

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

Денисенко Тарас Михайлович

РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЗАКРИТОЇ
СПОРТИВНОЇ СПОРУДИ З ПОВІТРЯНОЮ СИСТЕМОЮ ОБІГРІВУ

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)

Хованський С.О

(прізвище, ім'я, по батькові)

К.Т.Н., доцент

(наукове звання та наукова ступінь)

Суми – 2018

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____

« _____ »
20__ р. _____

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Денисенко Тарас Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: «Розрахункові дослідження теплового стану закритої спортивної споруди з повітряною системою обігріву»

затверджена наказом по університету № _____ від __ “ ____ ” _____ 20__ р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи - до “ 17 ” грудня 2018 р.

3 Вихідні дані до роботи: Креслення об'єкту енергетичного обстеження; нормативна документація з енергоспоживання, що діє на території України.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)
Вступ (загальна характеристика проблем з енергозбереження).

1. **Огляд основних характеристик спортивних споруд** (загальні вимоги, класифікації спортивних споруд, структура фізкультурно-спортивної споруди, системи опалення та вентиляції спортивних споруд закритого типу).
2. **Числове моделювання теплового стану приміщення** (створення тривимірної моделі, побудова розрахункової сітки, опис розрахункової моделі, проведення комп'ютерного розрахунку).
3. **Аналіз результатів числового моделювання теплового стану приміщення** (загальний аналіз результатів розрахунків, розподіл температури в приміщенні залежно від температури теплоносія та особливостей функціонування системи опалення, планування факторного експерименту).
4. **Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.**

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	Соляник В.О.		

6 Дата видачі завдання 17.09.2018 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 12.11 до 09.12.2018	
2	Захист переддипломної практики	до 12.12.2018	
3	Виконання 1-го розділу	до 24.11.2018	
4	Виконання 2-го розділу	до 01.12.2018	
5	Виконання 3-го розділу	до 15.12.2018	
6	Виконання 4-го розділу	до 20.12.2018	
7	Представлення виконаної роботи	до 22.12.2018	
8	Проведення захисту роботи	з 26.12 до 27.12.2018	
9			
10			

Студент-магістр

_____ (підпис)

Керівник випускної роботи

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 80 с., 9 таблиць, 30 рисунків, 20 літературних джерел.

Мета роботи: підвищення ефективності використання теплової енергії закритих спортивних споруд з системою повітряного обігріву на основі аналізу їх теплових режимів.

Були вирішені такі завдання:

- розроблено математичну та числову моделі теплового стану споруди, яка обігривається повітряною системою обігріву;
- проведено моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в спортивній споруді для аналізу його теплового стану;
- на основі розробленої моделі оцінено тепловий стан приміщення;
- проведено багатофакторний віртуальний експеримент.

Предметом дослідження є змодельоване приміщення.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану приміщення з повітряною системою обігріву

Методи дослідження: математичне моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS.

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

Тема роботи – «Розрахункові дослідження теплового стану закритої спортивної споруди з повітряною системою обігріву»

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

N – потужність, кВт;

Q – кількість теплоти;

ρ – густина, кг/м³;

l – довжина, ширина, висота, м;

V – об'єм, м³.

P – тиск, Па

Індекси та скорочення

$N_{ел}$ – кількість елементів;

$N_{в}$ – кількість вузлів;

$N_{спорт.}$ – кількість спортсменів, чол;

$L_{норм.спорт.}$ – нормована потреба повітря спортсменам.

Абревіатура

УГДК - гранично допустима концентрація CO_2 ;

G_{CO_2} - кількість виділяючого CO_2 , л / ч,

УП - вміст газу в приточному повітрі.

ЗМІСТ

Завдання на магістерську роботу

Реферат

Перелік умовних позначень, індексів та скорочень

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТИВНИХ СПОРУД.....	10
1.1 Загальні вимоги	10
1.2 Класифікації спортивних споруд.....	12
1.3 Структура фізкультурно-спортивної споруди	15
1.4 Системи опалення та вентиляції спортивних споруд закритого типу.....	16
1.4.1 Вентиляційна система.....	17
1.4.2 Система опалення.....	19
2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ	22
2.1 Створення тривимірної моделі	22
2.2 Побудова розрахункової сітки	23
2.3 Опис розрахункової моделі	30
2.4 Проведення комп'ютерного розрахунку.....	46
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ	49
3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі приміщення з повітряною системою обігріву «Frivent».....	49
3.2 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі приміщення з повітряною системою обігріву з розгалуженою схемою подачі теплоносія.....	52
3.3 Факторний експеримент для моделі приміщення з повітряною системою опалення «Frivent»	57
3.4 Факторний експеримент для моделі приміщення з повітряним обігрівом з розгалуженою схемою подачі теплоносія	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
4.1 Загальна характеристика	69

4.2 Дані про об'єкт дослідження.....	72
4.3 Розрахунок вентиляційної системи	73
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті	75
ВИСНОВОК.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79

ВСТУП

Україна – це держава, яка має дефіцит власних енергоресурсів [28], тому проблема енергозбереження для неї є найбільш гострою, оскільки низька енергоефективність стала одним з основних чинників кризових явищ в українській економіці. Як свідчать статистичні дані, у структурі витрат на виробництво промислової продукції в першій половині 90 – х рр.. минулого століття майже втричі зросла вартісна складова енергоресурсів у матеріальних витратах на продукцію, сягнувши 42% їх загального обсягу.

У проєкті енергетичної стратегії України до 2030 р. визначається, що “енергозбереження має суттєвий вплив на енергетичну безпеку держави, оскільки неефективне внутрішнє споживання паливно-енергетичних ресурсів вимагає великих обсягів (майже 50%) їх імпорту, що призводить до значної залежності від країн – експортерів. Разом із тим потенціал енергозбереження в Україні становить понад 45% обсягу споживання паливно-енергетичних ресурсів. Його реалізація дозволить здебільшого зняти гостроту проблеми зовнішньої енергетичної залежності”. Таким чином, проблема енергозбереження для України є однією з визначальних і від її вирішення залежить ефективне функціонування національної економіки.

Підвищення енергоефективності споруд закладів спортивної направленості [28] вимагає використання інноваційних будівельних технологій, запровадження сучасних стандартів з енергоефективності та комплексного підходу як до проектування нових, так і реконструкції існуючих будівель з одночасним врахуванням загального енергоспоживання всіх їх технічних систем.

Об’єкт, мета та задачі дослідження

Аналіз літературних джерел щодо повітряних систем опалення будівель дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення ефективності використання теплової енергії закритих спортивних споруд з системою повітряного обігріву на основі аналізу їх теплових режимів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: розробити математичну та числову модель теплового стану споруди, яка обігривається повітряною системою обігріву; провести моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну в спортивній споруді для аналізу його теплового стану; на основі розробленої моделі оцінити тепловий стан приміщення; дослідити вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану приміщення з повітряною системою обігріву.

1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТИВНИХ СПОРУД

Сучасна спортивна споруда [21] - це складний «організм» в якому переплетені і одночасно йдуть складні процеси, безперервна робота над спортивними досягненнями і оздоровленням нації. Але паралельно з цим, складні інженерні та інженерно-технічні системи, допомагають «людям спорту» домагатися перемог як в районних першостях і олімпіадах, так і просто відчувати себе краще, займаючись улюбленим видом спорту.

Повноцінна спортивна споруда - це більше, ніж просто будівля або майданчик. Це місце зустрічі людей - об'єднання однодумців, наснаги спільнот спортсменів і уболівальників, створення атмосфери спілкування. Це об'єднання продуманої концепції, планування, технології та дизайн. Розуміння цього є запорукою створення успішного проекту.[21]

1.1 Загальні вимоги

Кількість, склад і місткість спортивних та фізкультурно-оздоровчих будинків і споруд і їх комплексів встановлюється відповідно до норми площі, передбаченої вимогами розділу 6 ДБН 360.

Спеціалізація споруд за видами спорту і кількість місць для глядачів встановлюються завданням на проектування залежно від місцевих умов, чисельності населення і містобудівного значення спортивної споруди або комплексу. Необхідність влаштування захисних споруд цивільної оборони у спортивних та фізкультурно-оздоровчих будинках і спорудах визначається [21] завданням на проектування за погодженням із штабом цивільної оборони, а їх проектування здійснюється згідно з вимогами ДБН В.2.2-5.

Розміщення спортивних та фізкультурно-оздоровчих споруд у вбудованих, вбудовано-прибудованих та прибудованих приміщеннях до житлових будинків дозволяється тільки для закладів з регламентованим режимом функціонування (з 7 до 23 години) згідно з вимогами СНІП 2.08.01 та СНІП II-12

Вбудовано-прибудовані та прибудовані приміщення до житлових будинків можуть використовуватися для розміщення лише таких видів спортивних і фізкультурно-спортивних закладів, які відповідають вимогам СанПіН 3077, СанПіН 1304, СНІП 2.04.05, ДСН 3.3.6.037, ДБН 360, п. 3.14 за показниками шумового режиму, вібрації та мікроклімату в житлових приміщеннях.

Будівельні та опоряджувальні матеріали, що використовуються, повинні відповідати вимогам радіаційної безпеки згідно з ДБН В. 1.4-1.01, ДБН В. 1.4-2.01, ДБН 6.6.1-6.5.001 [21].

Спортивно-демонстраційні і спортивно-видовищні споруди рекомендується проектувати універсальними - з ареною, що трансформується, для попереминого проведення змагань з декількох видів спорту або декількох видів культурно-видовищних або громадських заходів. Решту спортивних споруд, призначених в основному для навчально-тренувальних занять, слід передбачати для одного виду спорту або групи видів спорту, що не потребують трудомісткої трансформації спортивного обладнання [21].

У спортивно-видовищних будинках слід передбачати естраду, а також приміщення та пристрої, що забезпечують проведення культурно-видовищних і громадських заходів. Розмір естради рекомендовано приймати [17] 18 x 12 м у залах з ареною менше 65 x 36 м і не менше 24 x 18 м - у залах з ареною 65 x 36 м і більше. Приміщення демонстраційного комплексу слід проектувати за нормами культурно-видовищних закладів.

У критих спортивних спорудах шляхи пересування тих, хто займається (у спортивному одязі) із роздягалень до місць занять не повинні перетинатися зі шляхами пересування глядачів [1].

1.2 Класифікації спортивних споруд

В нашій країні до спорту завжди ставилися з повагою, але останнім часом він з цікавого і захоплюючого заняття перетворився на модне з усіма, що впливають звідси наслідками. Спортивна індустрія невпинно розвивається, виробляючи на світ велика кількість нових матеріалів, технологічних рішень. Варто відзначити зростаючі вимоги не тільки до високої функціональності і міцності споруд, а й до оформлення (дизайну). Тож ми можемо виділити наступні типи спортивних споруд [11] [21]:

- відкриті сезонні – розміщені на відкритому повітрі (літні та зимові);
- закриті (розміщені в будівлі).

До відкритих літніх споруд належать:

- спортивні ядра для футболу і легкої атлетики;
- поля та майданчики для рухливих і спортивних ігор, окремих видів легкої атлетики, кінного спорту, катання на роликів ковзанах, скейтбордах;
- доріжки і траси для бігу, ходьби, кінного та велоспорту, легкоатлетичних та велокросів тощо;
- трампліни зі штучним покриттям для стрибків на лижах;
- тири та стрільбища для кульової стрільби та стрілкові-полювальні стенди;
- обладнані ділянки водойм для плавання і купання, різних видів греблі, парусного спорту, водного слалому тощо;
- відкриті ванни з підігрівом та без підігріву води для спортивного і оздоровчого плавання, стрибків у воду тощо;
- штучні канали для греблі, водного слалому тощо.

До відкритих зимових споруд належать:

- поля і майданчики зі штучною або природною кригою для масового та фігурного катання на ковзанах, хокею з шайбою тощо;
- доріжки для швидкісного бігу на ковзанах;
- траси для лижного, гірськолижного спорту, біатлону тощо;

- штучні траси для санного спорту, бобслею, скелетону;
- трампліни для стрибків на лижах;
- облаштовані маршрути для лижного туризму [21].

Значна кількість відкритих спортивних споруд поперемінно використовується для різних видів спорту залежно від сезону, для чого змінюється їх покриття та обладнання. Спортивні ядра для легкої атлетики і футболу у зимовий період переобладнуються на льодові доріжки для швидкісного бігу на ковзанах та поля для хокею з шайбою; поля і майданчики для рухливих та спортивних ігор – на льодові поля і майданчики для масового катання на ковзанах, хокею з шайбою тощо, доріжки і траси для бігу, ходьби, велоспорту – траси для лижного спорту і біатлону тощо.

До закритих спортивних споруд належать [11]:

- зали для спортивних ігор, акробатики, спортивної та художньої гімнастики, хореографії, ЗФП легкої та важкої атлетики, боксу, боротьби, тренажерні зали;
- ванни з підігрівом води для спортивного і оздоровчого плавання, стрибків у воду, водного поло, ванни для гребного спорту;
- поля і доріжки зі штучною кригою для масового катання на ковзанах, швидкісного бігу на ковзанах, хокею з шайбою, керлінгу;
- велотреки;
- тири для кульової стрільби;
- манежі для кінного спорту, легкоатлетичні тощо.

Перспективними є споруди із конструкціями стін і стелі, що трансформуються. Такі споруди можна використовувати цілий рік.

За ознакою об'ємно-просторової організації спортивні споруди поділяються на площинні та об'ємні. До площинних належать переважно всі відкриті споруди, до об'ємних – закриті та деякі відкриті: відкриті ванни, штучні канали для греблі та слалому; штучні траси для гірськолижного спорту; тири, стрільбища, стрілково-полювальні стенди; трампліни для стрибків на лижах, штучні траси для санного спорту.

За ознакою поширеності споруди поділяють на дві групи [21]:

- розповсюджені – споруди, які не залежать від місцевих умов (спортивні зали, ванни басейнів, поля і майданчики);
- місцеві – споруди, наявність яких залежить від умов місцевості – природних, економічних умов, спортивних традицій (споруди для водних, гірських, зимових видів спорту, кінного спорту, велотреки, великі спортивні арени)

За характером використання спортивні споруди поділяються на:

- спеціалізовані – призначені для одного або декількох споріднених видів спорту;
- універсальні – призначені для поперемінного використання різними видами спорту за допомогою трансформації обладнання.

За видом використання спортивні споруди поділяються на:

- спортивно-демонстраційні – споруди, призначені для тренування спортсменів високої кваліфікації і проведення змагань у присутності глядачів, чисельність місць для глядачів на трибунах якої складає не менше: 500 глядачів в приміщенні, 1500 глядачів на відкритому повітрі;
- спортивно-видовищні – спортивно - демонстраційні споруди, призначені для демонстрації спортивних змагань і проведення культурно-видовищних та громадських заходів;
- навчально-тренувальні – споруди, призначені для навчання початківців і тренування некваліфікованих спортсменів. Незалежно від наявності глядацьких місць всі споруди для гребного, парусного, лижного, гірськолижного, санного, бобслейного, стрількового, ковзанярського, кінного, вело-шосейного, шахового спорту відносяться до навчально-тренувальних;
- фізкультурно-оздоровчі – споруди, призначені для загально-фізичної підготовки та активного відпочинку населення різних вікових груп.

Спортивні споруди діляться на 4 категорії [21]:

I категорія – споруди які по своїх параметрах, розмірах, оснащенню дозволяють забезпечити навчально-тренувальну роботу спортсменів вищої

кваліфікації і проведення змагань по міжнародних правилах (Чемпіонати світу, Європи, країни, кубки).

II категорія – споруди які по своїх параметрах, розмірах оснащення дозволяють забезпечити змагання масових розрядів (чемпіонати регіону, області, міста, району).

III категорія – споруди, основні параметри, яких по розмірах і оснащення дозволяють забезпечити умови масових фізкультурно-оздоровчих і спортивних занять або масових змагань.

IV категорія – споруди, параметри яких дозволяють забезпечити ведення фізкультурно-оздоровчої роботи.

Нормативний час фізкультурно-оздоровчої роботи з населенням :

- споруди I категорії – 20%
- споруди II категорії – 40%
- споруди III категорії – 60%
- споруди IV категорії – 100%.

Відкриті і закриті спортивні споруди можуть бути: окремою спорудою, призначеною для одного або для декількох видів спорту (універсальні споруди) або комплексною спорудою, що складається із декількох окремих споруд з видів спорту об'єднаних загальною територією, або розміщених в одній будівлі.

1.3 Структура фізкультурно-спортивної споруди

До складу фізкультурно-спортивних споруд входять:

1. Основна споруда - є головною частиною спортивної споруди призначеної для проведення спортивної навчально-тренувальної і оздоровчої роботи, а також змагань; повинна мати розміри, покриття, розмітку та обладнання у відповідності з правилами змагань і діючи табелем забезпечення спортивним обладнанням та інвентарем [12].

2. Допоміжні приміщення необхідні для: обслуговування відвідувачів: гардероб, душеві, туалети, масажі, навчально-методичні класи, кімнати інструкторського і тренерсько-викладацького складу, сауни сухого пару, приміщення для відпочинку, медичного обслуговування; забезпечення експлуатації спортивної споруди: адміністративні, господарські (інвентарні, майстерні, склади, гаражі); технічного забезпечення: теплопостачання, водопостачання (холодне, гаряче), електропостачання газопостачання, зв'язок.

3. Місця для глядачів складаються з трибун, лавок розміщених біля основної споруди і приміщень для обслуговування глядачів (вестибюль, фойє, буфети, гардеробні, туалети). З місць для глядачів відвідувачі мають евакууватися по загальному проходу в одному напрямку і з однаковим впродовж проходу видом шляху (горизонтальний, пандус, сходи вниз або вверх).

Назва спортивної споруди приймається переважно за назвою основної споруди. Іноді застосовуються спеціальні терміни: зал легкої атлетики – «легкоатлетичний манеж», майданчик для тенісу – «тенісний корт», відкрита чи закрита ванна – «відкритий або критий басейн», майданчик із льодовим покриттям – «ковзанка» тощо.

