при заданих 20 °С на радіаторі та 8 °С навколишнього середовища середня температура по об'єму вагону складає близько 12 °С. Порівняно з попередніми варіантами температура розподілена більш рівномірно по всій області вагону.

Temperature  
Volume Rendering 1  
4.000  
3.000  
2.000  
1.000  
-0.000  
[C]

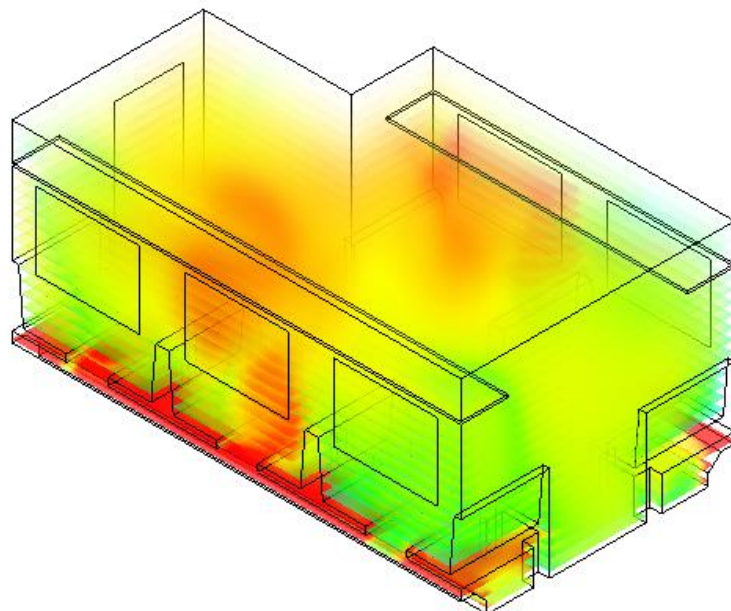


Рисунок 3.7 – Розподіл температури по об'єму пасажирського вагону при: 20 °С на радіаторі та 24 °С огорожувальних конструкцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.05601.01 БР 00 ПЗ

Арк.

38

Temperature  
Plane 2  
4.000  
3.000  
2.000  
1.000  
-0.000  
[C]

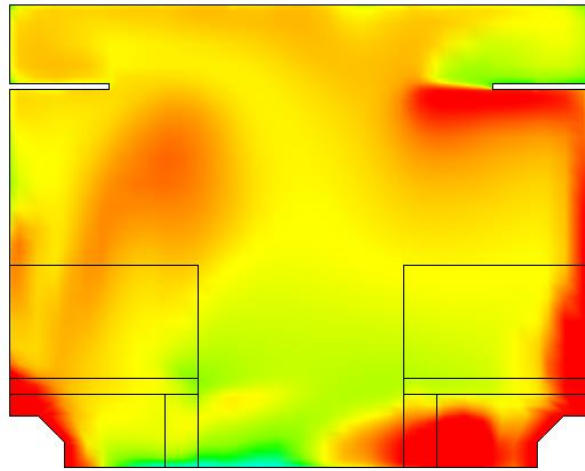


Рисунок 3.8 – Розподіл температури на площині в середині пасажирського вагону при: 20 °С на радіаторі та –24 °С огорожувальних конструкцій

На рисунках 3.7 та 3.8 видно, що при 20 °С на радіаторі та –24 °С навколишнього середовища середня температура по об’єму вагону становить близько 3 °С. Центральна зона є найбільш прогрітою в порівнянні с іншими.

Наведемо візуалізацію швидкості руху повітря в об’ємі та площині в середині вагону в стаціонарному режимі на рис. 3.9-3.16.

Velocity  
Streamline 1  
0.400  
0.300  
0.200  
0.100  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

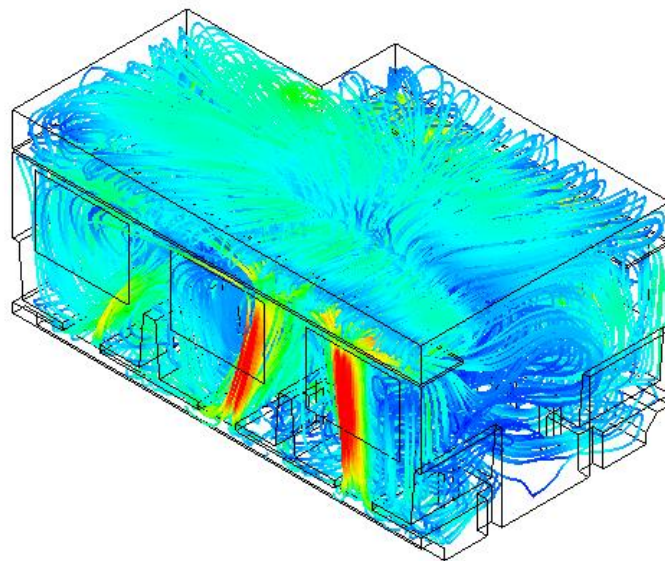


Рисунок 3.9 – Швидкість руху повітря в об’ємі вагону при: 70 °С на радіаторі та –24 °С огорожувальних конструкцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.05601.01 БР 00 ПЗ

Арк.

39

Velocity  
Streamline 1  
0.400  
0.300  
0.200  
0.100  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

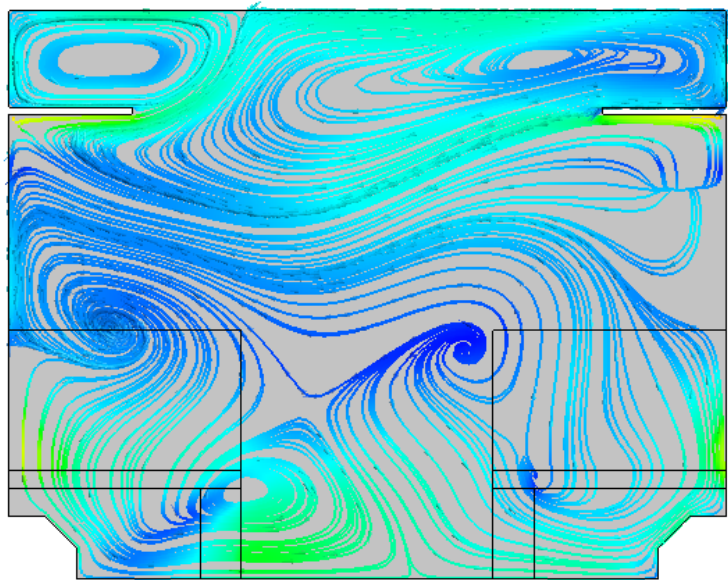


Рисунок 3.10 – Швидкість руху повітря на площині в середині вагону при: 70 °С на радіаторі та –24 °С огорджувальних конструкцій

Velocity  
Streamline 1  
0.400  
0.300  
0.200  
0.100  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

