

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

Науменко Владислав Володимирович

РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ КРИТОЇ
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)

ЗАТВЕРДЖУЮ

ЗАВ. КАФЕДРИ

« » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студента _____
Науменко Владислав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: Розрахункові дослідження теплового стану критої спортивної споруди з повітряною системою обігріву

затверджена наказом по університету № _____ від « » _____ 2019 р. ____

2 Термін здачі студентом закінченої роботи - до 16.12.2019 р

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

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

Вступ (загальна характеристика проблем з енергозбереження).

Розділ 1 – Огляд основних характеристик спортивних споруд(параметри мікроклімату, та їх складові; нормативні документи, що регулюють параметри спортивних споруд; класифікація спортивних споруд; існуючі види опалення).

Розділ 2 – Числове моделювання теплового стану приміщення(загальні відомості про об'єкт розрахункових досліджень; розрахунок коефіцієнтів теплопередачі; створення тривимірної моделі; побудова розрахункової сітки; створення розрахункової моделі; проведення комп'ютерного розрахунку).

Розділ 3 – Аналіз моделювання числового моделювання теплового стану. (загальний аналіз результатів розрахунків; факторний експеримент; проведення нестационарного розрахунку).

Розділ 4 – Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. (аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера під час роботи на об'єкті; правила виконання робіт на висоті; порядок евакуації відвідувачів із спортивної споруди під час виникнення пожежі).

Висновки.

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

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

6 Дата видачі завдання 11.11.2019 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 11.11 до 08.12.2019	
2	Захист переддипломної практики	до 12.12.2019	
3	Виконання 1-го розділу	до 25.11.2019	
4	Виконання 2-го розділу	до 01.12.2019	
5	Виконання 3-го розділу	до 08.12.2019	
6	Виконання 4-го розділу	до 15.12.2019	
7	Представлення виконаної роботи	до 16.12.2019	
8	Проходження перевірки на плагіат	до 21.12.19	
9	Проведення захисту роботи	з 23.12 до 29.12.2019	
10			

Студент-магістр

_____ (підпис)

Керівник випускної роботи

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 11 таблиць, 46 рисунків, 44 літературних джерел.

Мета роботи: підвищення енергетичної ефективності роботи системи теплозабезпечення критої спортивної споруди на основі аналізу її теплових режимів та вибору раціональних параметрів системи.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- розроблено числову та математичну моделі теплового стану критої спортивної споруди, яка обігривається за допомогою повітряної системи опалення;

- проведено моделювання процесів тепломасообміну та аеродинаміки в критій спортивній споруді для аналізу її теплового стану;

- на основі розробленої моделі оцінено параметри теплового стану критої спортивної споруди;

- визначено оптимальні параметри роботи системи повітряного обігріву для забезпечення мінімального енерговикористання;

- досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі критої спортивної споруди на її загальний тепловий стан.

Предметом дослідження є спортивна споруда СумДУ, що розташована за адресою: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри мікроклімату спортивної споруди.

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

Ключові слова: ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ РОБОТИ, СПОРТИВНІ СПОРУДИ, МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

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

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

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

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

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

n – кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

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

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

T – температура, $^{\circ}\text{C}$;

T_c – розподіл температури на поверхні стінки;

x, y, z – координати поверхні тіла;

N – кількість дослідів або кількість рядків матриці планування.

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

Індекси та скорочення

Нел – кількість елементів;

Нв – кількість вузлів;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

СумДУ – Сумський державний університет;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ДНАОП – державні нормативні акти з охорони праці;

СНиП – строительные нормы и правила;

ГОСТ – государственный общесоюзный стандарт;

НАПБ – нормативний акт з пожежної безпеки;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ВВП – внутрішній валовий продукт;

ССЗ – спеціальні страхувальні засоби.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТИВНИХ СПОРУД.....	10
1.1 Параметри мікроклімату та їх складові	10
1.2 Нормативні документи, що регулюють параметри спортивних споруд....	11
1.3 Класифікація спортивних споруд.....	12
1.4 Існуючі види опалення	15
1.4.1 Водяна система опалення.....	16
1.4.2 Система повітряного опалення.....	18
1.4.3 Тепла підлога.....	19
1.4.4 Керамічні панелі.....	21
1.4.5 Інфрачервоне опалення	21
2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ	23
2.1 Загальні відомості про об'єкт розрахункових досліджень	23
2.2 Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі огорожуючих конструкцій спортивного комплексу	24
2.2.1 Зовнішні стіни	24
2.2.2 Внутрішні стіни.....	26
2.2.3 Стеля над футзалом	27
2.2.4 Стеля над тенісним кортом.....	28
2.3 Створення тривимірної моделі	29
2.4 Побудова розрахункової сітки.....	30
2.5 Створення розрахункової моделі.....	34
2.6 Проведення комп'ютерного розрахунку	37
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ	39
3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків.....	39
3.2 Факторний експеримент.....	45
3.3 Проведення нестационарного розрахунку	52
3.3.1 Нестационарний розрахунок нагрівання	52
3.3.2 Нестационарний процес охолодження	57