1.4 Системи опалення та вентиляції спортивних споруд закритого типу

Спортивні зали дуже різні за своїм планувальним рішенням. Особливо це стосується висоти приміщень, відсутність і наявності місць для глядачів, захисту світлових прорізів і багато чого іншого. Спорт - це важка робота, яка вимагає досить високу кількість подачі свіжого повітря в залі. І саме з цієї причини вентиляції спортивних залів повинні бути виконані максимально якісно.

Для різних спортивних приміщень відповідно до їх функціонального призначення та зі специфікою виду спорту і пов'язаним з цим характером спортивних тренувань, віково-статевої функціональній, психофізіологічній і кваліфікаційні відмінності займаються встановлені свої гігієнічні нормами температури повітряного середовища.

Оптимальні мікрокліматичні умови [22] в критих спортивних спорудах створюються за допомогою систем опалення та вентиляції. У спортивних спорудах застосовується, як правило, центральне опалення (водяне, парове або повітряне) [3].

1.4.1 Вентиляційна система

1.4.1.1 Природна вентиляція.

У спортивних приміщеннях вона здійснюється за рахунок інфільтрації повітря, що виникає внаслідок відмінностей величин температури зовнішнього повітря і температури повітря всередині приміщень. Чим більше відмінностей (перепад) у величині температур всередині і поза приміщеннями, тим вище інтенсивність інфільтрації повітря. Але навіть при оптимальних умовах вона здатна забезпечити лише 0,5-кратний повітрообмін в спортивних спорудах критого типу за годину.[3][22]

При відсутності штучної вентиляції закриті спортивні споруди провітрюються переважно через кватирки і фрамуги З гігієнічної точки зору фрамуги більш доцільні, тому що через них повітря спочатку потрапляє у верхню зону спортивних приміщень, там прогрівається, а потім вже нагріте надходить в зону дихання відвідувачів спортивних споруд або спортсменів [13] [22].

Тим самим забезпечується захист займаються від можливих простудних захворювань. Відповідно до гігієнічних норм загальна площа фрамуг в

спортивних приміщеннях повинна становити не менше 1/50 загальної площі їх статі.

1.4.1.2 Штучна система вентиляції.

Штучною називається така система вентиляції, при якій повітря переміщається як всередину спортивного приміщення, так і з нього за допомогою різних вентиляторів [13].

Виділяється місцева і центральна штучна вентиляції. Місцева призначена для вентиляції повітря тільки в одному приміщенні. Наприклад, у вікнах або отворах стін, краще в далекому від дверей кутку, встановлюється вентилятор, за допомогою якого повітря або віддаляється (витяжка) з приміщення, або подається (приплив) в нього.

Центральна штучна вентиляція - це комплекс спеціальні споруд та технічні пристрої, що забезпечує повітря весь крите спортивна споруда. Вона може бути припливної, витяжної або припливно-витяжної. Припливно-витяжна вентиляція в спортивних спорудах зазвичай влаштовується за наступною схемою, зовнішнє повітря за допомогою вентилятора надходить в припливну камеру, в ній він механічно очищається від пилових частинок, а в холодну пору ще і підігрівається і через вентиляційні канали подається в приміщення.

Для видалення забрудненого повітря обладнується мережу витяжних каналів Вони виводяться в загальний колектор на стельовому перекритті спортивних споруд, і вже з нього повітря видаляється за допомогою потужного вентилятора. З гігієнічної точки зору в спортивному залі доцільніше розташовувати припливні і витяжні отвори штучної вентиляції на протилежних торцевих стінах [17] [22].

Таке рішення виключає утворення в окремих приміщеннях застійних зон забрудненого повітря. Найкращий варіант штучна вентиляції в спортивних спорудах вважається приточно-витяжна вентиляція. У них зазвичай вона обладнується з деякою перевагою припливу повітря. У деяких приміщеннях

(душові, санвузли) обладнується тільки витяжна штучна вентиляція, в них вона повинна забезпечити [12] не менше ніж 10-кратний повітрообмін, в санітарних вузлах - 100 м³/год витяжки повітря на 1 унітаз або пісуар [22]. Системи вентиляції основних і допоміжних приміщень повинні бути роздільними.

Коли зводиться система, що відповідає за опалення і вентиляцію критих катків, для холодильних станцій холодопродуктивність машин приймається строго за літніми навантаженнями з неодмінним урахуванням параметрів внутрішнього повітря. При цьому температура поверхні льоду береться для розрахунку як мінус 8°C при льоді з товщиною в 50 мм. Допустима різниця температур не повинна становити більше 0,5°C.[18][22]

Сучасна і гігієнічно найбільш прийнятна система штучної вентиляції спортивних споруд - кондиціонування повітря. Вона автоматично підтримує протягом достатнього часу заданого оптимальних параметрів повітряного середовища температури, відносна вологість, швидкість рух (рухливість) і чистота повітря. Повітря, що надходить в кондиціонер, підігрівається або охолоджується, осушується або, навпаки, зволожується, очищається від пилу і бактерій і подається в приміщення із заданою певною швидкістю

1.4.2 Система опалення

Система опалення спортивних споруд повинна забезпечувати в них комфортну температуру навіть в найхолоднішу для даної місцевості погоду. Величина гігієнічної оптимальної температури для різних спортивних споруд залежать і від можливої кількості присутніх глядачів. Наприклад, оптимальна температура повітря для спортивних залів при відсутності місць для глядачів становить [12] 15°C, для критих катків – 14°C, для вогневої зони критих тирів - 18°C.[22]

У спортивних залах місткістю до 800 глядачів температура повітря для холодного періоду року повинна бути [13] 18°C і не більше ніж на 3°C вище за цю температуру в теплий період року. У залах місткістю більше 800 глядачів розрахункова температура в холодний період року становить 18°C , в теплий - не вище 25°C . Розрахункова температура для роздягалень і душових, санітарних вузлів - 25°C , фізкультурно-оздоровчих споруд - не менше 18°C . [23]

Мікрокліматичні умови в спортивних спорудах багато в чому залежать і від відносної вологості і рухливості (швидкість руху) повітря. Гігієнічно оптимальна відносна вологість повітря в спортивних спорудах становить в холодний період року 40-45%, в теплий - 50-55%. У спортивній споруді, в зонах знаходження займаються, рухливість повітря повинна бути не більше 0,3 м/с, в спортивних залах для боротьби, настільного тенісу та в критих ковзанках - не більше 0,5 м/с. Цим вимогам найбільше відповідає водяне опалення низького тиску [22].

У спортивних залах радіатори опалення повинні закриватися захисними решітками, що знаходяться в одній площині зі стіною. У плавальних басейнах рекомендовано застосовувати повітряне опалення, так як подається через систему опалення нагріте повітря має низьку вологість, що дозволяє одночасно знизити відносну вологість повітря в залі ванн.

Для своєчасного видалення надлишку тепла, вологи і шкідливих газоподібних забруднювачів повітря, що утворюються в результаті діяльності спортсменів і глядачів, спортивні споруди обладнуються спеціальними системами вентиляції, природного та штучного.

Ефективність роботи вентиляційні систем в спортивних спорудах, їх здатності забезпечити підтримання чистоти повітря в приміщеннях оцінюються по забезпеченню для кожного, що займається або вболівальника, необхідного обсягу повітря (повітряний куб) і його регулярна зміна зовнішнього повітря.

Відповідно до гігієнічних вимог в спортивних залах повітряний куб дорівнює 30 м^3 , обсяг вентиляції - 90 м^3 на людину в годину. Інакше кажучи, потрібно така потужність вентиляційних систем, яка б могла забезпечити не

менше ніж трикратний обмін повітря в них за годину. Наприклад, в спортивних залах, в залах ванн критих басейнів для повітрообміну передбачається подача не менше 80 м^3 зовнішнього повітря в годину на одного, хто займається і 20 м^3 - на одне зорове місце.

Спортивний зал - це досить складний тип споруди з точки зору опалювальної системи [11]. Величезна площа спортзалу вимагає швидкого і ефективного опалення. У деяких випадках опалити спортивний зал потрібно всього за кілька годин до початку гри. З таким завданням не зможе впоратися стандартний варіант централізованого опалення і інші варіанти опалювальних систем. У той же час централізованого опалення відрізняється тим, що створює величезну локальні зони в приміщенні. Таким чином, гаряче повітря збирається під стелею (де немає ніякої потреби опалення), замість того, щоб прогрівати нижню частину будівлі.[23]

Як знайти вихід з цього становища? На сьогоднішній день велику популярність на світовому вентиляційному ринку завойовує водяний тип тепловентиляторів. Його перевага полягає в ефективності використання і високому рівні тепловіддачі. До того ж даний агрегат може працювати як від централізованої системи подачі води, так і від альтернативних джерел. Включивши такий пристрій всього за кілька годин до потрібного моменту, ви зможете забезпечити необхідний температурний режим в спортзалі.

2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ

2.1 Створення тривимірної моделі

Для проведення чисельного експерименту [28] моделі теплового стану легкоатлетичного манежу була створена тривимірна модель споруди за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 2.1).

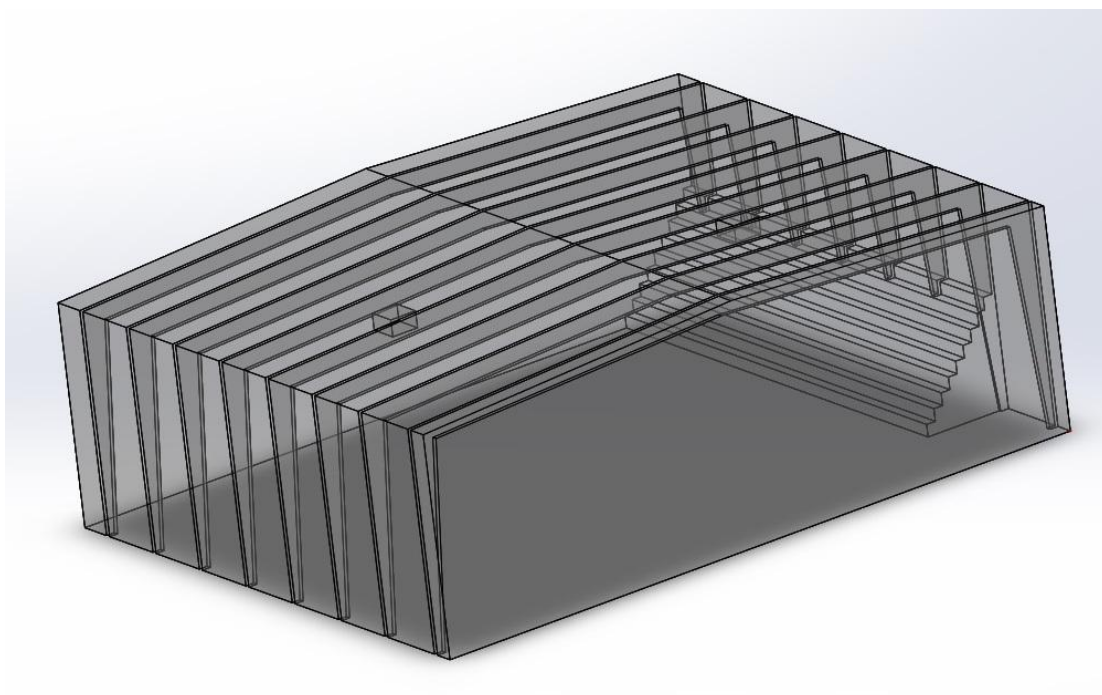


Рисунок 2.1 – Тривимірна модель легкоатлетичного манежу

Розміри моделі споруди наближені до реальних умов ($l=100 \times 60 \times 19$) м. При створенні тривимірної моделі у якості опалювальних приладів було спроектовано повітряне опалення споруди за допомогою стельового опалювача FRIVENT® DD-130 (рис. 2.2). Витрата повітря якого становить 13 тис. м.куб, та потужністю двигуна 2,4 кВт



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд опалювального приладу

Розрахунковою областю в даній розрахунковій задачі є об'єм приміщення [24], який складається з області повітря, опалювального приладу, балок перекриття та сходинок.

2.2 Побудова розрахункової сітки

Для виконання чисельного дослідження побудована розрахункова сітка [10][24]. Побудова розрахункової сітки – це процес ділення розрахункової області на велику кількість окремих комірок. Розрахункова сітка – це основа всього розрахунку. Якщо сітка не якісна, то розрахунок може мати велику похибку або не запуститися взагалі.

Комірками сітки є багатогранники, зазвичай тетраедри, гексаедри, призми або піраміди (рис. 2.3). Кромки цих осередків (комірок) є лініями розрахункової сітки, а точки, розташовані на кромках, або в центрі осередків (комірок), – вузли розрахункової сітки. В результаті чисельного розв'язання рівнянь

математичної моделі саме у вузлах розрахункової сітки і визначаються шукані параметри течії.

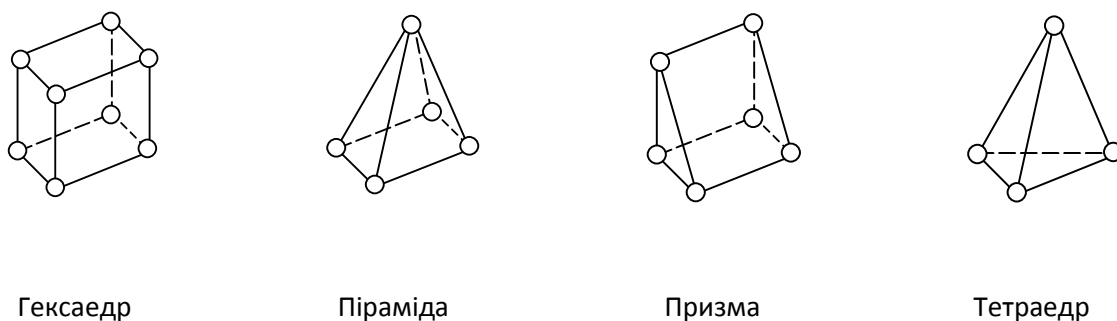


Рисунок 2.3– Типові форми осередків (комірок) сітки

Основна вимога до розрахункової сітки [4] – вона повинна бути досить густою, щоб визначити фізичні ефекти, які мають місце усередині розрахункової області. Для досягнення рівномірної точності розрахунку вузли сітки повинні якомога більш густіше розташовуватися у місцях значної зміни параметрів течії, зокрема у стінок. Крім того, при побудові сітки необхідно уникати отримання надмірно витягнутих або перекошених осередків (комірок), форма яких занадто сильно відрізняється від правильних багатогранників. Якість розрахункової сітки впливає на точність отриманих результатів, збіжність результату, об'єм необхідних ресурсів, які будуть затрачені комп'ютером (об'єм оперативної пам'яті) та час необхідний для вирішення задачі.

При створенні розрахункової сітки для покращення її якості було прийняте рішення розбити сітку на 2 частини: область повітря та опалювального приладу. Для побудови розрахункової сітки використовується генератор сіток ICEM CFD, у який були імпортовані раніше створені геометрії тривимірної моделі з SolidWorks.

Розрахункова сітка повітря і опалювального приладу схожі за своєю структурою. Маючи уявлення про протікання процесів, які будуть досліджуватися в даній задачі визначаємо місця на геометричній моделі де будуть виникати швидкі зміни параметрів (зміна густини потоків, скачки температур, швидкостей тощо). Для більш точного врахування цих змін подрібнюємо елементи розрахункової сітки поблизу граничних поверхонь (рис. 2.4, 2.5).

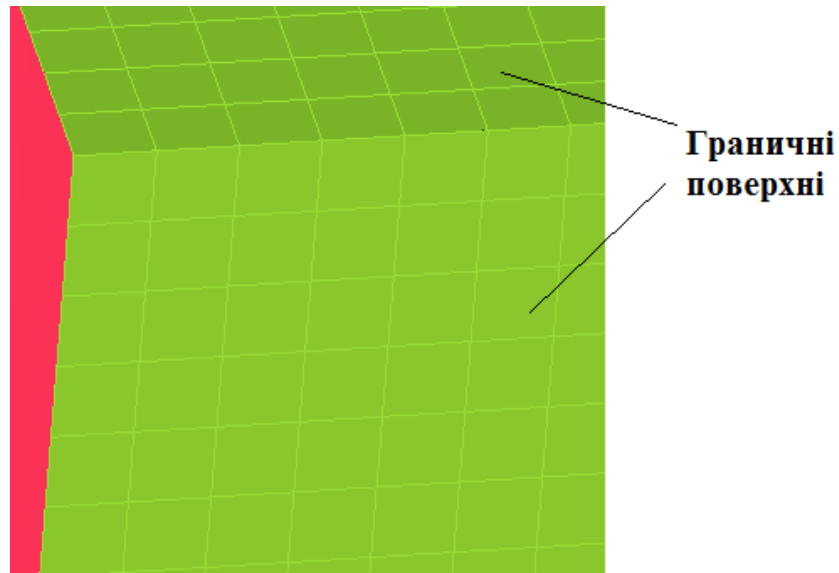


Рисунок 2.4 Структура подрібнення розрахункової сітки повітря поблизу граничних поверхонь

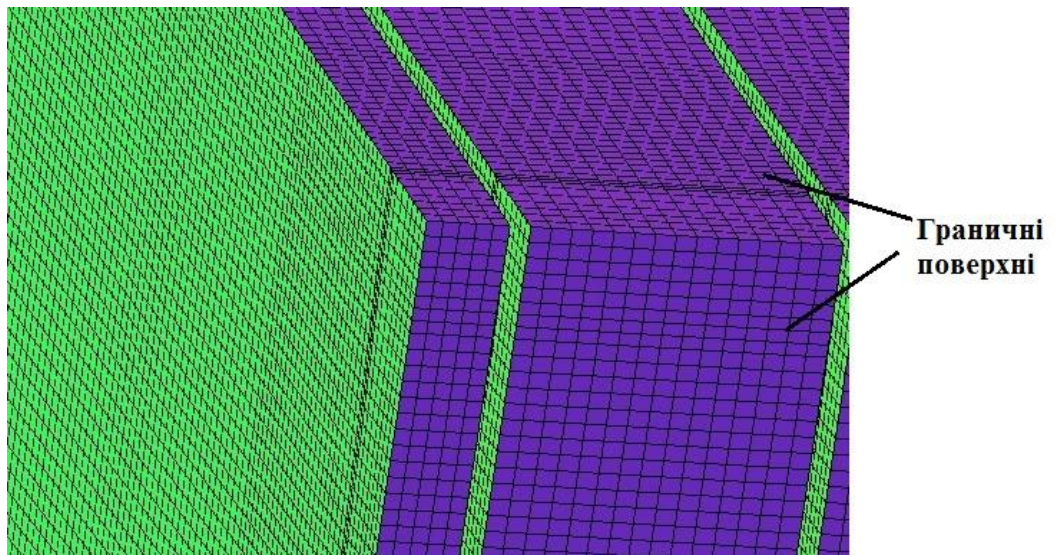


Рисунок 2.5 Структура подрібнення розрахункової сітки опалювального приладу поблизу граничних поверхонь

Для більш коректного описання пристіночної течії поблизу твердих стінок (місце контакту повітря з твердою поверхнею або верхні з поверхнею) проводилося згущення комірок, при чому чим ближче до стінки тим комірки більш дрібніші, а чим ближче до внутрішньої зони розрахункової області тим вони крупніші. Крім того для підвищення якості сітки виконаний плавний

перехід від комірок малого розміру до великого. Згущення комірок збільшує об'єм сітки, але це необхідний захід.