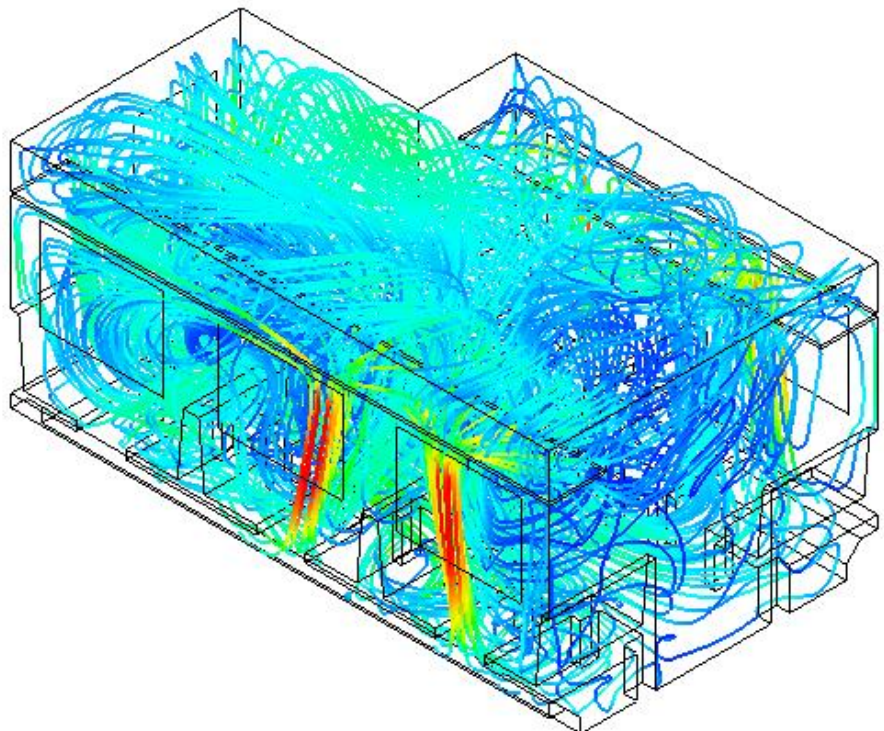


Рисунок 3.11 – Швидкість руху повітря в об'ємі вагону при: 70 °С на радіаторі та 8 °С огорджувальних конструкцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.05601.01 БР 00 ПЗ

Арк.

40

Velocity  
Streamline 1  
0.400  
0.300  
0.200  
0.100  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

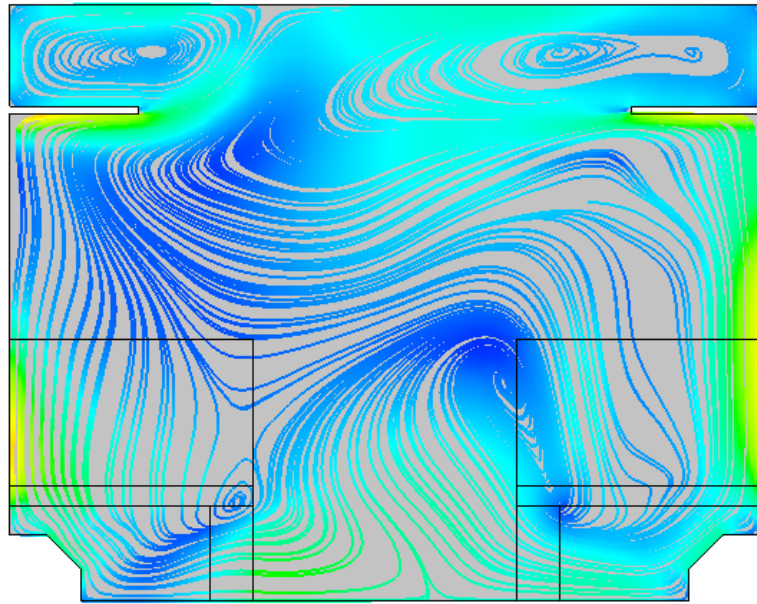


Рисунок 3.12 – Швидкість руху повітря на площині в середині вагону при: 70 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

Velocity  
Streamline 1  
0.200  
0.150  
0.100  
0.050  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

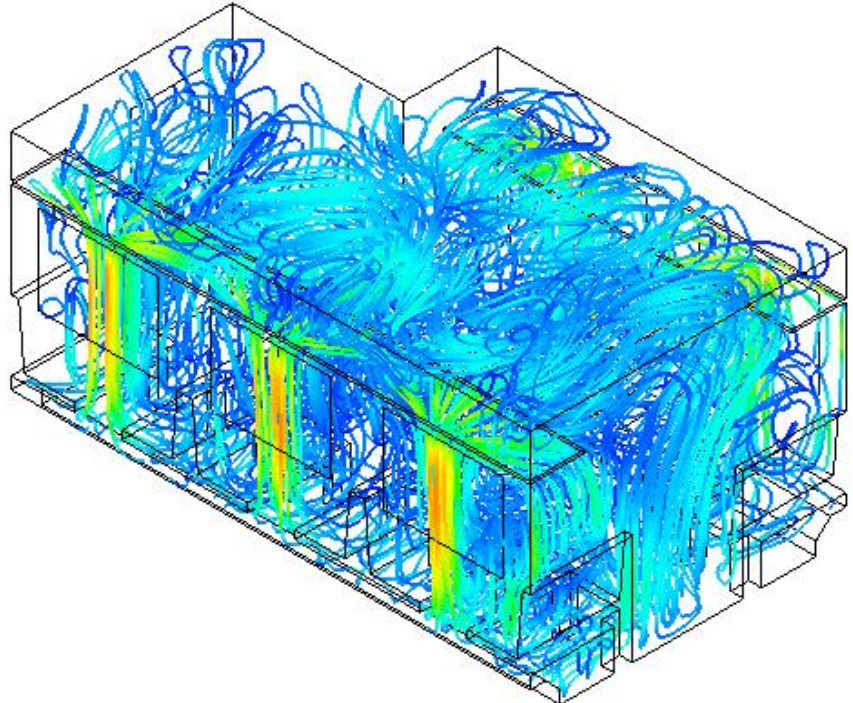


Рисунок 3.13 – Швидкість руху повітря в об'ємі вагону при: 20 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.05601.01 БР 00 ПЗ

Арк.