4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера під час роботи на об'єкті	61
4.2 Правила виконання робіт на висоті.....	62
4.2.1. Вимоги безпеки перед початком робіт	62
4.2.2. Вимоги безпеки під час виконання робіт	64
4.2.3. Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	65
4.2.4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	66
4.3 Порядок евакуації відвідувачів із спортивної споруди під час виникнення пожежі	66
ВИСНОВОК.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69

ВСТУП

Україна відноситься до енергодефіцитних країн і задовольняє свої паливно-енергетичні потреби за рахунок власних ресурсів менше ніж на 50% [1]. Енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні в 2 рази [1] перевищує енергоємність ВВП розвинутих країн світу. В зв'язку з тим важливою стратегічною лінією державної політики розвитку економіки і соціальної сфери є енергозбереження, що реалізовується шляхом розробки нових енергозберігаючих, маловідходних і безвідходних технологій; ефективних систем засобів контролю за енерговикористанням і захистом довкілля від забруднення та впровадження інтегрованого енергетичного та економічного менеджменту [1].

На сучасному етапі розвитку промисловості та враховуючи існуючі техногенні навантаження на навколишнє середовище важливим є гармонічний розвиток економіки, енергетики і екології. Для цього необхідно запроваджувати заходи щодо зменшення вартості і економії паливно-енергетичних ресурсів, впровадження нових технологій на основі альтернативних і відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Згідно даних втрати теплової енергії [2] лише під час транспортування в централізованих мережах тепlopостачання в Україні складають 45-60 % [2]. Низький рівень теплоізоляції збільшує ці втрати на 15-20 % [2], тобто споживач отримує меншу частину теплової енергії [2]. Тому збереження та раціональне використання теплової енергії є головною задачею енергозбереження.

Аналіз літературних джерел щодо мікроклімату критих спортивних споруд, систем опалення критих спортивних споруд та існуючих шляхів підвищення енергетичної ефективності дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення енергетичної ефективності роботи системи теплозабезпечення критої спортивної споруди на основі аналізу її теплових режимів та вибору раціональних параметрів системи.

Для досягнення поставленої мети були поставлені й вирішені наступні задачі: розроблено числову та математичну модель теплового стану критої спортивної споруди, яка обігривається за допомогою повітряної системи опалення; проведено моделювання процесів тепломасообміну та аеродинаміки в критій спортивній споруді для аналізу її теплового стану; на основі розробленої моделі оцінено параметри теплового стану критої спортивної споруди; визначено оптимальні параметри роботи системи повітряного обігріву для забезпечення мінімального енерговикористання; досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі критої спортивної споруди на її загальний тепловий стан.

Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри мікроклімату критої спортивної споруди.

Предметом дослідження є спортивна споруда СумДУ, що розташована за адресою: м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТИВНИХ СПОРУД

1.1 Параметри мікроклімату для критих спортивних споруд

Мікроклімат приміщень — комплекс фізичних факторів, що здійснюють вплив на теплообмін людини з оточуючим середовищем, обумовлюють самопочуття, працездатність, стан здоров'я і якість праці людини [3].

До параметрів мікроклімату належать [3]:

- температура повітря;
- вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- потужність теплового випромінювання приладів та устаткування, що знаходяться у приміщенні.

Температура повітря у спортивних спорудах згідно [3] має бути:

- у спортивних залах, тренажерних кімнатах — 15-17 °С;
- у роздягальнях при спортивних залах — 19-23 °С;

Швидкість руху повітря в зонах перебування осіб, які займаються, не повинна перевищувати [4]:

- 0,2 м/с - у залах ванн басейнів (у тому числі для оздоровчого плавання і навчання плаванню);
- 0,3 м/с - у спортивних залах для боротьби, настільного тенісу, у критих ковзанках і в залах веслувальних басейнів;
- 0,5 м/с - в решті спортивних залів, залах для підготовчих занять у басейнах і приміщеннях для фізкультурно-оздоровчих занять.

Відносну вологість повітря слід приймати [4]:

- 30-60 % - у спортивних залах без місць для глядачів, приміщеннях для фізкультурно-оздоровчих занять і залах для підготовчих занять у басейнах;
- 50-65 % - у залах ванн басейнів (у тому числі веслувальних).

В разі застосування клеєдерев'яних конструкцій у зоні їх розташування повинна цілодобово і цілорічно забезпечуватися відносна вологість не менше 45 %, температура повітря не повинна перевищувати плюс 35 °С [4].