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

Після побудови розрахункової сітки проводять [7] перевірку на якість. Спочатку проводилася візуальна перевірка якості побудованої розрахункової сітки на наявність візуальних помилок в прообразі розрахункової сітки (наявність занадто вузьких витягнутих комірок, вироджених та скошених комірок). Якщо помилки були не виявлені це ще не означає, що побудована сітка якісна. Для більш детальної перевірки використовувався пакет опцій ICEM CFD. Однією з найбільш ефективних є діаграма якості за допомогою якої можливо виявити неявні помилки в прообразі сітки (в більшості випадків так звані від'ємні об'єми), а також знайти елементи, які мають погану якість (в більшості випадків це гексаедрні елементи з занадто гострими чи тупими кутами).

Для оцінки якості використовувалися наступні критерії: determinant (детермінант), angle (кут між гранями комірок), aspect ratio (коефіцієнт пропорційності).

Параметр детермінант (determinant) характеризує співвідношення сторін стінок гексаедра (рис. 2.6, 2.7).

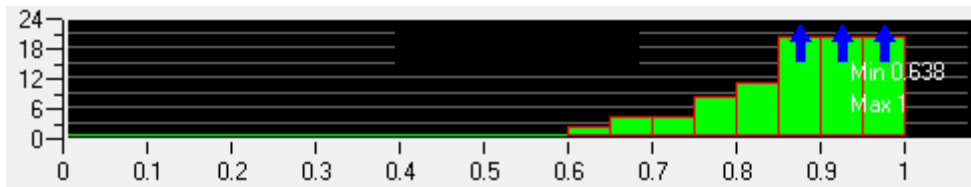


Рисунок 2.6– Діаграма якості (детермінант) області повітря

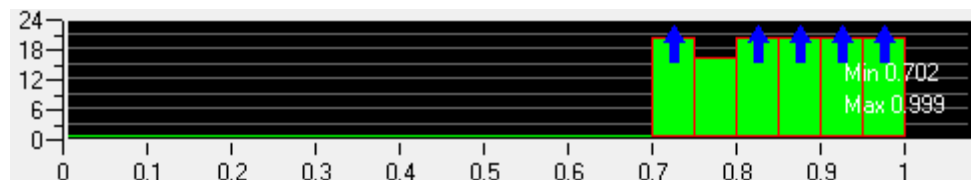


Рисунок 2.7– Діаграма якості (детермінант) області опалювального приладу

Значення детермінанту 1 свідчить про те, що всі елементи сітки співрозмірні, а 0 буде вказувати, що елемент вироджується в одному або більше краях, а негативні значення – перевернуті елементи. Відношення довжини сторін стінок гексаедра повинно бути не меншим за 0,3 [4]. У нашому випадку мінімальне значення такого відношення складає 0,7. Дана діаграма показує, що якість сітки є задовільною.

Перевіряємо кут між гранями комірок (рис. 2.8, 2.9).

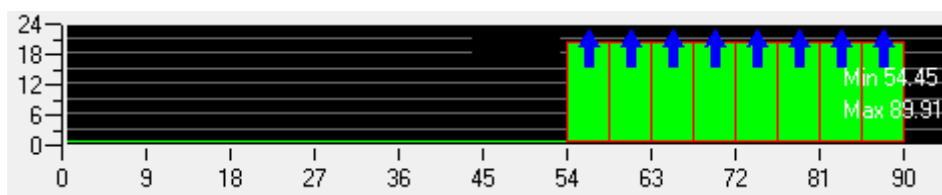


Рисунок 2.8– Діаграма якості (кут між гранями комірок) область повітря

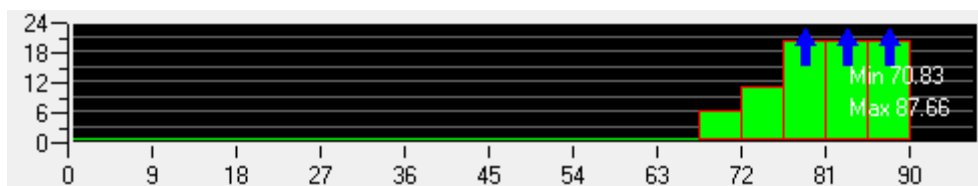


Рисунок 2.9– Діаграма якості (кут між гранями комірок) область опалювального приладу

Для отримання задовільної якості розрахункової сітки параметр angle (кут між гранями комірок) повинен бути не меншим за 9° [7]. Аналіз даної діаграми показує, що найменший кут між гранями комірок складає 54° .

Витягнутість контрольних об'ємів гексаедрів визначається за допомогою критерію якості aspect ratio (коефіцієнт пропорційності) на рис. 2.10, 2.11.

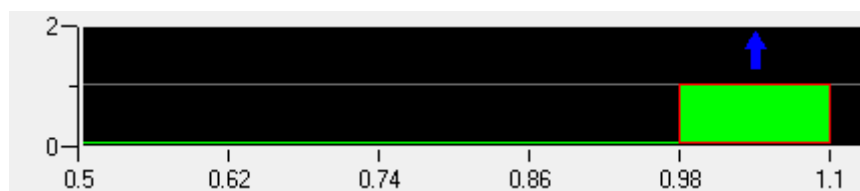


Рисунок 2.10– Діаграма якості (коефіцієнт пропорційності) області повітря

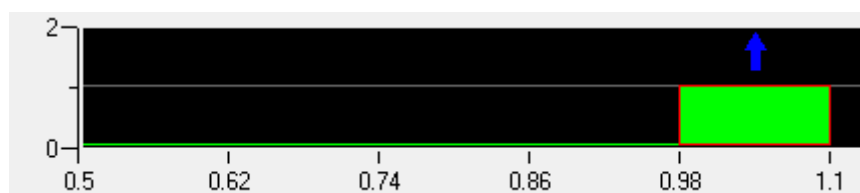


Рисунок 2.11– Діаграма якості (коефіцієнт пропорційності) області опалювального приладу

Коефіцієнт пропорційності – це максимальне значення відношення площ граней комірок (відношення довжини елемента до його товщини), показує як витягнутий контрольний об'єм, згідно рекомендацій [4] його значення має бути не більшим за 1. Дана діаграма задовольняє умови якості.

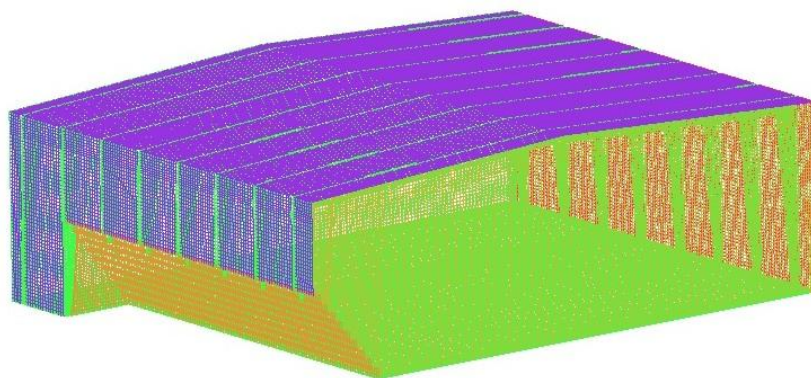


Рисунок 2.11– Вигляд розрахункової сітки в продукті ICEM CFD

Основні параметри отриманої розрахункової сітки області повітря:

– кількість елементів $N_{ел}^{пов}$ – 2237520 шт;

– кількість вузлів $N_{в}^{пов}$ – 1980530 шт.

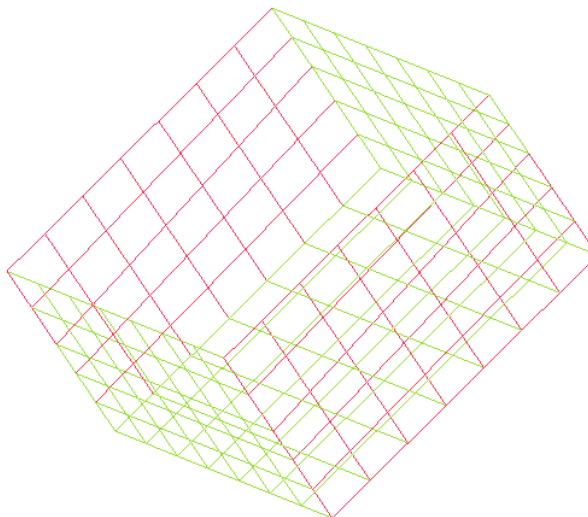


Рисунок 2.12– Вигляд розрахункової сітки області опалювального приладу

Основні параметри отриманої розрахункової сітки області повітря:

– кількість елементів $N_{ел}^{оп}$ – 476 шт;

– кількість вузлів $N_{в}^{оп}$ – 192 шт.

Основні параметри отриманої розрахункової сітки всього приміщення:

– кількість елементів:

$$N_{ел} = N_{ел}^{пов} + 20 \cdot N_{ел}^{оп};$$

$$N_{ел} = 2237520 + 20 \cdot 476 = 2247040 \text{ шт.};$$

– кількість вузлів:

$$N_{в} = N_{в}^{пов} + 20 \cdot N_{в}^{оп};$$

$$N_{в} = 1980530 + 20 \cdot 192 = 1984370 \text{ шт.}$$

Для більш наочного уявлення занесемо дані про кількість вузлів та елементів до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1– Кількість елементів та вузлів розрахункової сітки.

Область	Кількість елементів	Кількість вузлів
Повітря	2237520	1980530
Повітрообігрівач	476	192
Всього:	2247040	1984370

Розрахункова модель приміщення має 2247040 елементів, тому у ході комп'ютерного розрахунку буде задіяно приблизно 3 Гб оперативної пам'яті.

2.3 Опис розрахункової моделі

Для задавання параметрів розрахункової області розрахункова сітка була імпортована в модуль Препроцесор CFX-Pre (рис. 2.13).

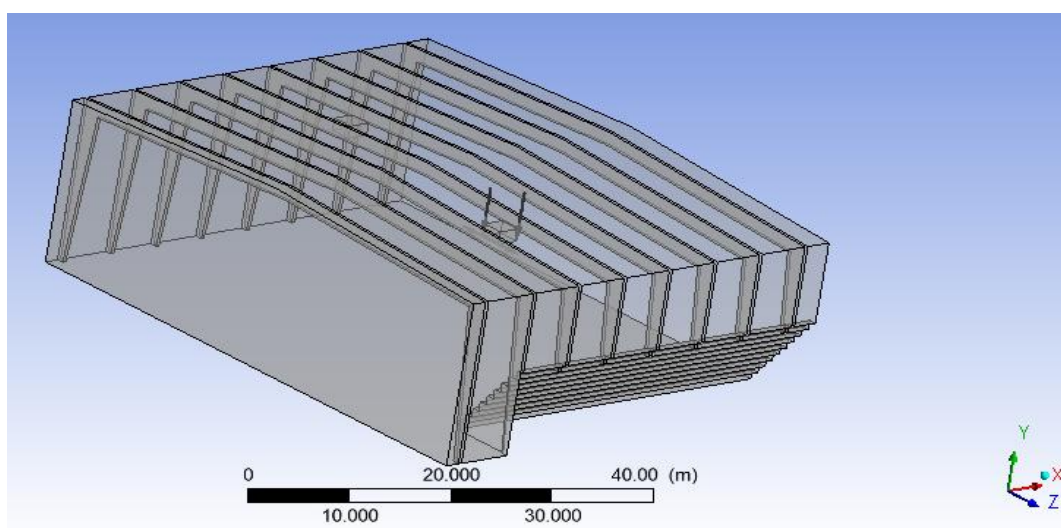


Рисунок 2.13 – Розрахункова область в Препроцесорі

В Препроцесорі задаються умови однозначності 24 (крайові умови) та вибираються математичні моделі, які необхідні для чисельного вирішення задачі (створюється розрахункова модель). За допомогою Препроцесора створювалася розрахункова модель складного теплообміну (радіаційно-конвективного) в розрахунковій області, тобто описані процеси конвективного теплообміну, що супроводжуються тепловим випромінюванням. Конвективний теплообмін – процес перенесення теплоти як конвекцією так і теплопровідністю. Конвекція – це процес перенесення теплоти при переміщенні мікрочастинок тіла в просторі із зони з однією температурою в зону з іншою температурою. Теплопровідність – процес перенесення теплоти внаслідок хаотичного руху та енергетичної взаємодії між мікрочастинками, з яких складається тіло (молекул, атомів, електронів); вона не залежить від руху тіла або його частин. і випромінювання з повітрям і навколишніми предметами.

Зазначені вище процеси розповсюдження теплоти в розрахунковій області являються нестационарними (змінюються в часі), тому проведений розрахунок в стаціонарній постановці (приведений до певного моменту в часі). Це пояснюється особливістю комп'ютерного інженерного розрахунку, що буде описаний в підрозділі 2.4.

Для математичного визначення даної задачі задавалися умови однозначності (крайові умови) [7] [25] [24], що містять:

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

Геометричні розміри і форма розрахункової області автоматично визначаються модулем Препроцесор, так як дана геометрична [25] [24] модель

представляє собою структуровану сітку, принцип побудови якої описаний в підрозділі 2.2.

Робочим тілом в даній розрахунковій області є повітря, термодинамічні параметри якого наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Термодинамічні параметри повітря

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

Часові умови для розрахунку нестационарного процесу наведені в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Часові умови

Параметри	Розмірність	Чисельне значення
Початковий час	хв	0
Крок розрахунку	хв	0.1
Загальний час розрахунку	хв	180

Граничні умови можна задавати трьома способами. В даному випадку застосовувалися граничні умови першого роду [24] [25]. За граничних умов

першого роду задавався розподіл температури на поверхні стінки T_c для кожного проміжку часу τ [7]:

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

де x, y, z – координати поверхні тіла (рис. 2.3.1).

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

$$T_c = const.$$

Граничні умови на кожному з елементів приведені в табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Граничні умови

Тверда стінка	Температура поверхні, К (°C)
Стеля	270.8 (-2.2)
Стіни	270.8 (-2.2)
Підлога	279 (6)
Опалювальний прилад	293(20), 313 (40), 353(80)

Різна температура повітря із опалювальногоприладу дасть змогу отримати залежність температур у кімнаті від зміни температури теплоносія.

Усі тверді стінки були прийняті шорсткими, середнє арифметичне відхилення профілю (Ra) складало 25 мкм.

При розрахунку використовувалась модель гравітації, яка дозволяє врахувати процес вільної (природної) конвекції в замкнутому об'ємі, що обумовлена дією масових (об'ємних) сил. Масові сили – сили, що прикладені до всіх частинок речовини і діють під впливом зовнішніх силових полів (поле

гравітації). Інтенсивність теплового розширення повітря характеризується температурним коефіцієнтом об'ємного (теплового) розширення [6]:

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

де $v = \frac{1}{\rho}$ – питомий об'єм повітря, $\frac{м^3}{кг}$; ρ – густина повітря, $\frac{кг}{м^3}$.

Для повітря коефіцієнт об'ємного розширення можна наближено отримати, користуючись рівнянням Клапейрона [16]:

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

Запишемо значення коефіцієнта об'ємного розширення через різницю питомих об'ємів та густини [16]:

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

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

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

Наявність різниці густин призводить до того, що на будь-який одиничний об'єм прогрітого повітря діятиме підймальна сила F_{II} , яка дорівнює алгебраїчній сумі виштовхувальної архімедової сили $A = \rho_p \cdot g$ і сили ваги $G = \rho \cdot g$ [19]:

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

Підіймальна сила F_{II} переміщує прогріте повітря вгору так і виникає природна конвекція. В даній задачі наша розрахункова область побудована в просторових координатах X, Y, Z (рис. 2.3), тому для врахування моделі гравітації по координатній осі Y було задано значення прискорення вільного падіння g :

$$Y = -g = -9,81, \text{ м/с}^2.$$

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

$$U_x = 0, \text{ м/с};$$

$$U_y = 0, \text{ м/с};$$

$$U_z = 0, \text{ м/с}.$$

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

Для вирішення задачі використовувалась модель теплообміну в постановці (Thermal Energy), що включає сукупність транспортних рівнянь: нерозривності, імпульсу, повної енергії (збереження енергії). Зазначені рівняння в подальшому використовуються для вирішення теплового енергетичного рівняння. Рівняння нерозривності, імпульсу, збереження енергії в стаціонарній структурі (операторному вигляді) мають вигляд:

– рівняння нерозривності [7]:

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

де U – вектор швидкості $U_{X,Y,Z}, \text{ м/с}$.