41



Velocity  
Streamline 1  
0.200  
0.150  
0.100  
0.050  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

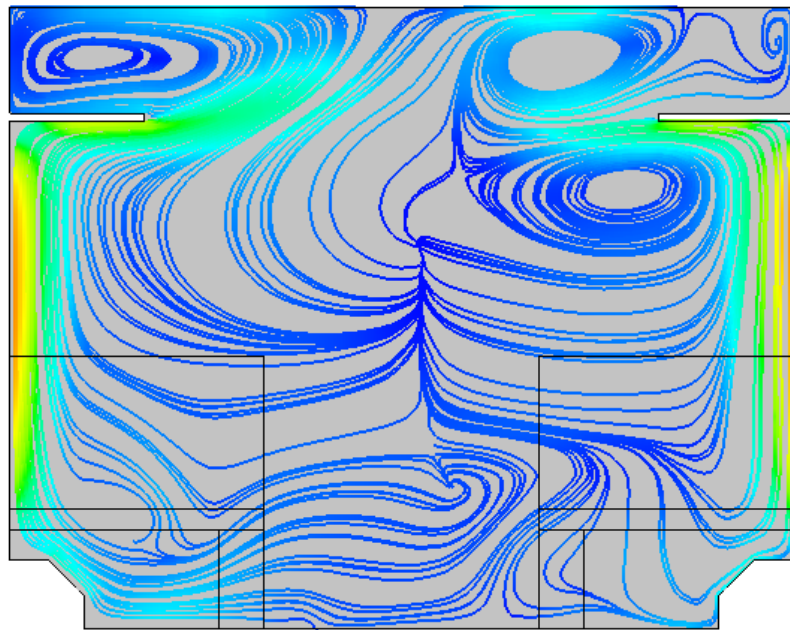


Рисунок 3.14 – Швидкість руху повітря на площині в середині вагону при: 20 °С на радіаторі та 8 °С огорожувальних конструкцій

Velocity  
Streamline 1  
0.400  
0.300  
0.200  
0.100  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]

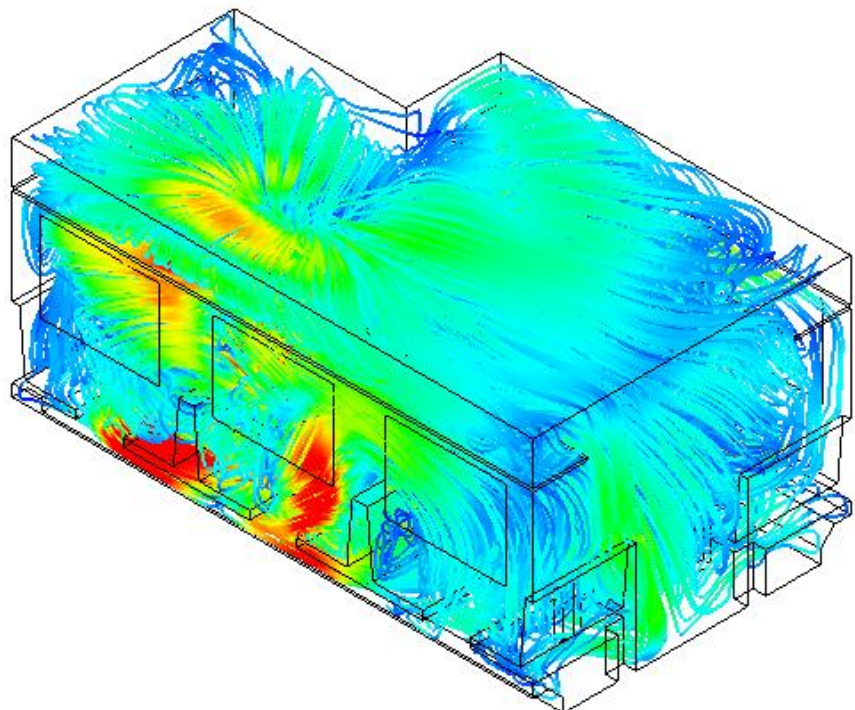


Рисунок 3.15 – Швидкість руху повітря в об'ємі вагону при: 20 °С на радіаторі та –24 °С огорожувальних конструкцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.05601.01 БР 00 ПЗ

Арк.

12

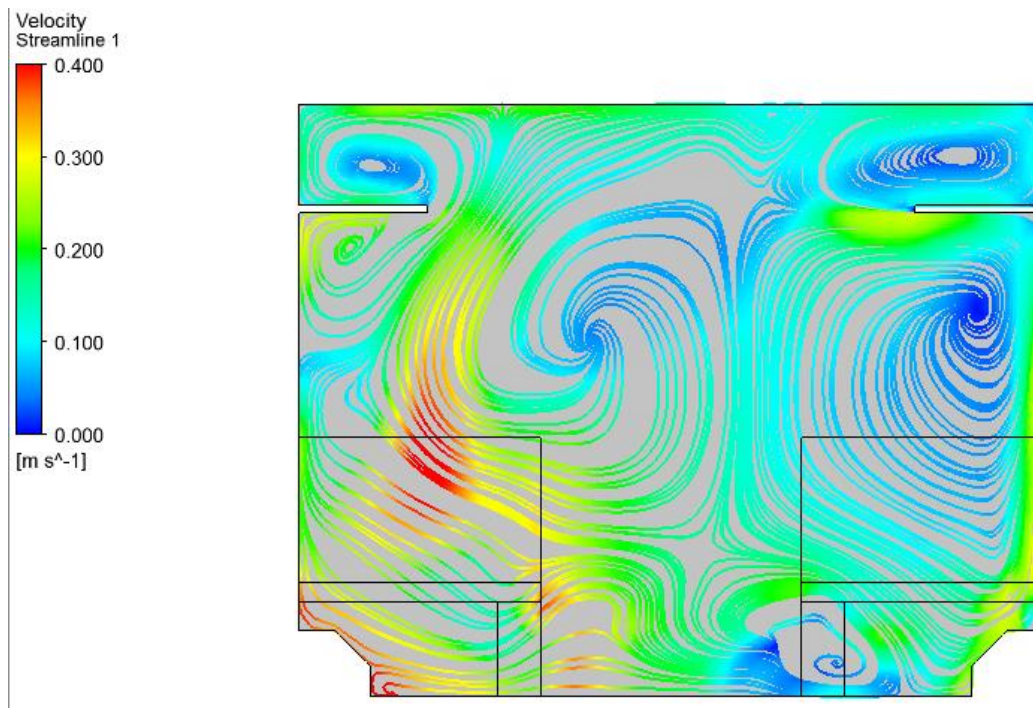


Рисунок 3.16 – Швидкість руху повітря на площині в середині вагону при: 20 °C на радіаторі та –24 °C огорожувальних конструкцій

З рисунків 3.9 та 3.16 видно, що в результаті застосування комбінованого типу опалення, де в якості радіаторів виступають нагрівні труби вкриті захисним кожухом, у вагоні виникає турбулентний рух повітря з утворенням декількох вихрів. З урахуванням заданих різних температур на радіаторі та огорожувальних конструкцій утворені вихри в кожному із випадків ведуть себе по різному.

Візуально проаналізувавши отримані результати розрахунків можна стверджувати що, прогріте радіатором повітря рухається в гору вздовж стін, обволікає сидіння та полочки для багажу, які зустрічаються на шляху, потім піднімається до стелі та опускається до низу і цей процес знову і знову повторюється.

В приміщенні присутній круговий рух повітря, в результаті чого і з'являються вихроутворення. В більшій кількості випадків швидкість руху повітря більша поблизу зовнішніх стін вагону, це пов'язано з розташованими там радіаторами.

### 3.2 Факторний експеримент для моделі вагону з комбінованою системою опалення

Факторний експеримент являється повністю керованим експериментом в якому відбувається реалізація всіх можливих неповторюваних комбінацій рівнів незалежних факторів. Експеримент проводиться з метою отримання моделі, якій притаманні оптимальні властивості [16].

В даній роботі був застосований факторний експеримент з двома факторами, рівні та інтервали варіації факторів представлено в таблиці 3.2. Основний рівень факторів – є визначальним, є вихідним для проведення експерименту.

Таблиця 3.2 - Рівні та інтервали варіації факторів

Рівні та інтервали варіації факторів	Фактори	
	Температура на радіаторі	Температура повітря зовнішнього середовища
Кодове позначення	$x_1$	$x_2$
Основний рівень ( $x_{i,0}$ )	45	-8
Верхній рівень (+)	70	8
Нижній рівень (-)	20	-24
Інтервал варіації	25	16

Інтервалом варіювання фактора [17] «називають деяке число (своє для кожного фактора), додаток якого до основного рівня дає верхній рівень фактора, а віднімання – нижній». Для зручності подальших розрахунків рівні факторів кодують. У кодованому вигляді верхній рівень позначають «+», нижній «-».

Згідно з [17], факторний експеримент здійснюють за допомогою матриці планування, в якій використовують кодовані значення факторів. Значення функції відгуку, отримані при виконанні експериментів, позначені через  $Y$ .

Кількість дослідів дорівнює  $2^k$ , де  $k$  – кількість факторів в експерименті. Так як в даному випадку кількість факторів дорівнює двом, то для визначення коефіцієнтів регресії було проведено 4 досліди.

Для подальшої комфортної роботи з матрицею планування експерименту вводиться стовпець який виконує допоміжний характер з індексом  $i = 0$ , особливістю є те, що він складається лише з одиниць зі знаком «+». В подальшому цей стовпець буде застосовуватися для обчислення початкових елементів функції відгуку. Матриця планування експерименту з двома факторами та результати досліджень представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Матриця планування двохфакторного експерименту і результати досліджень

Номер досліду	Планування			Розрахунок	Результат
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$Y$
1	+	-	-	+	3,12
2	+	+	-	-	23,1
3	+	-	+	-	12,26
4	+	+	+	+	35,01

Отримані коефіцієнти регресії [18]:

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

де  $b_i$ - значення  $j$ -го коефіцієнта регресії ( $j=0,1,2,\dots,k$ );

$x_{in}$  – значення  $j$ -го фактора в  $n$ -м досвіді в кодованому виді;

$Y_n$  - значення параметра оптимізації в  $n$ -м досвіді;

$N$  - число досвідів у матриці планування.

$$b_0 = \frac{3,12 + 23,1 + 12,26 + 35,0,1}{4} = 18,373;$$

$$b_1 = \frac{-3,12 + 23,1 - 12,26 + 35,0,1}{4} = 10,682;$$

$$b_2 = \frac{-3,12 - 23,1 + 12,26 + 35,0,1}{4} = 5,263;$$

$$b_{12} = \frac{3,12 - 23,1 - 12,26 + 35,0,1}{4} = 0,693.$$

Отримана значення коефіцієнта регресії та його знак вказує на те, як впливає даний фактор на загальний результат при переході з одного рівня фактору на інший. Проведення додаткових дослідів дали змогу визначити погрішність значень коефіцієнта регресії. Для проводиться розрахунки середньоквадратичного відхилення за формулою [18]:

$$\sigma = S^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_n - Y^2}{\frac{1}{n-1}}},$$

де n – кількість паралельних дослідів.

$$S^2 = \sqrt{\frac{(22,9 - 23,1)^2 + (23 - 23,1)^2 + (23,15 - 23,1)^2}{\frac{1}{3-1}}} = 0,162.$$

Знаходимо дисперсію відтворення всієї матриці [18]:

$$S_{\text{від}}^2 = \frac{8 \cdot \sum_{i=1}^n Y_n - Y^2}{n \cdot N},$$

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{\text{вiд}}^2 = \frac{8 \cdot ((22,9 - 23,1)^2 + (23 - 23,1)^2 + (23,15 - 23,1)^2)}{3 \cdot 4} = 0,028,$$

$$S_{\text{вiд}} = 0,167.$$

Середньоквадратична похибка [18]:

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

$$S_{bi} = \frac{0,167}{\sqrt{4}} = 0,083$$

Знаходимо значимість коефіцієнтів за критерієм Стюдента [18]:

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

$$t_0 = \frac{18,373}{0,083} = 221,355; \quad t_1 = \frac{10,683}{0,083} = 128,705;$$

$$t_2 = \frac{5,263}{0,083} = 63,404; \quad t_{12} = \frac{0,693}{0,083} = 8,343.$$

Для даного рівня значення  $q = 0,05$  та числа степенів свободи  $f = 2$ , тоді за допомогою таблиць критичних значень критеріїв Стюдента знаходимо його значення, в нашому випадку воно буде дорівнювати 4,303. Всі отримані значення задовольняють умови.

Рівняння отримує вигляд [18]:

$$Y = 18,373 + 10,683x_1 + 5,263x_2 + 0,693x_{12}$$

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді натуральний показник буду дорівнювати:

$$Y = 18,373 + 10,683 \cdot \frac{x_1 - x_{1.0}}{\Delta x_1} + 5,263 \cdot \frac{x_2 - x_{2.0}}{\Delta x_2} + 0,693 \cdot \frac{x_1 - x_{1.0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_2 - x_{2.0}}{\Delta x_2},$$

$$Y = 18,373 + 10,683 \cdot \frac{x_1 - 45}{25} + 5,263 \cdot \frac{x_2 + 8}{16} + 0,693 \cdot \frac{x_1 - 45}{25} \cdot \frac{x_2 + 8}{16},$$

$$Y = 0,44116x_1 + 0,250944x_2 + 0,001731x_{12} + 1,15205,$$

$$T_{\text{вн.}} = 0,44116t_{\text{рад}} + 0,250944T_{\text{ог.к.}} + 0,001731 \cdot t_{\text{рад}} \cdot T_{\text{ог.к.}} + 1,15205.$$

Отримане рівняння описує вплив встановленої температури на радіаторі опалення та температури огорожувальних конструкцій на температуру повітря в вагоні, що в свою чергу дозволяє визначити оптимальний режим роботи системи опалення та забезпечення комфортельних умов в пасажирському вагону моделі 48-060 з комбінованою системою опалення .

За допомогою програмного продукту Microsoft Excel, що призначений для рішення майже будь-яких задач розрахункового характеру та виведення різних типів діаграм, було отримане графічне зображення наступних залежностей:

– геометрична інтерпретація залежності температури в середині вагона від температури опалювальних пристроїв та температури зовнішнього середовища представлена на рисунку 3.17;

– зміна внутрішньої температури в середині вагону від температури опалювальних пристроїв залежно від температури зовнішнього повітря зображено на рисунку 3.18;

– вплив температури зовнішнього середовища на температуру опалювальних пристроїв при різній внутрішній температурі зображено на рисунку 3.19.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