– рівняння імпульсу [7]:

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

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

В даному рівнянні тензор τ пов'язаний зі швидкістю відносної деформації [7]:

$$\tau = \mu \cdot \left(\nabla \cdot U + (\nabla \cdot U)^T - \frac{2}{3} \cdot \delta \cdot \nabla \cdot U \right),$$

де δ – матриця ідентичності (функція Кронекера Дельта).

– рівняння повної енергії [7]:

$$\frac{\partial(\rho \cdot h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U \cdot h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla \cdot T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E.$$

В цьому рівнянні h_{tot} – повна ентальпія, що пов'язана зі статичною ентальпією $h(T, p)$ [7]:

$$h_{tot} = h + \frac{1}{2} \cdot U^2.$$

Параметр $\nabla \cdot (U \cdot \tau)$ характеризує роботу в'язких зусиль і називається в'язкісним терміном роботи. Параметр $U \cdot S_M$ характеризує роботу впливу зовнішніх джерел імпульсу і в даному випадку не враховується.

Для того щоб отримати альтернативну форму енергетичного рівняння знаходимо значення механічної енергії [19]:

$$K = \frac{1}{2} \cdot U^2.$$

Механічне енергетичне рівняння отримано як скалярний добуток U з рівнянням імпульсу [7]:

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

Якщо відняти дане рівняння від рівняння повної енергії то отримаємо теплове енергетичне рівняння [7]:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U \cdot h) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla \cdot T) + U \cdot \nabla p + \tau : \nabla \cdot U + S_E.$$

Параметр $\tau : \nabla \cdot U$ завжди є додатнім і названий в'язкими втратами. З подальшими допущення, що описані вище, отримуємо спрощене теплове енергетичне рівняння [4]:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U \cdot h) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla \cdot T) + \tau : \nabla \cdot U + S_E.$$

Дане рівняння також може бути отримане з попереднього рівняння якщо h фактично інтерпретується як внутрішня енергія [7]:

$$e = h - \frac{P}{\rho}.$$

Тоді рівняння теплової енергії запишеться в даному вигляді (еквівалентне рівняння теплової енергії) [4]:

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U \cdot e) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla \cdot T) - p \cdot \nabla \cdot U + \tau : \nabla \cdot U + S_E.$$

Дане рівняння еквівалентне рівнянню теплової енергії коли не враховується параметр $-p \cdot \nabla \cdot U$ і h інтерпретується як e . Основним параметром являється статична ентальпія хоч фактично представляє собою внутрішню енергію. Визначальним параметром являється $\frac{P}{\rho}$ за допомогою якого підбираються значення з таблиць ентальпії.

Для випадку, що розглядається, для потоків з низькими значеннями числа Маха параметри $\frac{\partial p}{\partial t}$ та $U \cdot \nabla p$ не враховуються оскільки мають дуже незначний вплив.

В даній задачі рівняння теплової енергії хоч і являється спрощеним, але дозволяє добре описати протікання теплообмінних процесів у газовому середовищі (повітря).

Окрім цього модель теплообміну (Thermal Energy) доповнюється моделлю вихрової дифузії (Eddy Diffusivity) [7]. Дана розрахункова модель розроблена на основі гіпотези Бусінеска [6]. Ця гіпотеза пояснює зростання величини гідравлічного тертя при переході від ламінарного режиму руху до турбулентного. Бусінеск висунув гіпотезу проте що в турбулентних потоках виникає особлива властивість – турбулентна в'язкість μ_t . За Бусінеском в узагальнений закон Ньютона замість звичайної (молекулярної) в'язкості μ необхідно підставляти суму $\mu + \mu_t$. Також окрім турбулентної в'язкості був введений показник турбулентної теплопровідності λ_t , яка характеризує турбулентний перенос теплоти. Турбулентна в'язкість визначається з врахуванням турбулентного напруження як [7]:

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

де $\overline{u_i u_j}$ – осереднений добуток пульсацій швидкостей по координатам;

$\rho \overline{u_i u_j}$ – напруженість Рейнольдса, характеризує турбулентне перенесення імпульсу в приграничному шарі.

Турбулентна теплопровідність визначається з врахуванням турбулентного теплового потоку як [16]:

$$\lambda_t = \frac{\rho c_p \overline{u_j T}}{\partial \overline{T} / \partial x_j},$$

де $\overline{u_j T}$ – осереднений добуток пульсацій швидкості та температури;

$\rho c_p \overline{u_j T}$ – параметр що визначає турбулентний перенос теплоти.

Разом з величинами μ_t та λ_t в розрахунках використовуються кінематична турбулентна в'язкість $\nu_t = \mu_t / \rho$ та турбулентна температуропровідність $a_t = \lambda_t / (\rho c_p)$. Це дозволяє перейти до безрозмірних критеріїв [5]:

– турбулентне число Прандтля:

$$\text{Pr}_t = \frac{\nu_t}{a_t} = \frac{\mu_t c_p}{\lambda_t};$$

– турбулентне число Шмідта [16]:

$$\text{Sc}_t = \frac{\mu_t}{\Gamma_t}.$$

Дані критерії характеризують співвідношення процесів турбулентного переносу імпульсу, речовини та тепла в повітрі. Так як коефіцієнти μ_t та λ_t теоретично розрахувати неможливо то для цього і використовується модель

вихрової дифузії (Eddy Diffusivity) на основі гіпотези Бусінеска. В даній моделі задавалися слідуючі значення турбулентних критеріїв [7]:

$$\text{Pr}_t = 0,9;$$

$$\text{Sc}_t = 0,9.$$

Вибір даних значень критеріїв пояснюються численними експериментальними дослідженнями, які показали, що дані числа для газових середовищ (повітря) можуть набувати значень від 0,7 до 1,0 по поверхні пограничного шару, найбільш точне значення при заданих умовах наближається до 0,9.

Бусінеск знайшов співвідношення між напруженістю Рейнольдса та в'язкими зусиллями тензора деформації через параметр турбулентної в'язкості [7]:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right).$$

За даною гіпотезою потоки скаляра Рейнольдса лінійно зв'язані зі скалярним градієнтом [4]:

$$-\rho \overline{u_i \phi} = \Gamma_t \frac{\partial \Phi}{\partial x_i},$$

де ϕ – загальна скалярна змінна;

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\text{Pr}_t} \text{ – вихрова (турбулентна) дифузійна здатність, } \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}.$$

Наведені вище рівняння можуть описати турбулентні коливання за допомогою функцій скупих змінних і тільки якщо відома турбулентна в'язкість.

$k-\varepsilon$ модель турбулентності з двома рівняннями використовує показник турбулентної в'язкості μ_t . Тоді згідно наведеної гіпотези рівняння імпульсу запишеться як [4]:

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + S_M,$$

де S_M – сума масових сил, $\frac{кг}{м^2 \cdot с^2}$;

$\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ – ефективна в'язкість.

Модифікований тиск визначається як [7]:

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k + \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial U_k}{\partial x_k},$$

де $\frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial U_k}{\partial x_k}$ – параметр, що характеризує розбіжність швидкостей (в даній задачі не враховується так як використовується тільки для нестискуваних речовин (вода)).

Рівняння енергії відповідно поданої моделі запишеться як [7]:

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

Аналогічно наведемо транспортне рівняння для додаткових змінних [7]:

$$\frac{\partial \rho \Phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\Gamma_\Phi + \frac{\mu_t}{\sigma_\Phi} \right) \right] + S_\Phi,$$

де Γ_{Φ} – динамічна дифузійна здатність додаткової змінної, $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$;

Φ – додаткова змінна, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Слід зазначити те, що хоч і трансформація параметрів молекулярної дифузії може являтися неточною, але турбулентні параметри є правильними згідно моделі вихрової дифузії (Eddy Diffusivity). Крім того, оскільки турбулентна дифузія являється набагато більшою ніж молекулярна то незначні помилки в останній ігноруються.

Модель переміщення повітря в розрахунковій області описувалася рівняннями Нав'є-Стокса осередненими за числом Рейнольдса. Відповідно до цієї моделі швидкість U_i розкладається на два компоненти: компонент осередненої швидкості \bar{U}_i та компонент зміни в часі u_i [7]:

$$U_i = \bar{U}_i + u_i.$$

Осереднений компонент швидкості визначається як [4]:

$$\bar{U}_i = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} U_i dt,$$

де Δt – проміжок часу, що являється великим відносно турбулентних коливань, але малим відносно проміжку часу для якого вирішуються рівняння, s .

Відповідно до цього запишемо енергетичне рівняння Нав'є-Стокса, що осереднене за числом Рейнольдса [4]:

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

Аналогічно додаткова змінна Φ розкладається на осереднений компонент $\overline{\Phi}$ та компонент зміни у часі φ і записується Нав'є-Стокса, що осереднене за числом Рейнольдса для додаткової змінної [7]:

$$\frac{\partial \rho \Phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} - \rho \overline{u_j \varphi} \right) \right] + S_\Phi.$$

В заданій розрахунковій області будуть протікати турбулентні режими течії. Турбулентність складається із коливань в області потоку в часі та просторі. Турбулентність – це складний процес тому що являється тривимірним, нестійким, залежить від багатьох факторів і значний ефект на специфіку потоків. Турбулентність виникає коли сили інерції в речовині стають значними порівняно з силами внутрішнього тертя і характеризуються великими числами Рейнольдса. Пряме чисельне моделювання турбулентних потоків потребує обчислювальної потужності такої, яка на багато порядків являється більшою ніж буде доступною в найближчому майбутньому. А для того щоб включити ефекти турбулентності використовують методи, що включають моделі турбулентності.

В розглядуваній задачі для вирішення рівнянь Нав'є-Стокса осереднених за числом Рейнольдса використовується $k-\varepsilon$ модель турбулентності. Дана модель заснована на гіпотезі дифузії градієнта для того, щоб пов'язати зусилля Рейнольдса із швидкісними градієнтами та турбулентною в'язкістю. Турбулентна в'язкість змодельована як функція, що залежить від турбулентної швидкості та турбулентної шкали відстаней. Турбулентна шкала відстаней залежить від властивостей області турбулентності та кінетичної енергії турбулентності k (визначається як дисперсія коливань швидкості). Дана модель пов'язує турбулентну в'язкість та кінетичну енергію турбулентності через відношення [7]:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$$

де $C_\mu = 0,09$ – константа моделі турбулентності.

При використанні цієї моделі система рівнянь руху доповнюється двома диференціальними рівняннями, що описують перенесення відповідно кінетичної енергії турбулентності k і швидкості дисипації ε [4]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon + P_{kb};$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{\varepsilon 1} P_{\varepsilon b});$$

де $C_{\varepsilon 1} = 1,44; C_{\varepsilon 2} = 1,92; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3$ – константи моделі турбулентності.

Зсув турбулентності із-за впливу сил внутрішнього тертя моделюється як [7]:

$$P_k = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \left(3\mu_t \frac{\partial U_k}{\partial x_k} + \rho k \right).$$

В розглядуваній задачі враховувалося перенесення тепла випромінюванням (радіаційний теплообмін). Запишемо рівняння, що враховує розповсюдження тепла випромінювання має вигляд [4]:

$$\frac{dI_\nu(\mathbf{r}, \mathbf{s})}{ds} = \left(-(K_{av} + K_{sv}) I_\nu(\mathbf{r}, \mathbf{s}) + K_{av} I_b(\nu, T) + \frac{K_{sv}}{4\pi} \int_{4\pi} dI_\nu(\mathbf{r}, \mathbf{s}') \Phi(\mathbf{s} \cdot \mathbf{s}') d\Omega' + S \right),$$

де ν – частота випромінювання;

\mathbf{r} – радіус-вектор;

\mathbf{s} – направляючий вектор;

s' – довжина проміню випромінювання;

K_{av} – коефіцієнт поглинання;

K_{sv} – коефіцієнт розсіювання;

I_b – інтенсивність випромінювання чорного тіла;

I_v – спектральна інтенсивність випромінювання, що залежить від довжини та напрямку дії променя випромінювання;

T – абсолютна температура;

Ω – тілесний кут;

Φ – функція внутрішнього розсіювання;

S – інтенсивність джерела випромінювання.

Враховуючи залежності від трьох просторових та двох координат, довжини та частоти випромінювання формальне вирішення рівняння розповсюдження теплоти випромінюванням є трудомістким. Тому для його вирішення застосовуються моделі спектральних та направляючих залежностей.

Для формування направляючих залежностей апроксимації використовуємо модель Монте-Карло. Модель Монте-Карло передбачає, що інтенсивність випромінювання пропорційна диференціальному кутовому потоку фотонів. Тобто поле випромінювання представляє собою газ фотонів. Для цього газу існує ймовірність, що фотон поглинеться при заданій частоті, а ймовірність поглинання залежить від коефіцієнту поглинання речовини. Тоді інтенсивність випромінювання пропорційна відстані яку проходить фотон в одиниці об'єму за одиницю часу. Тобто пучок фотонів, який випущений нагрітою поверхнею, має певну енергію та масу. Далі він проходить через об'єм повітря, який поглинає або розсіює пучок. Коли енергія фотона в результаті поглинання повітрям або стінкою стає менше певного значення то фотон «вмирає».

Для спектральної апроксимації застосуємо «сіру» модель (Grey). Сіра спектральна модель передбачає, що вся радіаційна кількість теплоти майже однорідна по спектру. Тоді виходить, що радіаційна інтенсивність однакова для всіх частот випромінювання, тобто необхідно вирішувати всього одне рівняння

радіаційної передачі (розповсюдження тепла випромінюванням), що наведено вище. Вихідні дані коефіцієнтів поглинання та розсіювання середовища бралися із табл. 2.3.

2.4 Проведення комп'ютерного розрахунку

Для проведення комп'ютерних розрахунків використовувалась комплексна програма CFX-Solver Manager [10]. Дана програма представляє собою ітеративний обчислювач, який вирішує задані в розрахунковій моделі рівняння методом поступових наближень. Спочатку була вирішена дана задача в стаціонарній постановці. Контроль за вирішенням заданих рівнянь проводився візуально (рис. 2.14, 2.15, 2.16, 2.17).