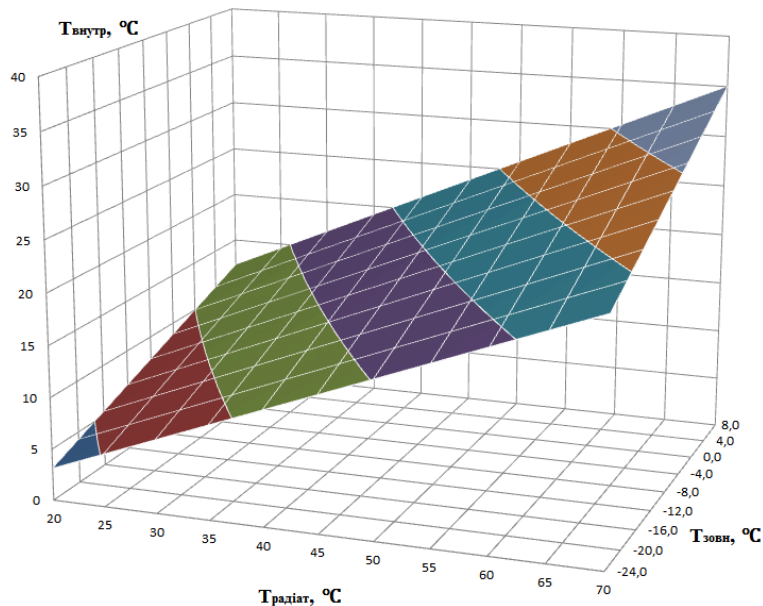


Рисунок 3.17 - Геометрична інтерпретація залежності температури в середині вагона від на температури пристроїв опалення та температури навколишнього середовища

Проаналізувавши отриману геометричну інтерпретацію (рис.3.17) ми можемо бачити як саме температура пристроїв опалення та температура навколишнього середовища впливають на внутрішню температуру в середині вагона.

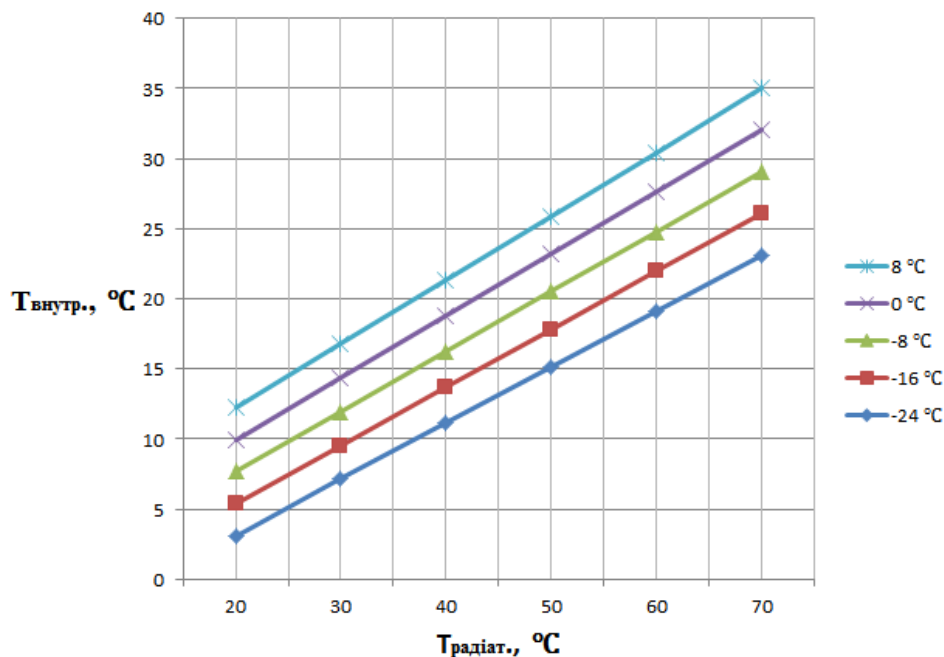


Рисунок 3.18 - Зміна внутрішньої температури в середині вагону від температури радіаторів залежно від температури зовнішнього повітря



Графік (рис. 3.19) дозволяє нам проаналізувати та зробити висновки щодо того, як саме температура опалювальних пристроїв впливає на внутрішню температуру повітря в вагоні при різних значеннях температури навколишнього середовища в діапазоні від 8 °С до –24 °С.

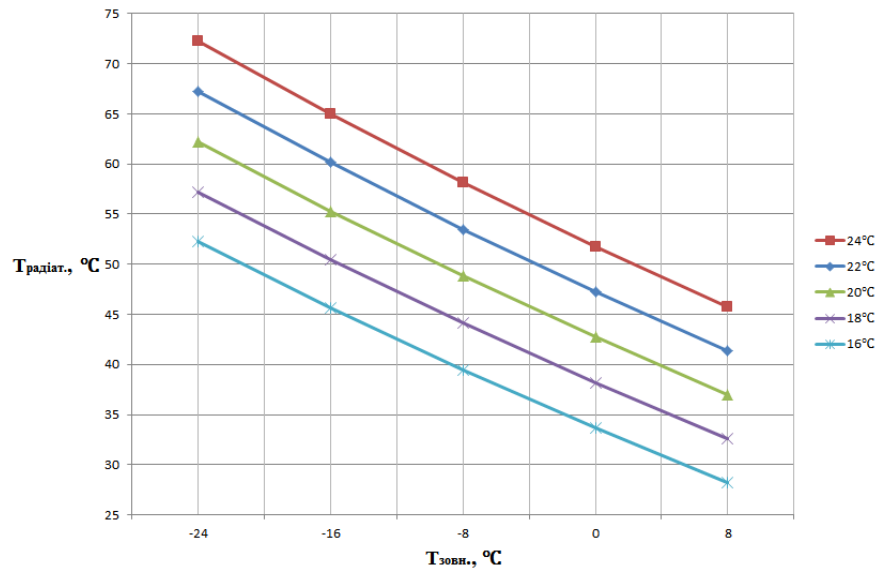


Рисунок 3.19 - Вплив температури зовнішнього середовища на температуру опалювальних пристроїв при різній внутрішній температурі

На отриманому графіку (рис. 3.19) зображено як саме температура зовнішнього середовища та температура радіаторів впливають на температуру внутрішнього середовища вагона, з отриманих результатів ми можемо підібрати оптимальний тепловий режим роботи для пристроїв опалення встановлених у вагоні для досягнення найбільш комфортних умов для перебування людей.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Питання, які розглядаються в даному розділі – основні методи пожежогасіння, вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.

### 4.1 Основні методи пожежогасіння

Згідно з [19] «комплекс заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що виникла, називається пожежогасінням». Існує декілька основних методів гасіння пожежі:

1. Метод охолодження має на увазі те, що «горіння речовини можливе тільки тоді, коли температура її поверхні перевищує температуру її займання. Якщо охолодити цю поверхню, то горіння припиниться [19]»;

2. Метод зниження концентрації застосовується коли «речовина здатна горіти лише за умови наявності в атмосфері кисню більше 14%. Якщо зменшити вміст кисню у зоні горіння, воно повинно припинитися. Це досягається введенням у зону горіння інертних газів (діоксид карбону, азот, водяна пара) або розведенням кисню продуктами горіння в ізольованих приміщеннях [19]»;

3. Метод ізоляції «ґрунтується на тому, що припиняється надходження повітря, а з ним і кисню до речовини, яка горить. Для цього застосовують різні ізолювальні вогнегасні речовини: хімічну піну, порошки і та ін. [19]»;

4. Метод хімічного гальмування швидкості горіння має на увазі те, що «припиняється надходження повітря, а з ним і кисню до речовини, яка горить. Для цього застосовують різні ізолювальні вогнегасні речовини: хімічну піну, порошки і та ін. [19]»;

5. Метод механічного гасіння полум'я полягає в тому, що «на полум'я спрямовують дуже потужний струмінь води, порошку або газу. Можливе також застосування вибуху, коли полум'я збивається ударною хвилею [19]».

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В реальному житті, як правило, застосовують поєднання цих засобів, тобто одночасно може бути використано декілька з вище наведених способів дивлячись на, що горить, і від обставин пожежі.

#### 4.2 Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння

До найпоширеніших засобів гасіння пожеж можна віднести:

- вода;
- піна;
- газові вогнегасні склади;
- порошки;
- тверді речовини.

Гасіння пожеж за допомогою води належить до найбільш розповсюджених засобів припинення процесу горіння, через свою дешевизну та доступність. Також враховуючи те, що теплоємність води в порівнянні з іншими речовинами є найбільшою і тому її застосування являється дуже ефективним для гасіння широко спектру речовин та матеріалів. Струмені води, які застосовуються при гасінні пожеж є досить компактними та розпилюються у вигляді пара. Доставка води до області горіння відбувається за допомогою використання пожежного рукава. Форма струменя відрізняється в залежності від брандспойта, який розташовується на кінці пожежного рукава. В свою чергу гасіння пожежі за допомогою води мають свої обмеження і не може бути застосовано для припинення процесу горіння [20]:

- горючих рідин, з густиною меншою ніж  $1 \text{ г/см}^3$ ;
- електрообладнання, яке знаходиться під напругою;
- речовин, які при контакті з водою виділяють велику кількість тепла (лужні метали, карбіти).

Піна являє собою систему, в якій дисперсною фазою є газ, а дисперсним середовищем в свою чергу є вода. Існує текіла різновидів піни, а саме хімічна і

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

повітряна. Значення густини піни коливається в діапазоні від 0,1 до 0,2 г/см<sup>3</sup>, тому ця властивість дозволяє їй розповсюджуватися по поверхні горючої рідини та ізолювати її від прямого контакту полум'я, що призводить припинення процесу горіння, паралельно з цим поверхня рідини охолоджується. Гасіння пожежі є ефективним тільки тоді, коли піна стійка. Для підвищення даної властивості до води додають адсорбенти, які виконують свої функції на межі «рідина-газ». Дані речовини отримали назву - піноутворювачі.

Хімічна піна утворюється в результаті взаємодії декількох елементів, а саме карбонату або бікарбонату з кислотою за наявності піноутворювача. В результаті реакції між кислотою і солями утворюється діоксид карбону, який і є дисперсною фазою. Хімічна піни являється досить стійкою речовиною та в змозі діяти на протязі більше ніж однієї години. Останні роки через досить високу ціну та складність використання даного типу піни для гасіння пожеж, від неї поступово почали відмовлятися та надають перевагу повітряно-механічній піні.

Для повітряно-механічної піни є характерне те, що вона «утворюється при механічному змішуванні повітря (90%), води (9,4...9,8%) та піноутворювача (0,2...0,4%). Повітряно-механічну піну можна приготувати: низької кратності (до 10); середньої кратності (10-200); високої кратності (200). Стійкість цієї піни залежить від піноутворювача і становить до 20 хвилин. Якщо збільшувати кратність. Стійкість буде зменшуватися [20]».

Гасіння інертними газами. Для того щоб попередити вибух при накопиченні у приміщенні певної кількості горючих газів або пари найбільш ефективним засобом є створення середовища з певними умовами, яке не підтримує процес горіння. Для створення таких умов в середовищі застосовують інертні гази. Вони забирають деяку частину тепла на себе та припиняють процес горіння. найкращий ефект застосування інертних газів досягається при використанні її в закритих приміщеннях. Згідно з [19] до інертних газів належать – діоксид карбону, аргон, азот, водяну пару та димові гази.

Хоча дані речовини мають певні особливості використання так, діоксид карбону являється токсичною речовиною, і перевищення позначки в 10% є небезпечними для людини і можуть викликати смерть. Так для забезпечення

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпеки людям в системах гасіння пожежі, де використовується діоксид карбону приміняється сигналізація, яка забезпечує попередження людей та їх евакуацію із приміщення.

Азот використовують для гасіння речовин в процесі горіння яких, є полум'я (рідини, газу). В свою чергу він не засовується для гасіння речовин, які тліють (деревина, папір, бавовна), і не гасить волокнисті речовини (бавовна, тканини і т.ін.). Вміст азоту в повітрі від 12% до 16% є безпечним для людини, але у тому випадку коли ця межа перевищується, можливе отруєння.

Гасіння галогенопохідними вуглеводнів (хладонами) полягає «у хімічному гальмуванні реакцій горіння, шляхом розривання ланцюгових реакцій окислення, тому їх називають інгібіторами або антикаталізаторами. В порівнянні з вуглекислим газом вони є більш ефективними та завдяки змочуванню можуть застосовуватись для гасіння тліючих речовин та матеріалів [21]». Галогеновуглеводні гарно змішуються з багатьма рідкими органічними речовинами, але погано розчиняються у воді. Через відмінні діелектричні показники, хладони застосовують для гасіння електрообладнання, яке знаходиться під напругою; через висока густини даних речовин дозволяє утворювати струмінь, який гарно потрапляє у зону горіння; низька температура замерзання і висока змочувальна здатність дозволяє застосовувати дані речовини при температурі нижче нуля та гасити тліючі матеріали. Однак хладони мають і ряд недоліків: вони є достатньо токсичними, а саме продукти їх термічного розкладу; мають високу корозійну активність. Застосовують дані речовини для гасіння пожеж достатньо великого об'єму, для запобігання утворення вибухонебезпечної ситуації. Згідно з [19] «хладони не рекомендують застосовувати для гасіння металів, певних металоорганічних сполук, гідридів металів і матеріалів, які містять оксисен».

Гасіння твердими речовинами застосовується при невеликих загораннях, які в свою чергу не піддається гасінню водою або іншими вогнегасними речовинами. Тверді речовини використовують різні порошкові суміші, для того щоб ізолювати поверхні, що горять, від кисню.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До переваг порошкових сумішей можна віднести: гарну вогнегасну спроможність, універсальність в різних областях застосування та можливість застосування при мінусових температурах. Як відомо «вогнегасні порошки можна використовувати для різноманітних способів пожежогасіння, в тому числі для інгібування та подавлення горіння вибухом. Розрізняють порошки загального та спеціального призначення. Основним компонентом порошка ПСБ є бікарбонат натрію (технічна сода); ПФ — діамоній фосфат; ПС — карбонат натрію; СН — сілікогель, насичений хладоном [21]».

Засоби гасіння пожеж поділяють на первинні, стаціонарні та пересувні. Для ліквідації осередків пожеж на стадії загорання або не значних за розмірами, застосовуються первинні засоби пожежогасіння. Як правило «до первинних засобів пожежогасіння належать вогнегасники, пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини або повсті) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо) [21]». Згідно з нормами пожежної безпеки в кожному приміщенні, робочій зоні та транспортні мають бути в наявності вище перераховані засобами призначення для пожежогасіння.