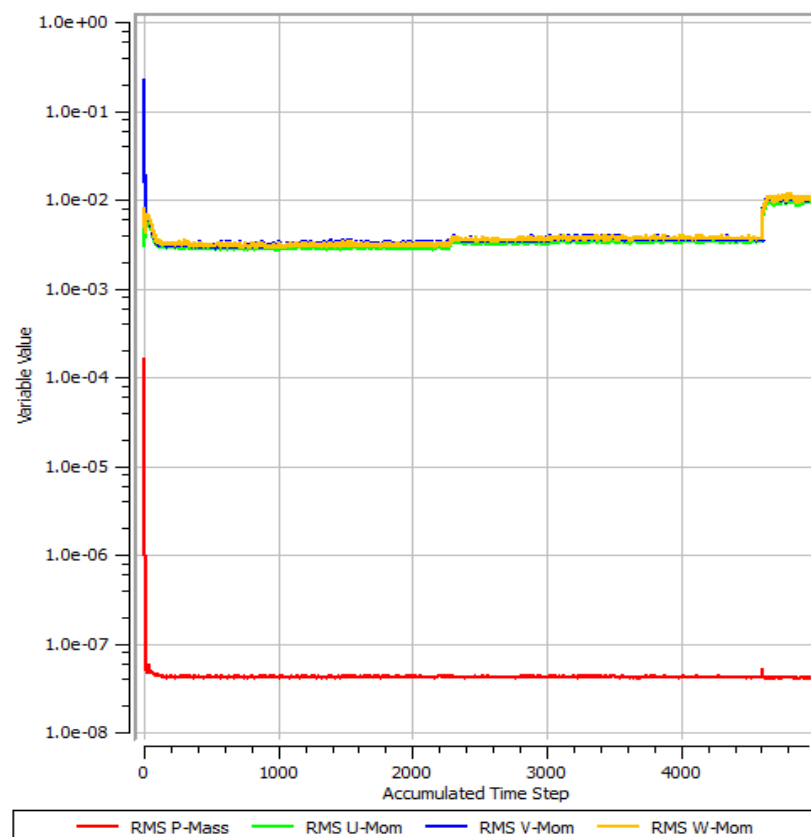


Рисунок 2.14 – Контроль за вирішенням рівнянь швидкості та масової витрати

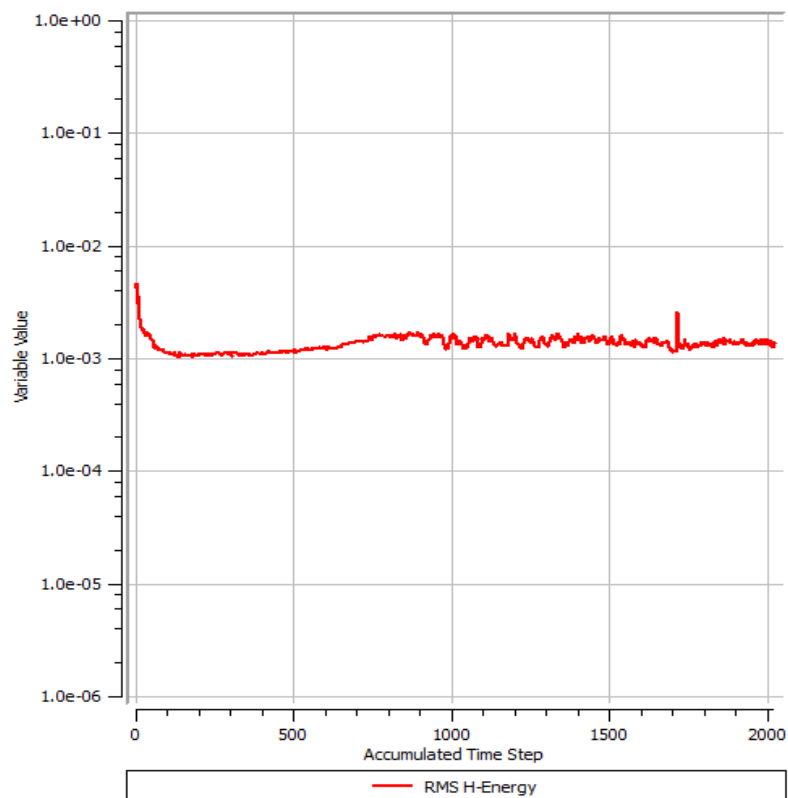


Рисунок 2.15 – Контроль за вирішенням рівнянь енергетичного балансу

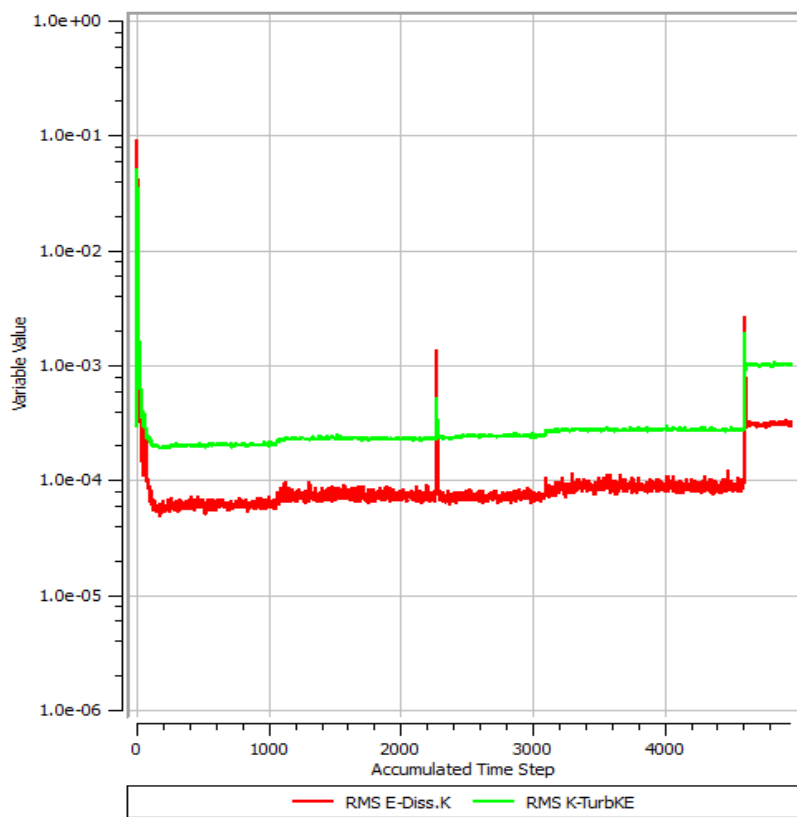


Рисунок 2.16 – Контроль за вирішенням рівнянь

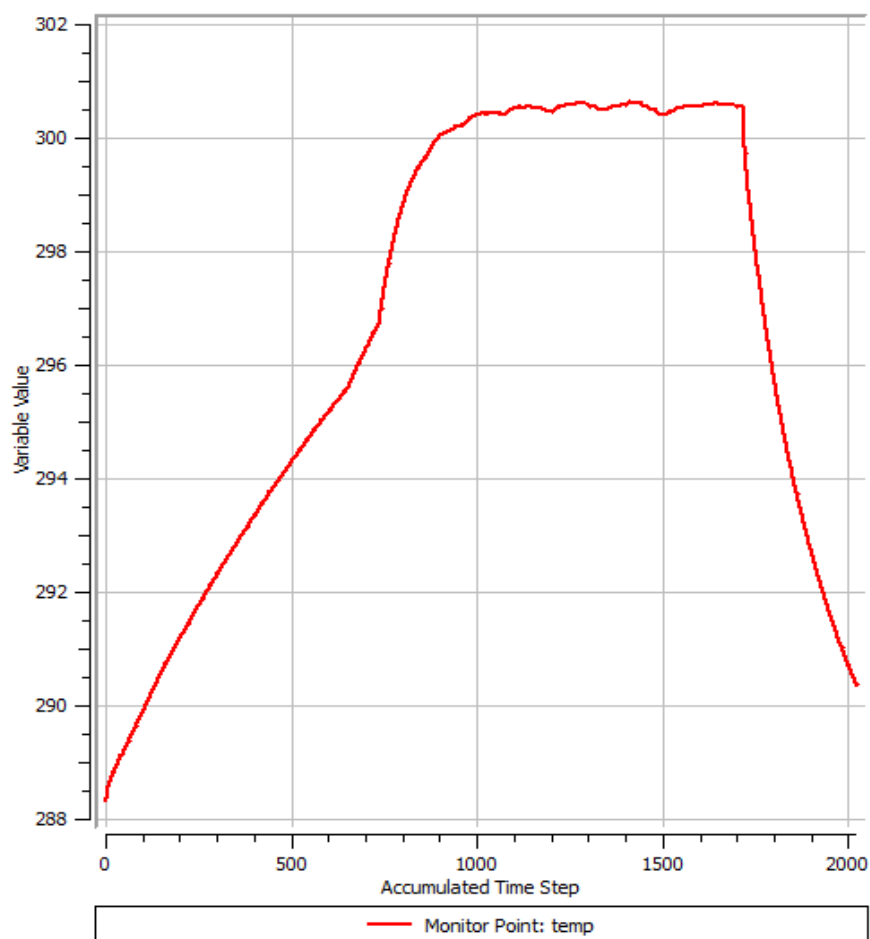


Рисунок 2.17 – Контроль за температурним показником

Було задане значення критерію точності вирішення рівнянь $1.0e-04$ (10^{-4}) по середньоквадратичному відхиленню (RMS), що є достатнім для інженерних розрахунків. Після вирішення задачі в стаціонарній постановці результати стаціонарного розрахунку були прийняті як початкові наближення нестационарної задачі для отримання більш точних даних та пришвидшення процесу обчислення. Нестационарна задача була розрахована з кроком розрахунку заданим в табл. 2.3. Для кожного кроку розрахунку було задано 10 ітерацій, тобто отримані значення для кожного моменту часу бралися за результатом десятого наближення, що виявилось достатнім для отримання точних даних.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ

3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі приміщення з повітряною системою обігріву «Frivent»

В табл. 3.1 наведені основні геометричні, гідромеханічні, теплофізичні та оптичні параметри розрахункових областей при досягненні стаціонарного режиму при температурі теплоносія 80 °С.

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

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Мінімальний розмір	<i>м</i>	60
Максимальний розмір	<i>м</i>	100
Визначальний геометричний розмір	<i>м</i>	100
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 ($p = \text{const}$)	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$1,0038 \cdot 10^3$
Число Рейнольдса (Re)	-	$4.47 \cdot 10^5$
Число Прандтля (Pr)	-	0,71316
Число Релея (Ra)	-	$5.4142 \cdot 10^{14}$
Середньо об'ємна <i>t</i>	°С	18.4

Основні гідромеханічні та теплофізичні параметри були осереднені по об'єму розрахункової області.

В результаті чисельного дослідження теплового стану приміщення були отримані основні параметри в розрахунковій області при виході на стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря).

Як вже згадувалося в приміщенні відбувається процес вільної термогравітаційної конвекції. Визначальними параметрами при вільній термогравітаційній конвекції є безрозмірні числа (критерії) Прандтля (Pr) та Релея (Ra). Критерій Прандтля [19] характеризує теплофізичні властивості повітря в приміщенні та є однаковим при різних типах опалення. Під час вільної конвекції режим руху повітря характеризується числом Релея. Результати експерименту демонструють, що в приміщенні число Релея $Ra = Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$, а це означає, що режим руху повітря є турбулентним.

Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму приміщення (стан теплової рівноваги) при повітряному опалення закритої спортивної споруди рис. 3.1.

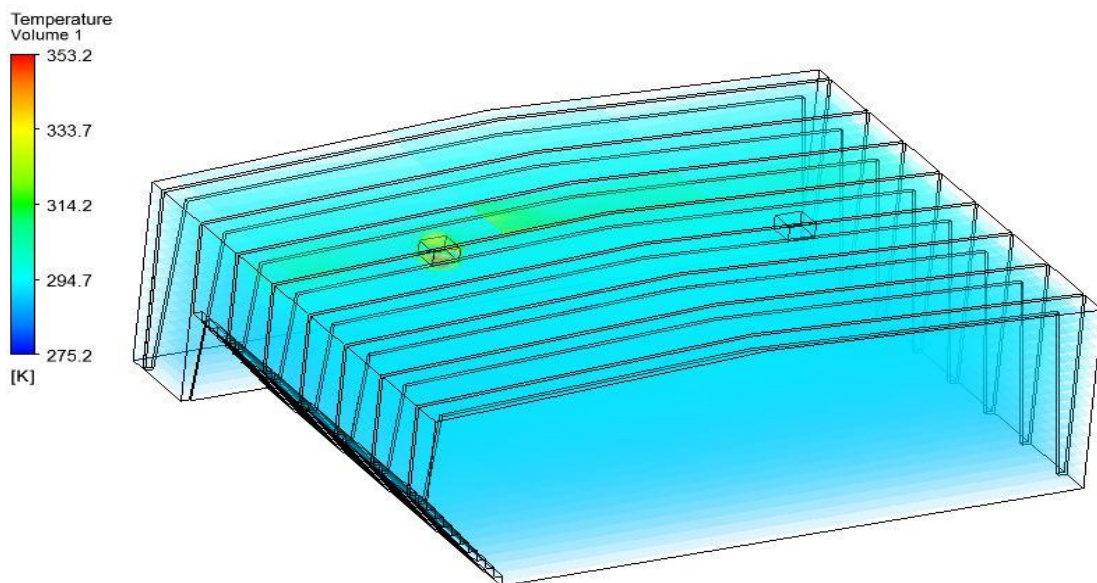


Рисунок 3.1 – Розподіл температури по об'єму приміщення

Температура повітря по об'єму приміщення майже не змінюється і при виході на стаціонарний режим майже стала у часі (змінюється не суттєво).

Наведемо візуалізацію [4] швидкості руху повітря в об'ємі приміщення в стаціонарному режимі рис. 3.2. та на площині в середині приміщення рис. 3.3

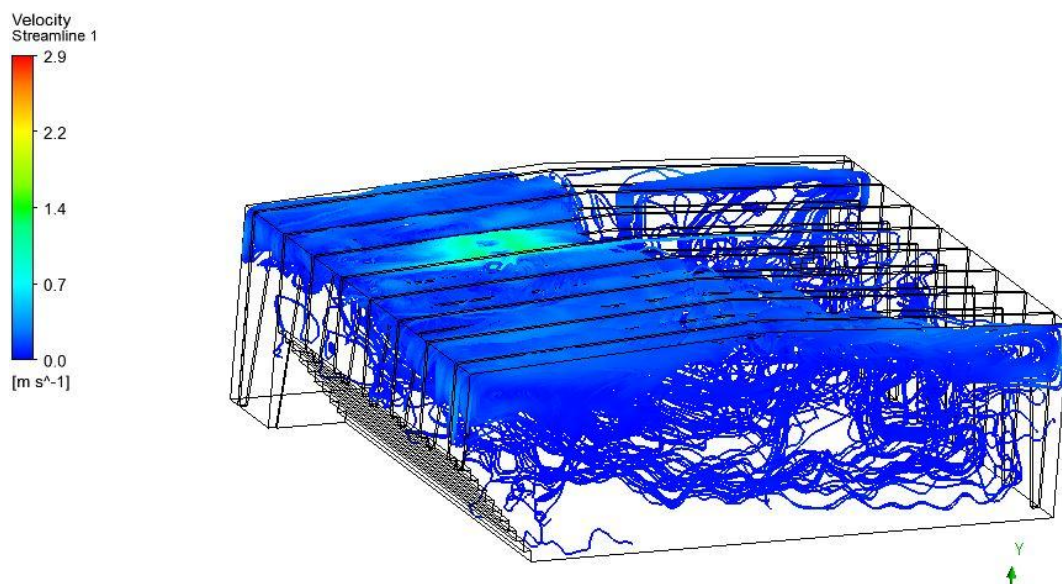


Рисунок 3.2 – Швидкість руху повітря в об'ємі приміщення

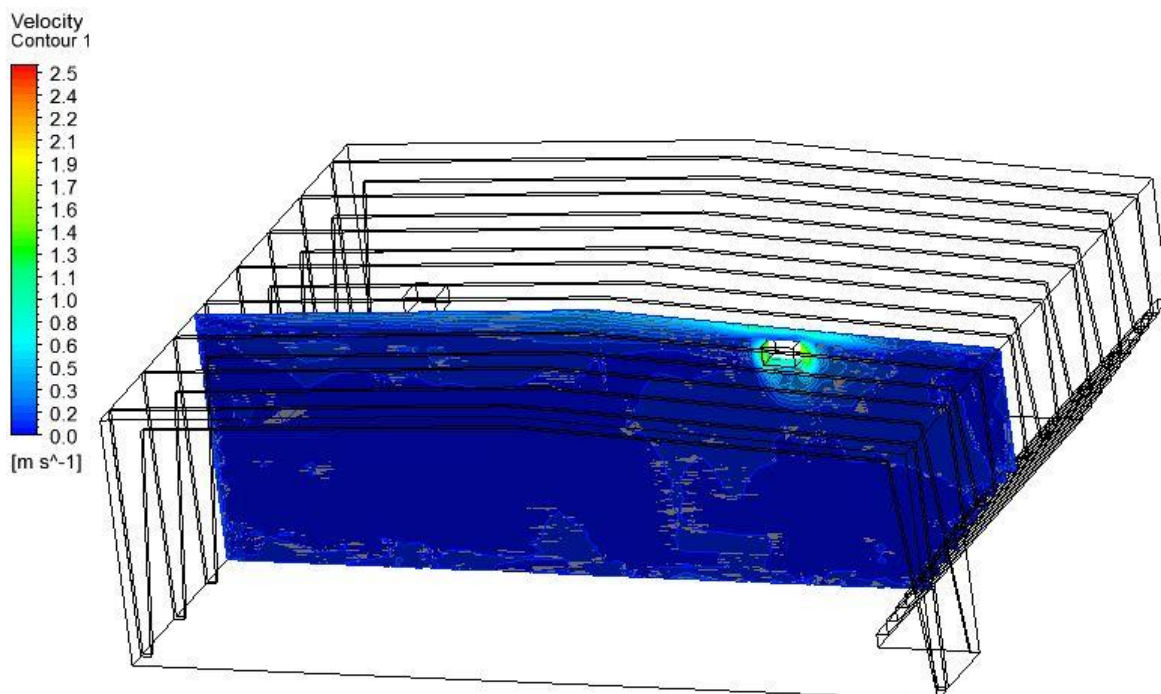


Рисунок 3.3 – Швидкість руху повітря на площині в середині приміщення

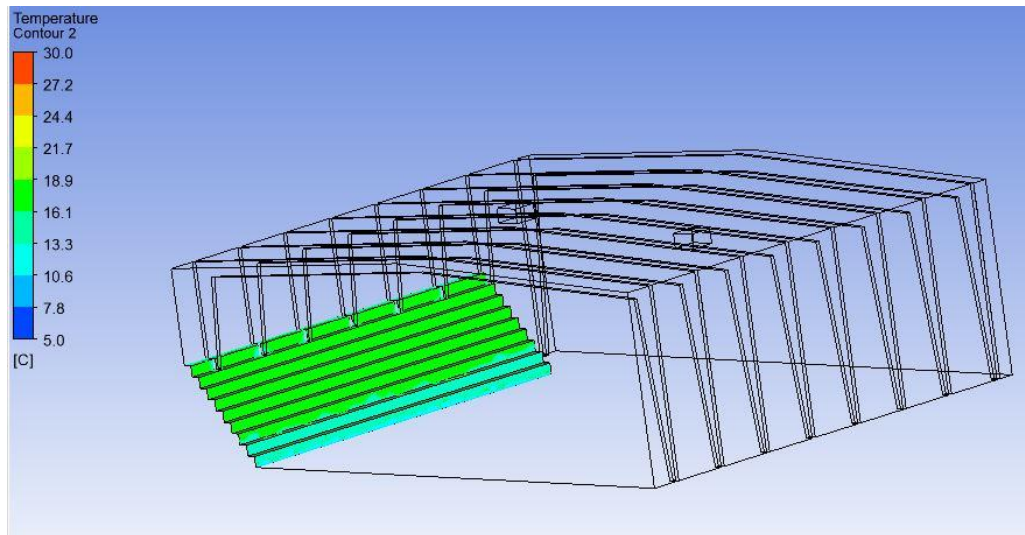


Рисунок 3.4 – Розподіл температури повітря на площині сходинок (глядача)

При опаленні в приміщенні виникає турбулентний рух повітря з утворенням одного або декількох потужних вихорів (рис. 3.4), які в процесі прогрівання змінюють свої розміри.

Прогріте обігрівачем повітря рухається вниз до стіни, далі до підлоги, потім піднімається до стелі, далі опускається до підлоги і процес повторюється. Тобто в приміщенні прослідковується круговий рух повітря, утворюються вихори. Слід зазначити те, що швидкість руху повітря підвищується у пристіночних зонах, а при наближенні до центру приміщення швидкість руху істотно зменшується. При використанні повітряної системи опалення забезпечується гарне перемішування повітря, що обумовлює швидке прогрівання приміщення та рівномірний розподіл температури по об'єму.

3.2 Загальний аналіз результатів розрахунків моделі приміщення з повітряною системою обігріву з розгалуженою схемою подачі теплоносія

В результаті чисельного дослідження теплового стану приміщення були отримані основні параметри в розрахунковій області при виході на

стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря).

Основні гідромеханічні та теплофізичні параметри були осереднені по об'єму розрахункової області. В табл. 3.2 наведені основні геометричні, гідромеханічні, теплофізичні та оптичні параметри розрахункових областей при досягненні стаціонарного режиму (теплової рівноваги) при температурі теплоносія 30 °С.

Таблиця 3.2 – Основні геометричні, гідромеханічні та теплофізичні параметри розрахункової області повітря

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Мінімальний розмір	<i>м</i>	60
Максимальний розмір	<i>м</i>	100
Визначальний геометричний розмір	<i>м</i>	100
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 ($p = \text{const}$)	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	$1,0038\cdot 10^3$
Число Рейнольдса (Re)	-	$4.45\cdot 10^5$
Число Прандтля (Pr)	-	0,70326
Число Релея (Ra)	-	$5.404\cdot 10^{14}$
Середньо об'ємна температура	°С	28,8

Як вже згадувалося в приміщенні відбувається процес вільної термогравітаційної конвекції. Визначальними параметрами при вільній термогравітаційній конвекції є безрозмірні числа (критерії) Прандтля (Pr) та Релея (Ra). Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості повітря в приміщенні та є однаковим при різних типах опалення. Під час вільної конвекції режим руху повітря характеризується числом Релея. Результати експерименту демонструють, що в приміщенні число Релея $Ra = Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$, а це означає, що режим руху повітря є турбулентним.

Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму приміщення (стан теплової рівноваги) при повітряному опалення закритої спортивної споруди, рис. 3.5

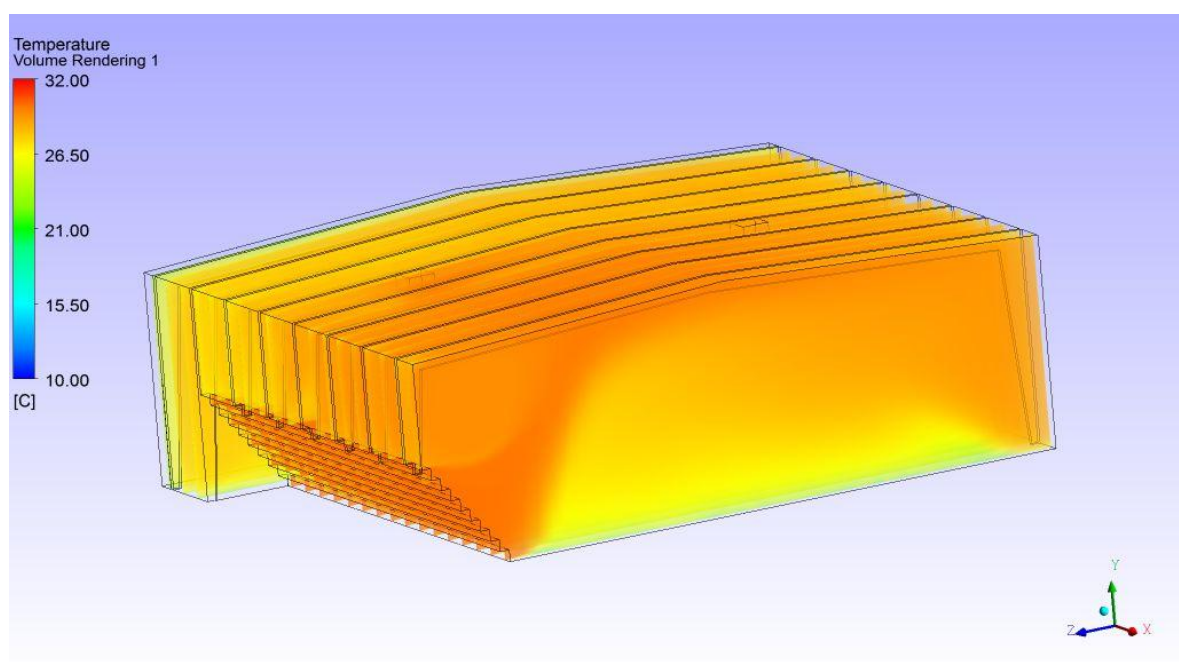


Рисунок 3.5 – Розподіл температури по об'єму приміщення

Температура повітря по об'єму приміщення майже не змінюється і при виході на стаціонарний режим майже стала у часі (змінюється не суттєво).

Наведемо візуалізацію швидкості руху повітря в об'ємі приміщення в стаціонарному режимі рис. 3.6 та на площині в середині приміщення рис. 3.7

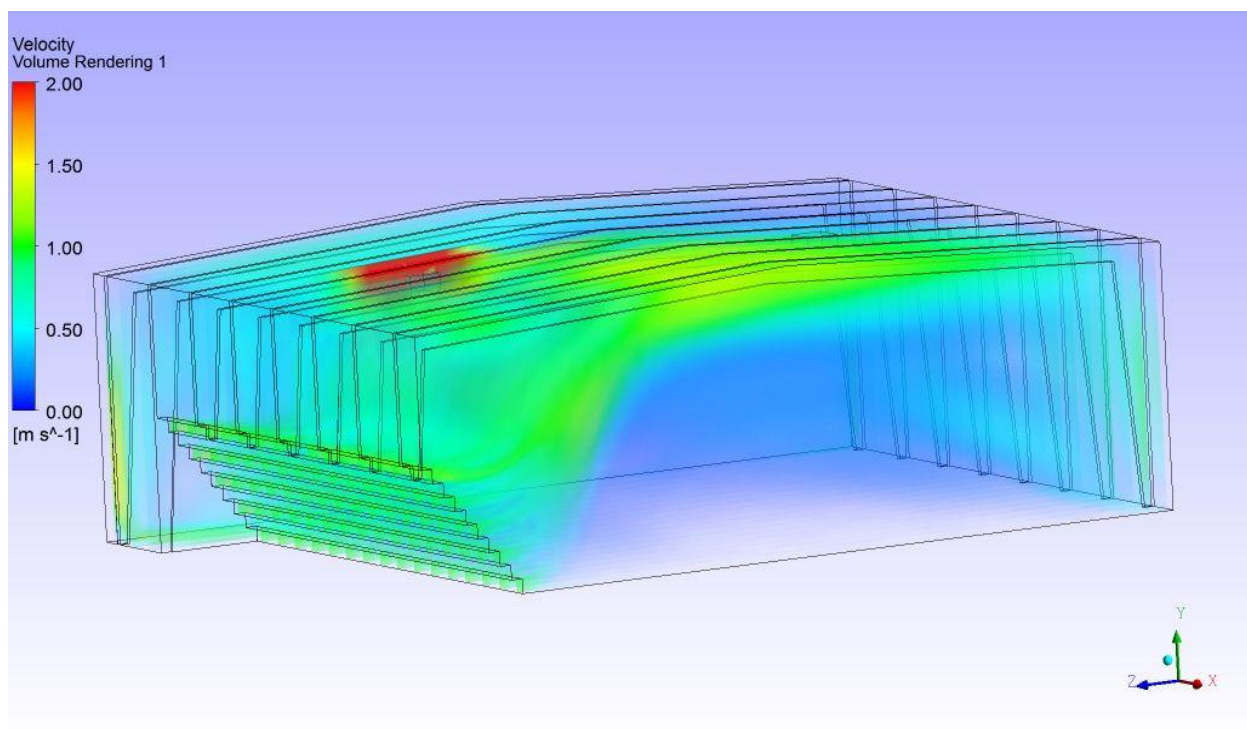


Рисунок 3.6 – Швидкість руху повітря в об'ємі приміщення

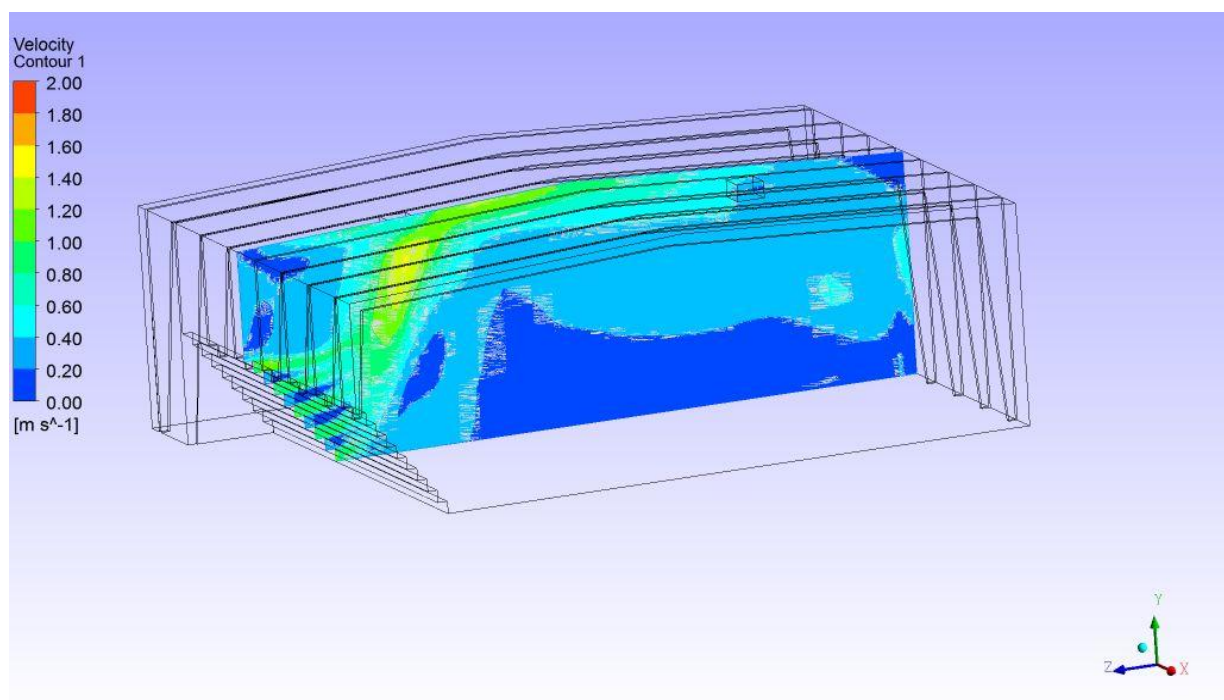


Рисунок 3.7 – Швидкість руху повітря на площині в середині приміщення

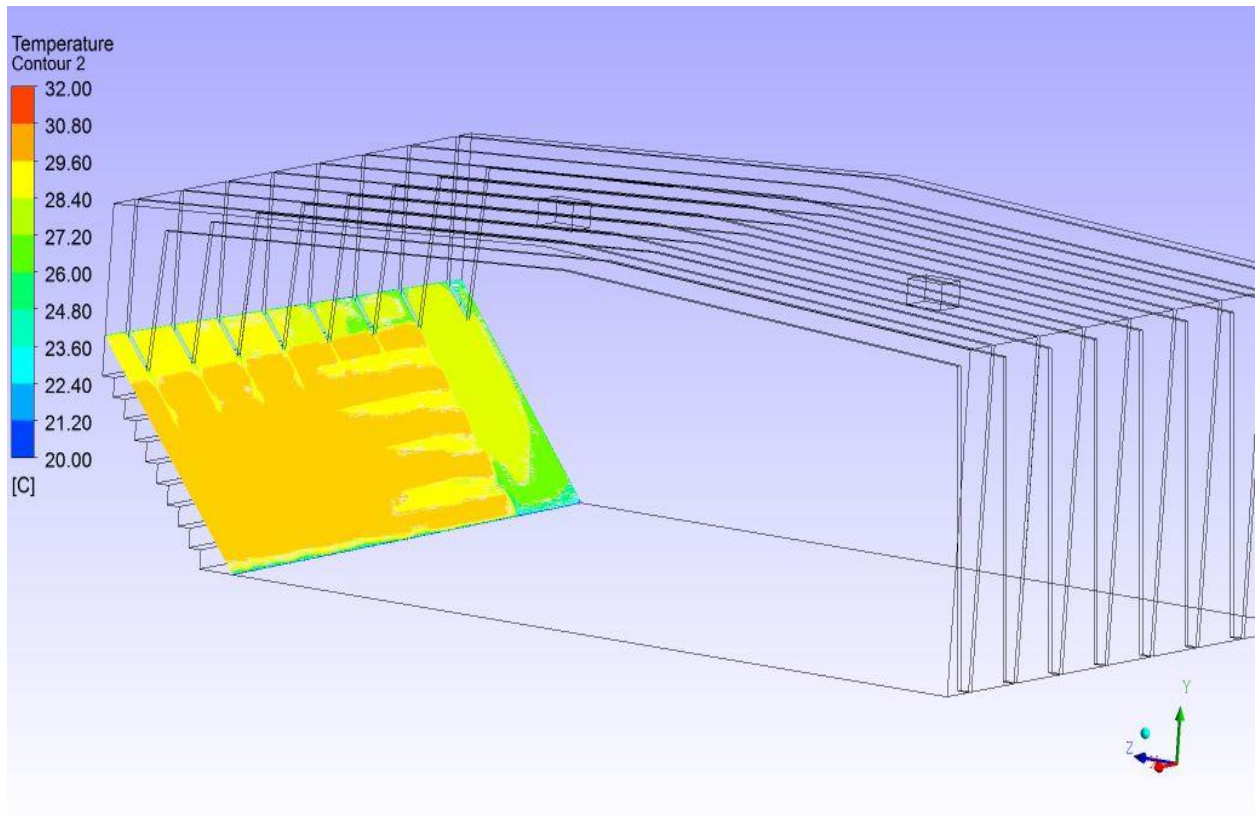


Рисунок 3.8 – Розподіл температури повітря на площині сходинок (глядача)

При опаленні в приміщенні виникає турбулентний рух повітря з утворенням одного або декількох потужних вихорів (рис. 3.6), які в процесі прогрівання змінюють свої розміри.

Прогріте обігрівачем повітря рухається до стелі, [28] далі до стін, потім опускається до підлоги і процес повторюється. Тобто в приміщенні прослідковується круговий рух повітря, утворюються вихори. Слід зазначити те, що швидкість руху повітря підвищується у пристіночних зонах, а при наближенні до центру приміщення швидкість руху істотно зменшується. При використанні повітряної системи опалення забезпечується гарне перемішування повітря, що обумовлює швидке прогрівання приміщення та рівномірний розподіл температури по об'єму

3.3 Факторний експеримент для моделі приміщення з повітряною системою опалення «Frivent»

Основною задачею факторного планування експерименту [28] є можливість оптимально керувати експериментом без знання умов проходження процесу, що в свою чергу значно підвищує правдивість досліджень та скорочує їх час. Планування експерименту засновано на наступних положеннях: існує єдине оптимальне відношення факторів при якому функція мети має максимальне (мінімальне) значення. При зміні факторів [2] функція мети змінюється неперервно.

В даній роботі було виконано факторний експеримент з трьома факторами, рівні та інтервали варіації факторів представлено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Рівні та інтервали варіації факторів

Рівні та інтервали варіації факторів	Фактори		
	Витрата повітря обігрівача, м.куб/год	Температура потоку повітря на виході із повітряного обігрівача, °С	Температура огорожувальних конструкцій, °С
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3
Основний рівень ($x_{i,0}$)	13500	50	-8
Верхній рівень (+)	24000	80	8
Нижній рівень (-)	3000	20	-24
Інтервал варіації	10500	30	16

Рівні факторів [2] представляють собою границі досліджуємої області по даному технологічному фактору. Для складення плану дослідження або матриці планування необхідно знайти:

Основні (нульові) рівні факторів – це значення, що прийняте як вихідне для експерименту. Інтервалом варіювання є своє значення для кожного з факторів, додавання якого до основного рівня верхній рівень фактора, а віднімання – нижній.

Умови проведення дослідів у кодовому вигляді записано у вигляді таблиці (матриці) планування експерименту, що залежить лише від числа факторів та рівнів кожного фактору. Для визначення коефіцієнтів регресії було проведено 8 досліджень. Матриця планування трьохфакторного експерименту і результати досліджень представлені в таблиці 3.4. [2]

Таблиця 3.4 - Матриця планування трьохфакторного експерименту і результати досліджень

Номер досліджу	Планування				Розрахунок				Результат Y
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	
1	+	-	-	-	+	+	+	-	6,7
2	+	+	-	-	-	-	+	+	14,6
3	+	-	+	-	-	+	-	+	3,1
4	+	+	+	-	+	-	-	-	18,4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	7,6
6	+	+	-	+	-	+	-	-	11,8
7	+	-	+	+	-	-	+	-	9,4
8	+	+	+	+	+	+	+	+	26,1

Отримані коефіцієнти регресії:[2]

$$b_0 = \frac{6,7 + 14,6 + 3,1 + 18,4 + 7,6 + 11,8 + 9,4 + 26,1}{8} = 12,2;$$

$$b_1 = \frac{-6,7 + 14,6 - 3,1 + 18,4 - 7,6 + 11,8 - 9,4 + 26,1}{8} = 5,5;$$

$$b_2 = \frac{-6,7 - 14,6 + 3,1 + 18,4 - 7,6 - 11,8 + 9,4 + 26,1}{8} = 2,04;$$

$$b_3 = \frac{-6,7 - 14,6 - 3,1 - 18,4 + 7,6 + 11,8 + 9,4 + 26,1}{8} = 1,5;$$

$$b_{12} = \frac{6,7 - 14,6 - 3,1 + 18,4 + 7,6 - 11,8 - 9,4 + 26,1}{8} = 2,5;$$

$$b_{13} = \frac{6,7 - 14,6 + 3,1 - 18,4 - 7,6 + 11,8 - 9,4 + 26,1}{8} = -0,3;$$

$$b_{23} = \frac{6,7 + 14,6 - 3,1 - 18,4 - 7,6 - 11,8 + 9,4 + 26,1}{8} = 1,99;$$

$$b_{123} = \frac{-6,7 + 14,6 + 3,1 - 18,4 + 7,6 - 11,8 - 9,4 + 26,1}{8} = 0,6.$$

Величина і знак коефіцієнту показують вплив даного фактору в загальний результат при переході з нульового на верхній або нижній рівень фактору.