Внутрішній пожежний кран - це елемент внутрішнього пожежного водопроводу, а згідно з [21] «він повинен бути розташований на висоті 1,35 м від підлоги на сходових клітках біля входів, а також у коридорах. Пожежний кран комплектується рукавом діаметром 50 мм і довжиною 10 або 20 м, швидко з'єднувальним пристроєм та пожежним стволом (брандспойтом). У кожному приміщенні повинно бути не менше двох пожежних кранів. Витрати води на роботу кранів беруться, виходячи з умов подавання води на один чи два струмені.».

Серед первинних засобів дуже значну роль відіграють вогнегасники. Залежно від речовин, що використовуються, вони поділяються на пінні, газові та порошкові. На рисунку 4.1 [21] представлені найбільш розповсюджені типи вогнегасників та їх будова.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

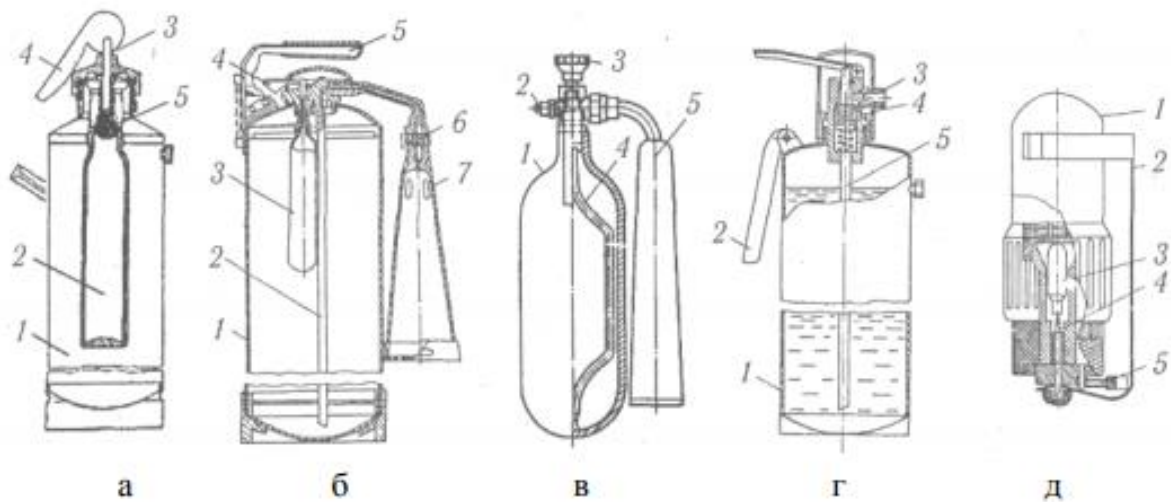


Рис. 4.1 - Вогнегасники: а-вогнегасник хімічно-пінний: 1-корпус; 2-стакан; 3-запірно-пусковий пристрій; 4-пусковий важіль; 5-запірний клапан; б-вогнегасник повітряно-пінний: 1-корпус; 2-сифонна трубка; 3-балончик; 4-пусковий важіль; 5-ручка; 6-розпилювач; 7-дифузор з сіткою; в-вуглекислотний вогнегасник: 1-балон; 2-запобіжний клапан; 3-вентиль; 4-сифонна трубка; 5-дифузорнігоутворювач; г-вогнегасник вуглекислотно-брометиловий: 1-балон; 2-ручка; 3-розпилювальна насадка; 4-ковпак; 5-сифонна трубка; д-порошковий вогнегасник: 1-корпус; 2-запобіжний кронштейн; 3-балончик з вуглекислотою; 4-голка; 5-розпилювач з поліетиленовим ковпачком [21].

Пінні вогнегасники використовують «для гасіння твердих та рідких горючих матеріалів за винятком речовин, здатних горіти та вибухати при взаємодії із піною. Також ними не можна гасити електрообладнання, яке знаходиться під напругою. За способом утворення піни пінні вогнегасники поділяються на хімічні та повітряно-механічні [19]».

До газових вогнегасників відносяться вуглекисотно брометилові вогнегасники, які в якості вогнегасної речовини застосовують речовину, яка складається на 97% з бромистого етилу, а решта 3% становить вуглекислий газ. Через високу змочувальну здатність бромистого етилу продуктивність даних вогнегасників у 4 рази перевищує ефективність звичайних вуглекислотних вогнегасників.

Порошкові вогнегасники застосовуються для припинення процесу горіння «твердих, рідких та газоподібних горючих речовин та електроустановок, які знаходяться під напругою до 1000 [19]».

До найбільш популярних стаціонарних засобів гасіння пожежі можна віднести спринклерні та дренчерні установки. Дані установки являються розгалуженими мережами трубопроводів. Схема водяної спринклерної установки представлена на рисунку 4.2 [21], в них водорозпилюючі головки також виступають у ролі датчиків.

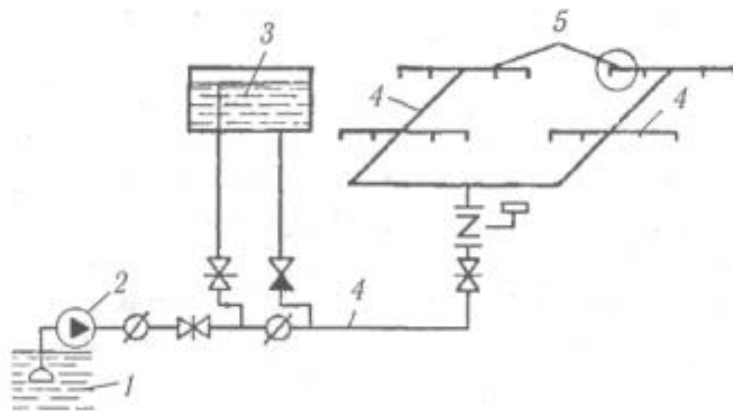


Рис. 4.2 - Схема спринклерної установки водяного пожежогасіння:  
1-джерело водопостачання; 2,3-водоживильники; 4-мережа труб;  
5-зрошувачі [21].

Спринклери реагують на зміну температури у зоні дії спринклерної головки, а саме на її підвищення. Принцип дії полягає в тому, що деталь яка з'єднує пластини замка та перекриває вихід води зроблена з спеціального матеріалу, коли вона плавиться замок розпадається, і потім починається розпилення води на джерело займання. Вода в трубах знаходиться під тиском, але витoki з неї є не можливими, так як спринклери закриті замками. Саме тому спринклери багатофункціональні, вони виконують роль датчиків та роль зрошувачів, що забезпечують рівномірне розподіл води по всій області горіння.