Для визначення погрішності коефіцієнтів регресії було проведено додаткові експерименти та використано формулу для визначення середньоквадратичного відхилення та середньоквадратичної помилки

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n y_i - \bar{y}^2}, [2]$$

де n – кількість паралельних дослідів.

$$S^2 = \frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 \cdot 6,71 - 6,6^2 + 6,61 - 6,6^2 + 6,61 - 6,6^2 = 0,003.$$

Після цього було визначено дисперсію відтворення всієї матриці

$$S_{\text{від}}^2 y = \frac{N \sum_{i=1}^n s^2 y}{nN}, [2]$$

де n – кількість паралельних дослідів,

N – кількість дослідів або кількість рядків матриці планування.

$$S_{\text{від}}^2 y = \frac{8 \cdot 6,71 - 6,6^2 + 6,61 - 6,6^2 + 6,61 - 6,6^2}{3 \cdot 8} = 0,003;$$

$$S_{\text{від}} y = 0,055.$$

Властивості складання діагональної матриці такі: діагональні елементи рівні між собою, тому всі рівняння регресії визначаються з однаковою точністю [2]:

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

$$S_{bi} = \frac{0,063}{8} = 0,019.$$

Знаходимо значимість коефіцієнтів за критерієм Стюдента:

$$t_0 = \frac{b_i}{S_{bi}},$$

$$t_0 = \frac{12,2}{0,019} = 627,126 \quad t_1 = \frac{5,5}{0,019} = 283,096; \quad t_2 = \frac{2,04}{0,019} = 104,636;$$

$$t_3 = \frac{1,5}{0,019} = 77,675; \quad t_{12} = \frac{2,5}{0,019} = 127,746; \quad t_{13} = \frac{-1,3}{0,019} = -14,765;$$

$$t_{23} = \frac{1,99}{0,019} = 102,069; \quad t_{123} = \frac{0,6}{0,019} = 32,769.$$

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

Таким чином, коефіцієнти t_{13}, t_{123} не значимі і їх потрібно виключити із рівняння, після цього воно отримує вигляд:

$$y = 12,2 + 5,5x_1 + 2,04x_2 + 1,5x_3 + 2,5x_1x_2 + 1,99x_2x_3$$

Причинами незначимості коефіцієнтів регресії є:

- вузький інтервал варіювання, тому сильно впливаючий фактор не завдає свого впливу на процес;
- параметр оптимізації процесу не залежить від варіювання фактору.

Повертаємося до натуральних показників:

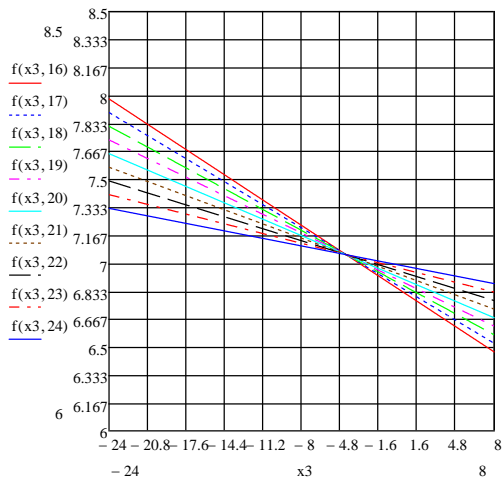
$$y = 12,2 + 5,5 \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} + 2,04 \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} + 1,5 \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3} + 2,5 \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} + 1,99 \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3},$$

$$y = 0,00012x_1 - 0,141x_2 - 0,106x_3 + 0,00000792x_1x_2 + 0,00396x_2x_3 - 6,179.$$

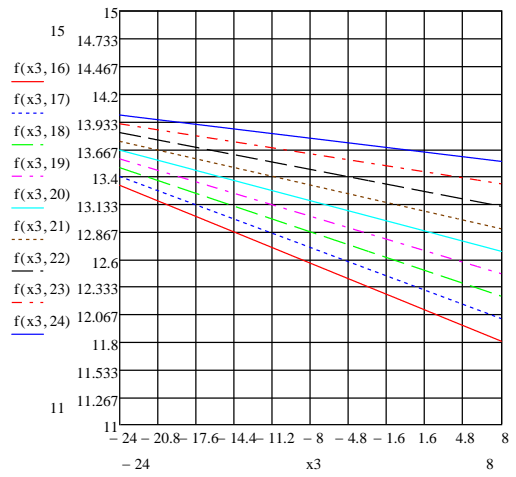
Отримане рівняння описує вплив витрати повітря обігрівача, температури потоку повітря на виході з повітряного опалювача та температури огорожувальних конструкцій на температуру повітря в приміщенні та дозволяє визначити оптимальний режим роботи повітряного опалювача.

За допомогою системи комп'ютерної математики Mathcad, що призначена для автоматизації рішення масових математичних задач в різних галузях науки, техніки та освіти, було отримане графічне зображення наступних залежностей:

Вплив температури потоку повітря на температуру повітря в приміщенні при змінній об'ємній витраті повітробігрівача на рис. 3.9



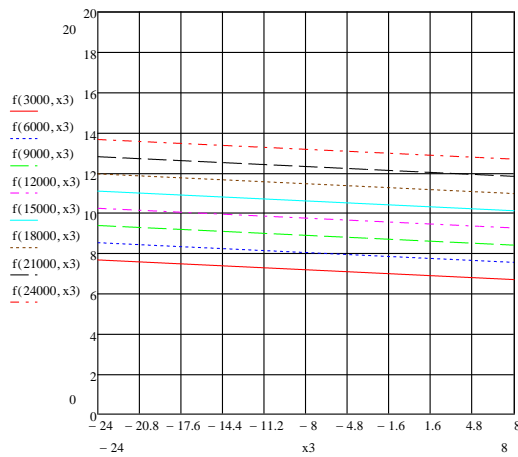
а)



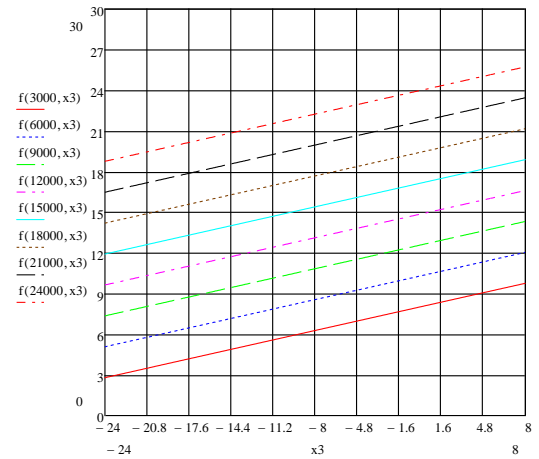
б)

Рисунок 3.9 – Вплив температури потоку повітря на температуру повітря в приміщенні: а) 3000 м.куб/год; б) 24000 м.куб/год

Вплив температури огорожувальних конструкцій на температуру повітря в приміщенні зображено на рис. 3.10



а)



б)

Рисунок 3.10 – Вплив температури огорожувальних конструкцій на температуру повітря в приміщенні а) при 20 °С; б) при 80°С

Вплив витрати повітря на виході з повітрообігрівача на температуру повітря в приміщенні при температурі навколишнього середовища зображено на рис. 3.11

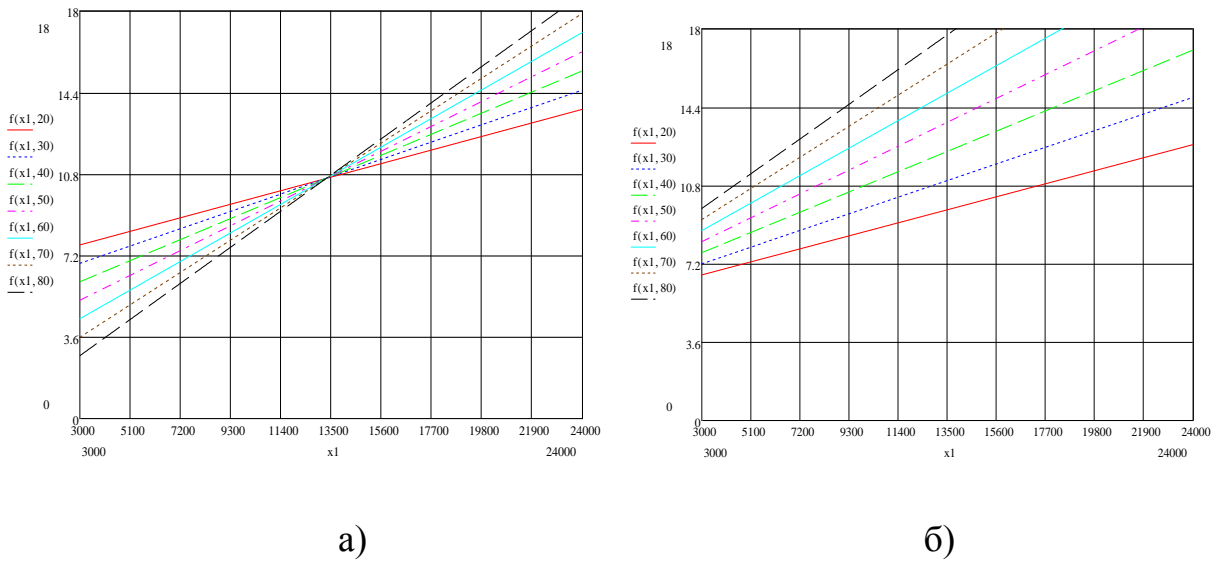


Рисунок 3.11 – Вплив витрати повітря на виході з кондиціонера на температуру повітря в приміщенні: а) при $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) при $8\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.4 Факторний експеримент для моделі приміщення з повітряним обігрівом з розгалуженою схемою подачі теплоносія

Так як розгляд основних пунктів та визначень було розглянуто на початку пункту 3.3, ми можемо одразу перейти до розрахунку факторного методу для розгалуженої схеми подачі теплоносія.

Умови проведення дослідів у кодовому вигляді записано у вигляді таблиці (матриці) планування експерименту, що залежить лише від числа факторів та рівнів кожного фактору. Для визначення коефіцієнтів регресії було проведено 8 досліджень. Матриця планування трьохфакторного експерименту і результати досліджень представлені в таблиці 3.6. Рівні та інтервали варіації факторів представлені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Рівні та інтервали варіації факторів

Рівні та інтервали варіації факторів	Фактори		
	Швидкість повітря на виході з повітряного обігрівача, м/с	Температура потоку повітря на виході із повітряного обігрівача, °С	Температура огорожувальних конструкцій, °С
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3
Основний рівень ($x_{i,0}$)	0,55	22,5	-8
Верхній рівень (+)	1	30	8
Нижній рівень (-)	0,1	15	-24
Інтервал варіації, дельта	0,45	4,5	16

Таблиця 3.6 - Матриця планування трьохфакторного експерименту і результати досліджень

Номер досліджу	Планування				Розрахунок				Результат
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	11,6
2	+	+	-	-	-	-	+	+	27,7
3	+	-	+	-	-	+	-	+	12,9
4	+	+	+	-	+	-	-	-	14,9
5	+	-	-	+	+	-	-	+	20,7

Продовження таблиці 3.6

6	+	+	-	+	-	+	-	-	28,25
7	+	-	+	+	-	-	+	-	23,5
8	+	+	+	+	+	+	+	+	28,8

Отримані коефіцієнти регресії [2]:

$$b_0 = \frac{11,6 + 27,7 + 12,9 + 14,9 + 20,7 + 28,25 + 23,5 + 28,28}{8} = 21,0438;$$

$$b_1 = \frac{-11,6 + 27,7 - 12,9 + 14,9 - 20,7 + 28,25 - 23,5 + 28,28}{8} = 3,8688;$$

$$b_2 = \frac{-11,6 - 27,7 + 12,9 + 14,9 - 20,7 - 28,25 + 23,5 + 28,28}{8} = -1,0188;$$

$$b_3 = \frac{-11,6 - 27,7 - 12,9 - 14,9 + 20,7 + 28,25 + 23,5 + 28,28}{8} = 4,2688;$$

$$b_{12} = \frac{11,6 - 27,7 - 12,9 + 14,9 + 20,7 - 28,25 - 23,5 + 28,28}{8} = -2,0438;$$

$$b_{13} = \frac{11,6 - 27,7 + 12,9 - 14,9 - 20,7 + 28,25 - 23,5 + 28,28}{8} = -0,6563;$$

$$b_{23} = \frac{11,6 + 27,7 - 12,9 - 14,9 - 20,7 - 28,25 + 23,5 + 28,28}{8} = 1,8563;$$

$$b_{123} = \frac{-11,6 + 27,7 + 12,9 - 14,9 + 20,7 - 28,25 - 23,5 + 28,28}{8} = 1,4813.$$

Величина і знак коефіцієнту показують вплив даного фактору в загальний результат при переході з нульового на верхній або нижній рівень фактору.

Для визначення погрішності коефіцієнтів регресії було проведено додаткові експерименти та використано формулу для визначення середньоквадратичного відхилення та середньоквадратичної помилки

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n y_i - y^2}, [2]$$

де n – кількість паралельних дослідів.

$$S^2 = \frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 27,7 - 27,7^2 + 27,7 - 27,5^2 + 27,7 - 27,3^2 = 0,04.$$

Після цього було визначено дисперсію відтворення всієї матриці

$$S_{\text{від } y}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^n s^2 y}{nN}, [2]$$

де n – кількість паралельних дослідів,

N – кількість дослідів або кількість рядків матриці планування.

$$S_{\text{від } y}^2 = \frac{8 \cdot 27,7 - 27,7^2 + 27,7 - 27,5^2 + 27,7 - 27,3^2}{3 \cdot 8} = 0,04;$$

$$S_{\text{від } y} = 0,2.$$

Властивості складання діагональної матриці такі: діагональні елементи рівні між собою, тому всі рівняння регресії визначаються з однаковою точністю [2]:

$$S_{bi} = \frac{S_{\text{вiд}}}{N},$$
$$S_{bi} = \frac{0,013}{8} = 0,071.$$

Знаходимо значимість коефіцієнтів за критерієм Стьюдента [2]:

$$t_0 = \frac{b_i}{S_{bi}},$$
$$t_0 = \frac{21,0438}{0,071} = 297,604; \quad t_1 = \frac{3,8688}{0,071} = 54,712; \quad t_2 = \frac{-1,0188}{0,071} = -14,407;$$
$$t_3 = \frac{4,2688}{0,071} = 60,369; \quad t_{12} = \frac{-2,0438}{0,071} = -28,903; \quad t_{13} = \frac{-0,06563}{0,071} = -9,2808;$$
$$t_{23} = \frac{1,8563}{0,071} = 26,251; \quad t_{123} = \frac{1,4813}{0,071} = 20,948.$$

Для рівня значення $q=0,05$ та числа степенів свободи $f=2$ значення критерію Стьюдента 4,3.

Таким чином, коефіцієнти t_2, t_{12}, t_{13} не значимі і їх потрібно виключити із рівняння, після цього воно отримує вигляд [2]:

$$y = 21,05 + 3,9x_1 + 4,3x_3 + 1,85x_2x_3 + 1,475x_1x_2x_3.$$

Причинами незначимості коефіцієнтів регресії є:

- вузький інтервал варіювання, тому сильно впливаючий фактор не завдає свого впливу на процес;
- параметр оптимізації процесу не залежить від варіювання фактору.

Повертаємося до натуральних показників:

$$y = 21,05 + 3,9 \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} + 4,3 \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3} + 1,85 \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3} + 1,475 \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3},$$

$$y = 0,48375x_1 + 0,2035x_2 + 0,10315x_3 - 1,02328x_1x_2 + 0,016017x_2x_3 - 0,36418x_2x_3x_3 + 18,0755.$$

Отримане рівняння описує вплив витрати повітря обігрівача, температури потоку повітря на виході з повітрообігрівача та температури огорожувальних конструкцій (навколишнього середовища) на температуру повітря в приміщенні та дозволяє визначити оптимальний режим роботи обігрівача.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розрахунок продуктивності вентиляційної системи закритої спортивної споруди

4.1 Загальна характеристика

Спортивні зали вельми різнохарактерні за своїми архітектурно-планувальними рішеннями. Особливо це стосується висоти приміщень, наявності місць для глядачів або їх відсутності, захисту світлових прорізів і так далі.

Спорт - це важка робота і вимагає високого нормативу подачі свіжого повітря в спортивний зал.

Забезпечення параметрів внутрішнього повітря в спортивних залах з місцями для більш ніж 800 глядачів та критих катків з місцями для глядачів у всіх кліматичних районах, а також у спортивних залах з місцями для 800 і менше глядачів рекомендується шляхом пристрою систем кондиціонування повітря.

Чинний СНіП 2.08-02-89 * «Громадські будівлі та споруди» і довідковий посібник до СНіП «Проектування спортивних залів, приміщень для фізкультурно-оздоровчих занять і критих ковзанок із штучним льодом» передбачають подачу $80 \text{ м}^3/\text{год}$ на спортсмена і $20 \text{ м}^3/\text{год}$ на глядача.[8]

Оптимальна температура повітря для спортивних залів при відсутності місць для глядачів становить 15°C , для вогневої зони критих тирів -18°C .

У спортивних залах [13] місткістю до 800 глядачів температура повітря для холодного періоду року повинна бути 18°C і не більше ніж на 3°C вище за цю температуру в теплий період року. У залах місткістю більше 800 глядачів розрахункова температура в холодний період року становить 18°C , в теплий -

не вище 25°C. Розрахункова температура для роздягалень і душових, санітарних вузлів - 25°C, фізкультурно-оздоровчих споруд - не менше 18°C.

Мікрокліматичні умови [15] в спортивних спорудах багато в чому залежать і від відносної вологості і рухливості (швидкість руху) повітря. Гігієнічно оптимальна відносна вологість повітря в спортивних спорудах становить в холодний період року 40-45%, в теплий - 50-55%. У спортивній споруді, в зонах знаходження займаються, рухливість повітря повинна бути не більше 0,3 м/с, в спортивних залах для боротьби, настільного тенісу та в критих ковзанках - не більше 0,5 м/с. Цим вимогам найбільше відповідає водяне опалення низького тиску.[8]

Освітлення

У спортивних залах орієнтація світлових проходів [12] під одностороннім бічним освітленням рекомендується приймати в районах півночі 48 ° північної широти, як правило, на південний схід, а в районах південніше 48 ° північної широти - на північний схід.