Дренчерні установки представляють собою систему труб, тільки в порівнянні зі спринклерними головками, ці знаходяться постійно у відкритому стані. Спрацьовує дана система в ручному режимі, через відкриття засувки або в



автоматичному через спрацювання клапанів. Дані установки застосовуються у великих за площею приміщеннях з відсутньою системою опалення, а також на відкритих площадках. Вони виконують захисну функцію, захищають будівлі від розповсюдження вогню, створюючи водяну завісу. В порівнянні зі спринклерами дана система позбавлена ряду недоліків, а саме вона має в наявності головки, які спрацьовують у групі з іншими. Вода потрапляє до всіх дренчерних головок одночасно. Схема дренчерної установки представлена на рисунку 4,3 [22].

Згідно з [19] «замки спринклерних головок або контрольні клапани дренчерних установок можуть бути встановлені на температури 72, 93, 141 або 182 °С залежно від небезпечної температури у приміщенні. Інтенсивність зрошування автоматичними системами пожежогасіння становить від 0,12 до 0,3 л/с на м<sup>2</sup>, а площа, яка захищається одним зрошувачем, від 9 до 12 м<sup>2</sup>».

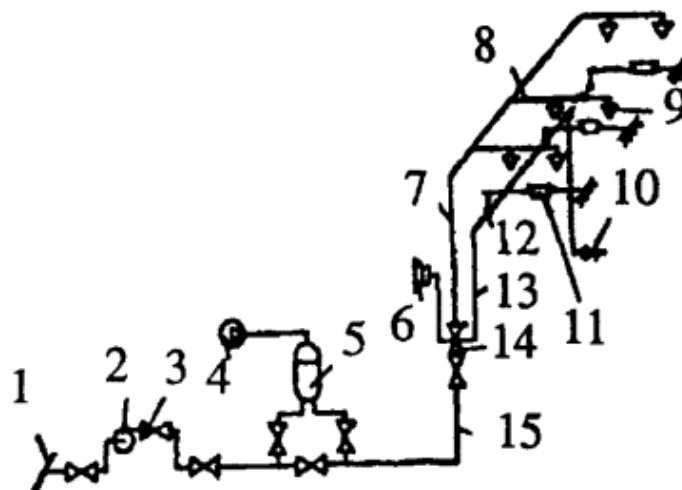


Рис. 4.3 - Схема дренчерної установки водяного пожежогасіння:  
 1-зовнішній водопровід, 2-насос, 3-зворотний клапан, 4-компресор,  
 5-резервуар для вирівнювання тиску, 6-звуковий випромінювач,  
 7-трубопроводи, 8-дренчерна мережа, 9-дренчерні головки, 10-кран  
 ручного увімкнення, 11-легкоплавкі замки, 12-збуджувальний клапан, 13-  
 збуджувальний водогін, 14-клапан групової дії, 15-труба водогінної мережі  
 [22].

## ВИСНОВОК

В результаті виконання даної бакалаврської роботи отримані наступні результати:

1. Здійснено характеристику вимог до системи опалення вагонів різного типу.
2. Створено тривимірну модель пасажирського потяга моделі 48-060 з комбінованою системою опалення.
3. Розроблено розрахункову модель, що дозволяє проаналізувати отриману інформацію, щодо розподілу температури та швидкості руху повітря по пасажирському вагону.
4. Проведено факторний експеримент з двома факторами: температура на радіаторі опалення та температурою огорожувальних конструкцій.
5. У графічному вигляді представлено вплив встановленої температури на радіаторі опалення на температури повітря у вагоні.
6. Проведено оцінку впливу встановленої температури на радіаторі на внутрішню температуру вагону при різній температурі зовнішнього середовища, та отримано рівняння для визначення оптимального режиму роботи системи опалення пасажирського вагона.
7. Завдяки отриманій в ході роботи інформації можна розробити рекомендації щодо дотримання санітарно-гігієнічних норм та забезпечення комфортних умов для перебування пасажирів вагону у холодні періоди року.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проблеми економіки транспорту: Тези доповідей ІХ Міжнародної наукової конференції. – Д.: ДНУЗТ, 2010 р. –238 с.
2. Урядовий портал [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р «Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» - Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/243219821>
3. Жариков В.А. Климатические системы пассажирских вагонов М.: ТРАНСИНФО, 2006. 135 с.
4. ДСТУ 4049-2001. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки. Чинний від 01.03.2002. – К.: Держстандарт України. – 2001. – 45 с.
5. Водопостачання пасажирських вагонів [Електронний ресурс]: «Водоснабжение пассажирских вагонов» - Режим доступу до ресурсу: <http://scbist.com/zh-d-stati/2870-statya-vodosnabzhenie-passazhirskih-vagonov.html>
6. Электроснабжение пассажирских вагонов. М. р. Ю.И. Комаров и Ю.Г. Путин. - С.- Петербург: ПИИЖТ, 1992. 25с.
7. Пасажирські вагони [Електронний ресурс]: «Пасажирські вагони. Особливості будови і технічні пристрої забезпечення комфорту для пасажирів» - Режим доступу до ресурсу: <http://refleader.ru/otrpolujgje.html>
8. Балалаев А.Н. Теплотехнические свойства вагонов и контейнеров из экструдированных алюминиевых панелей [Текст] / А.Н. Балалаев, А.С. Мокшанов, М.А. Паренюк // Транспорт Российской Федерации, 2014. -№1. – с. 58-40.
9. Цельнометаллические пассажирские вагоны Г. К. Евтихеев и др. Изд-во «Транспорт», 1972, - 224 с.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. 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.
11. Инженерный анализ в ANSYS Workbench; Учеб. пособ. / В.А.Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А.Солдусова и др., Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2010. – 271 с.
12. Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування : навчальний посібник / В. А. Ващенко, В. С. Антонюк, Г. С. Тимчак, І. В. Яценко, М. О. Бондаренко, О. В. Кириченко, М. П. Рудь ; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – Київ : НТУУ "КПІ", 2012. – 412 с.
13. Кулінченко, В. Р. Тепловіддача з елементами масообміну (теорія і практика процесу) : підручник / В. Р. Кулінченко, О. Ю. Шевченко, В. А. Піддубний. - К. : Фенікс, 2014. - 918 с.
14. Моделювання процесів взаємодії випромінювання з середовищами з врахуванням поглинання та розсіяння / Демкович І.В., Петровська Г.А., Олешкевич В.П., Бобицький Я.В., Національний університет Львівська політехніка, 2011, - 7с.
15. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.
16. Факторний експеримент [Електронний ресурс]: «Регресійний аналіз і планування експериментів» - Режим доступу до ресурсу: [http://vysloukh.in.ua/6\\_Regres\\_analiz1.pdf](http://vysloukh.in.ua/6_Regres_analiz1.pdf)
17. Повний факторний експеримент [Електронний ресурс]: «Основи планування експерименту» - Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/13/13-6/13-62683.html>
18. Основи научных исследований. Руковод. авт. кол. Баранов Е.Г. – Киев; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 176 с.
19. Основи охорони праці: конспект лекцій / укладач А. М. Зуєв. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – 160 с.
20. Основи охорони праці. Підручник / М.С. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М.

						6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
							61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Черненко. Х.: Издат. 2017. – 334 с.

21. Основи охорони праці. Підручник / В. Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2004. – 250 с.

22. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

					6.05601.01 БР 00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		