При установці світлових прорізів бічного освітлення з двох і більше сторін стіна з найбільшою площею проходів повинна бути орієнтована в районах півночі 48° північної широти на південний схід, а в районах південніше 48° північної широти - на північ.

При розташуванні нижньої частини світлових прорізів бічного освітлення на висоті, що складає не менше 1/4 ширини приміщення, їх площа може бути зменшена порівняно з розрахунковою за табл. 8 на 10%, так як розміщення світлових проходів на максимально великій висоті покращує якість освітленості (крім того, це полегшує розміщення прикріпленої до стін спортивного обладнання).

Світлові прорізи вздовж стін або стіни для забезпечення найкращого рівномірності освітлення рекомендується приймати стрічковим; при двосторонньому бічному освітленні світлові проходи рекомендується розташовувати рівномірно вздовж кожної із стін, виходячи з умови, що площа

світлових проходів у противобічних стінах може відрізнятись не більш ніж удвічі.

Захисні заходи від відбиття дії сонячних променів слід передбачати в випадках, якщо світлові проходи з'являються в кінцевому підлозі для гри або розташовані навпроти стаціонарної трибуни для глядачів.

В спортивних залах із стаціонарними стільницями, що вміщують до 800 глядачів включно, призначені для проведення загальноміських і більш високих масштабів змагань, рівень освітленості (у порівнянні з наведеною в таблиці) піднімається на одну ступінь. При великому розміщенні трибуна в усіх спортивних залах освітленість приймається 500 лк, а освітленість поверхні рингу (при змаганнях по боксу) - 1000 лк. [8]

Акустика

У спортивних залах час реверберації на частотах 500-2000 Гц слід приймати в межах зони, показаної на рис. 4.1. Для спортивних залів [20] рекомендується приймати, як правило, середні показники зони, але не вище верхньої межі, що є гранично допустимою. На частотах нижче 500 Гц час реверберації допускається збільшити на 15-20%.

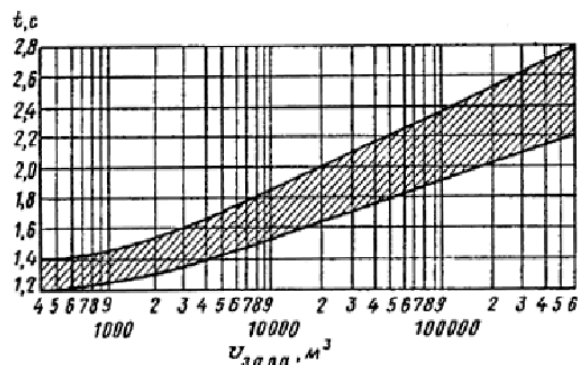


Рисунок 4.1 – Графік часу ревербації

Протипожежна безпека

Зовнішні огорожуючі конструкції залових приміщень в будівлях I ступеня вогнестійкості повинні [12] виконуватися з негорючих матеріалів з обмеженням вогнетривкості не менше 0,5 год., В будівлях II та III ступенів

вогнестійкості - з негорючих матеріалів з обмеженням вогнетривкості не менше 0,25 ч або з важкогорючих матеріалів з рівнем вогнестійкості не менше 0,5 ч, в будинках нижче III ступеня вогнестійкості - з важкогорючих матеріалів з рівнем вогнетривкості не менше 0,25 ч.

Оповіщення про пожежу, вимога якого передбачено СНіП 2.01.02-85, в усіх будівлях спортивно-демонстраційних та спортивно-оздоровчих залів рекомендується передбачити з приміщення пожежного поста, в якому встановлюється трансляційне пристрій з можливістю оповіщення як від мікрофона, так і від звукового відтворення пристрої (магнітофона) із попередньо записаною фонограмою.

4.2 Дані про об'єкт дослідження

В якості об'єкту дослідження в дипломній роботі було обрано закриту спортивну споруду розмірністю $l=100 \times 60 \times 19$ м, а саме «Легкоатлетичний манеж СумДУ» який було споруджено за світовими стандартами та згідно вимог ІААФ та інших федерацій.

Сама споруда дуже багато функціональна, включає в собі; 6 бігових колових доріжок -200м; 8 прямих доріжок – 6 м; 3 доріжки – 120 м; сектор для штовхання ядра; 2 сектори для стрибків у висоту. Все поле основного залу трансформується у дерев'яний або резиновий подіум на якому розміщується 4 тенісні корти, 4 волейбольні, 1 баскетбольний, 1 гандбольний, 1 футзальний майданчики, 1 ігрове поле для індорхокею.

Повітряне опалення споруди здійснюється за допомогою стельового опалювача FRIVENT® DD-130. Витрата повітря якого становить $Q=13$ тис. м.куб, та потужністю двигуна $P=2,4$ кВт. Нормативна температура для даної споруди становить $+18$ ° С . Кількість глядацьких місць – 1250 чол., а максимальна кількість спортсменів в одному виді спорту – 50 чол.

4.3 Розрахунок вентиляційної системи

Кількість повітря, необхідного для людини залежить від того, наскільки активна його діяльність:

1. у час бездіяльності (глядачі) - $20 \text{ м}^3/\text{ч}$;
2. при фізичних навантаженнях різного роду (спортсмени) - $80 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Відповідно, для спортсмена, що займається фізичними вправами потребуватиме $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ свіжого приточного повітря. Далі для того, щоб дізнатись про продуктивність вентиляційної установки, слід скористатися формулою:

$$L = N * L_{\text{норм}} [8]$$

У цій формулі значення N означає кількість людей, що постійно перебувають у залі, а $L_{\text{норм}}$ це стандартне значення повітрообміну для людей які знаходяться в залі зі різним родом діяльності. Таким чином, розрахунок за цією формулою покаже необхідний об'єм свіжого повітря, необхідного для фіксованого кількості відвідувачів та спортсменів.

Оскільки, як зазначалося вище, нам відома максимальна кількість відвідувачів спортивної споруди, а саме – 1250 чоловік, та максимальна кількість спортсменів які будуть займатися одним із видів спорту становить – 50 чоловік, ми можемо дізнатися необхідну продуктивність вентиляційної системи.

$$L = N_{\text{спорт}} * L_{\text{норм.спорт}} + N_{\text{гляд.}} * L_{\text{норм.гляд.}}$$

де $N_{\text{спорт}}$ – кількість спортсменів, чол;

$L_{\text{норм.спорт}}$ – нормована потреба повітря спортсменам, $\text{м}^3/\text{год}$

$N_{\text{гляд.}}$ – кількість глядачів, чол.;

$L_{\text{норм.гляд.}}$ - нормована потреба повітря глядачам, $\text{м}^3/\text{год}$;

$$L = 50 \cdot 80 + 1250 \cdot 20 = 29000 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахунок повітрообміну

Повітрообмін - кількість повітря, [15] [22] необхідного для повної або часткової заміни забрудненого повітря в приміщенні. Повітрообмін вимірюють в метрах кубічних за час. Як виконують розрахунок повітряного обміну? В загальному випадку повітрообмін визначається за видами забруднювачів повітря, які зустрічаються в досліджуваному приміщенні.

Основними розрахунками повітряного обміну є розрахунок за санітарними нормами, розрахунок за нормованою частотою, розрахунок за компенсацією місцевих витяжок. Так само існує повітряний обмін на асиміляцію явної та повної теплоти, на видалення вологи, на розрідження шкідливих речовин в повітрі. Для кожного з цих критеріїв існує своя методика розрахунку повітряного обміну. Перед початком розрахунку повітряного обміну необхідно знати такі дані: кількість шкідливих викидів в приміщення (теплоти, вологи, газу, пар) за один час; кількість шкідливих речовин на один кубіметр повітря в приміщенні.

Повітрообмін по тепловому залишку

Повітрообмін по тепловому залишку визначається в тому випадку, якщо в приміщенні присутня велика кількість теплоти, яку потрібно видалити. Розрахунок Повітрообмін по тепловому залишку ведуть по формулі:[9]

$$L = 3,6 \cdot Q_{\text{зал}} / (\rho \cdot c \cdot (t_{\text{дд}} - t_{\text{пр}})) \text{ (м}^3/\text{год)}$$

де $Q_{\text{зал}}$ - кількість теплоти, яка виділяється в приміщенні, Вт;

ρ - щільність повітря в приміщенні, $\text{кг} / \text{м}^3$;

c - масова теплоємність повітря;

$t_{\text{уд}}$ - температура повітря, яка удаляється вентиляцією, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{пр}$ - температура повітря, що подається, °C

$$L = 3,6 * 110500 / (1,21 * 1,01 * (20 - 18)) = 162752,64 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначення повітрообміну в залежності від гранично допустимої концентрації речовин [8];

$$L = G_{CO_2} / (УПДК - УП) (\text{м}^3/\text{год})$$

де G_{CO_2} - кількість виділяючого CO_2 , л/год,

УГДК - гранично допустима концентрація CO_2 у видаленому повітрі, л/м³,

УП - вміст газу в приточному повітрі, л/м³.

$$L = 6600 / (1,25 - 0,4) = 7764,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті

Керівництво споруди повинно оцінювати ризик будь-якого інциденту [23] на арені, який може загрожувати безпеці глядачів та зірвати нормальне проведення змагань; наприклад: пожежа, застосування піротехнічних пристроїв, відключення електропостачання, загроза вибуху, відкладення початку змагань або масові заворушення, які часто виникають майже без попередження. Для цього необхідно підготувати план дій у надзвичайних ситуаціях і розробити спеціальні заходи та/або мобілізувати додаткові ресурси, які переглядаються щорічно і обов'язково після виникнення кожного інциденту. У таких планах повинні бути викладені структурні та поетапні дії у відповідь на такі ситуації та встановлені чіткі принципи щодо заходів, яких слід вжити за певних обставин, зважаючи на внутрішні й зовнішні фактори, характерні для кожної людини. Відпрацювання планів дій у надзвичайних ситуаціях повинні проводитися принаймні раз на рік і узгоджуватися з

відповідними компетентними органами і службами. Необхідно, щоб керівник служби безпеки закладу, його заступник та співробітники володіли повними практичними знаннями і навичками всіх планів дій у надзвичайних ситуаціях. Весь персонал стадіону/клубу, а не тільки служба безпеки, повинні бути ознайомлені з цими планами дій у надзвичайних ситуаціях. Зміст планів дій у надзвичайних ситуаціях відрізнятиметься відповідно до типу спортивної споруди, його місця розташування і самої суті та рівня матчів або змагань, що проводяться в ньому. Проте, як показує досвід, більшість ситуацій можна звести до наступних назв [18] [23];

а) пожежа;

б) загроза застосування вибухових речовин, або піротехнічних пристроїв, підозрілий пакет, терористична атака (включаючи хімічну, біологічну, радіологічну або ядерну);

в) споруди та послуги: - шкода, завдана спорудам; - відключення електроенергії або відмова системи електропостачання; - витік газу або хімічний інцидент;

г) вихід з ладу устаткування техніки безпеки: - лічильний механізм турнікету; - замкнута (внутрішня) система телебачення; - система гучномовного зв'язку; - електронні інформаційні табло; - системи радіозв'язку служби безпеки; - системи внутрішнього телефонного зв'язку; - системи пожежної сигналізації.

д) стримування натовпу: - здійснення хвиль або тиснява; - вторгнення в ігрову зону як безпосередньо особами, так і киданням будь-яких предметів; - запізніле прибуття учасників матчу або затриманий його початок; - блокування дверей, включаючи поступове закриття турнікету [9] [23];

е) екстрена (аварійна) евакуація;

є) суворя несприятлива погода;

Антитерористичні заходи, як дії щодо захисту людей і держави, повинні бути гармонізовані з існуючими планами дій в надзвичайних та аварійних ситуаціях і узгоджені з компетентними у цих справах органами і службами.

План дій в надзвичайній ситуації або план дій на випадок серйозного інциденту (далі – План дій) розробляється оператором спортивної споруди і зберігається у Адміністрації закладу. В Плані дій обов'язково вказуються прізвища всіх відповідальних за кожну ланку забезпечення заходів з безпеки і, в першу чергу, відповідальних за медичне обслуговування, протипожежні заходи, евакуаційні заходи та заходи з безпеки глядачів, учасників матчу, офіційних осіб, персон VIP/VVIP, журналістів, осіб з обмеженими можливостями тощо. Крім того в Плані дій точно розписується місце знаходження кожного з осіб які відповідають за виконання заходів безпеки і знаходяться на цих місцях до, доки не будуть звільнені від чергування керівником служби безпеки. План узгоджується з планами відповідних служб, які надають допомогу у надзвичайних ситуаціях. Тому керівництво закладу спільно з органами охорони громадського порядку, швидкої медичної допомоги, надзвичайних ситуацій, охорони здоров'я і санітарного контролю, представників органів місцевої влади тощо повинні провести спільні наради, розробити узгоджений План дій, включаючи дії щодо доступу до автомобілів швидкої допомоги і можливої екстреної евакуації. План дій затверджується головою комісії з контролю за станом спортивних споруд щорічно під час процедури сертифікації стадіону.

ВИСНОВОК

В результаті виконання даної магістерської роботи отримані наступні результати:

1. Розроблено розрахункову модель, що дозволяє отримати інформацію про розподіл температури та швидкості руху повітря в залі легкоатлетичного манежу.

2. Проведено факторний експеримент з трьома факторами: витратою та температурою повітря на виході із обігрівача, температурою огорожувальних конструкцій.

3. У графічному вигляді представлено вплив витрати, швидкості руху повітря, температури повітря на виході з обігрівача та температури огорожувальних конструкцій на температуру повітря в приміщенні.

4. Оцінено вплив роботи повітряного обігрівача при змінних параметрах витрати повітря з повітряного обігрівача, температури виходу повітря з обігрівача і змінній температурі зовнішнього середовища, та отримано рівняння для визначення оптимального режиму роботи обігрівача.

5. За допомогою розробленої моделі можна оцінювати дотримання санітарно-гігієнічних норм і забезпечення комфортних умов для нормальної життєдіяльності людей, а також спрогнозувати найбільш доцільний варіант проектування системи опалення та кондиціонування з точки зору енергоефективності.

6. Також була розрахована продуктивність вентиляційної системи легкоатлетичного манежу, для забезпечення нормальної та здорової роботи спортсменів та глядачів. За результатами розрахунків ми отримали необхідну продуктивність вентиляційної системи: $L = 29000$ м³/год. Порівнявши отримане значення з існуючою системою вентиляції, максимальна продуктивність якої становить $L = 52000$ м³/год, можемо сказати, що забезпечення гравців та глядачів свіжим повітрям гарантоване в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН 360-92. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116
2. Основі научных исследований. Руковод. авт. кол. Баранов Е.Г. – Киев; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 176 с.
3. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975. 483 с. Авт.: П.Н. Каменев, А.Н. Сканави, В.Н. Богословский и др.
4. 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.
5. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. – 304 с.:іл.
6. Лабай В.Й. Тепломасообмін: Підручник для ВНЗ. – Львів: Тріада Плюс, 2008. – 260 с.
7. ANSYS CFX 12.1 Solver Theory. Release 12.1 [Електронний ресурс], 2009. – 270 с – Режим доступу до ресурсу: <http://orange.engr.ucolans.edu/Documentation12.1/121/CFX/xthry.pdf>.
8. [Електронний інтернет-ресурс] http://www.vashdom.ru/snip/P3_20802-89/index-3.htm
9. [Електронний інтернет-ресурс] ffu.ua/files/biblioteka/Регламент%20інфраструктури%20стадіонів%20ФФУ.pdf
10. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тезидоповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 346 с.

11. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.–Зі зміною № 1 від 1 липня 2013 року. На заміну СНіП II-3-79. Введ. 09.09.2006 р. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. –72 с
12. ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" – К. Мінрегіонбуд України, 2006. –72 с.
13. ДБН В.2.5-67:2013 «ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ» - К. Мінрегіон України, 2013. – 149 с.
14. [Електронний інтернет-ресурс] <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1803-12?lang=en>
15. [Електронний інтернет-ресурс] <https://olymp.in/news/kratnostvozduxoobmena-raschet-vozduxoobmena/983>
16. Погорелов А.І. Тепломасообмін. (Основи теорії і розрахунків). Навчальний посібник. 2-ге видання. - Львів: "Новий світ-2000", 2004. - 144 с.
17. СНіП 2.08.02-89 Суспільні будівлі та споруди. ЦНДІЕП учбових закладів. 1989. – 40 с.
18. Сіп 2.08.01-85. Жилые здания/Госстрой. – М.: ЦИТП Госстроя, 1986. – 16.
19. Основи тепломасообміну: Підручник / За ред. акад. УАА Н І. С. Гулого. — К.: НУХТ , 2004. — 250 с.:
20. ДНС 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку МОЗ України [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://dnop.com.ua/dnaop/act4878.htm>.
21. [Електронний інтернет-ресурс] <http://ifreestore.net/5178/>
22. [Електронний інтернет-ресурс] http://ua-referat.com/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8_%D0%B3%D1%96%D0%B3%D1%96%D1%94%D0%BD%D0%B8_%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%

23. [Електронний інтернет-ресурс] <http://iff.if.ua/files/library/regl-infrastruktury-stadioniv-ta-zakhodiv-bezpeky.pdf>
24. [Електронний інтернет-ресурс] https://sumdu.edu.ua/images/stories/scientific_inf/research/report/final2016-Sotnyk.pdf
25. [Електронний інтернет-ресурс] https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/67773/1/Kovalov_1339.pdf
26. [Електронний інтернет-ресурс] https://dnaop.com/html/34187/doc-ДБН_В.2.2-13-2003
27. [Електронний інтернет-ресурс] <https://pandia.ru/text/77/301/94363.php>
28. [Електронний інтернет-ресурс] http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/36117/1/Conference_NTU_KhPI_2018_MicroCAD_Ch_1.pdf