1.2 Нормативні документи, що регулюють параметри спортивних споруд

1. 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 [35]. 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 [4].

2. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі будинки і споруди слід проектувати з урахуванням вимог ВСН 62 [36]. Параметри зон, просторів і елементів будинків, споруд та приміщень для інвалідів і мало мобільних груп населення [4].

3. Необхідність влаштування захисних споруд цивільної оборони у спортивних та фізкультурно-оздоровчих будинках і спорудах визначається завданням на проектування за погодженням із штабом цивільної оборони, а їх проектування [4] здійснюється згідно з вимогами ДБН В.2.2-5 [37].

4. 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 II-12 [38]. Вбудовано-прибудовані та прибудовані приміщення до житлових будинків можуть використовуватися для розміщення лише таких видів спортивних і фізкультурно-спортивних закладів, які відповідають вимогам, СНіП 2.04.05 [39], ДСН 3.3.6.037 [40], ДБН 360 [35], п. 3.14 за показниками шумового режиму, вібрації та мікроклімату в житлових приміщеннях [4].

5. Будівельні та опоряджувальні матеріали, що використовуються, повинні відповідати вимогам радіаційної безпеки [4] згідно з ДГН 6.6.1-6.5.001 [42].

6. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі будинки і споруди слід розміщувати на сельбищній території, у місцях відпочинку населення та на інших спеціально виділених земельних ділянках, забезпечених зручними

під'їздами і підходами від зупинок громадського транспорту [4] згідно з ДБН 360 [35] з обов'язковим додержанням нормативного шумового режиму на прилеглий території житлової забудови та забезпеченням санітарних розривів до житлових та громадських будинків [4] згідно з вимогами ДержСанПіН 173п. 4.10 [42], СанПіН 42-128-4690 [43].

7. Відстань від спортивних і фізкультурно-оздоровчих будинків та споруд і їх комплексів до інших будинків і споруд слід приймати згідно з вимогами ДБН 360 [35] та розрахунками шумового режиму за СНіП II-12[38].

8. Стоянки автомобілів проектується згідно з вимогами ВСН 01 [44]. У разі використання спортивної споруди інвалідами вони повинні знаходитися не далі 40 м від входу до цієї споруди і мати з нею зручний зв'язок. Ширина стоянки для автомобіля інваліда повинна бути не менше 3,5 м [4].

1.3 Класифікація спортивних споруд

Спортивні споруди бувають різними, і для кожних з них потрібно забезпечити комфортні умови при мінімальному використанні паливно-енергетичних ресурсів.

Спортивні споруди умовно поділяють на дві групи: відкритого і критого типу. Найбільш затребуваними можна назвати саме криті спортивні споруди, оскільки вони мають ряд переваг перед відкритими, а саме: по-перше, це відносна незалежність від кліматичних умов, по-друге, можливість застосування найбільш складних і сучасних технічних засобів, а по-третє, можливість більш гнучкого і ефективного використання завдяки трансформаціям [5].

Відкриті споруди також поділяють на об'ємні і площинні; літні і зимові. Криті споруди, як правило, не залежать від сезону і не поділяються на літні та зимові [5].

Схема класифікація й схема структура спортивних споруд представлено в табл.1.1, 1.2 [6] [7].

Таблиця 1.1 – Схема класифікації спортивних споруд [6] [7]

Спортивні споруди			
Окремі		Комплексні	
Відкриті	Криті	Відкриті	Криті
<ul style="list-style-type: none"> - Майданчики за видами спорту; - Місця для легкої атлетики; - Ковзанярські доріжки; - Поля для футболу; - Поля для хокею з м'ячем; - Поля для хокею з м'ячем; - Поля для кінного спорту, стрільби з лука тощо; - Легкоатлетичні доріжки; - Гірськолижні бази; - Кросові дистанції; - Ковзанярські доріжки; - Санні траси; - Лижні бази; - Кінні манежі; - Басейни штучні та на водоймах; - Лижні трампліни; - Веломототреки; - Стрілково-мисливські стенди; 	<ul style="list-style-type: none"> - Спортивні зали; - Манежі; - Басейни; - Басейни для греблі; - Шахматні та шашкові клуби; - Катки; - Тенісні корти; - Велодроми; - Стрілкові тири; 	<ul style="list-style-type: none"> - Стадіони; - Комплексні майданчики; - Спортивні ядра; - Спортивні бази для сучасного п'ятиборства; - Гірськолижні стадіони; - Кінно спортивні бази; - Стрільбища; - Канали для греблі; - Яхт-клуби; - Лижні стадіони; - Комплексні басейни. 	<ul style="list-style-type: none"> - Палаці спорту; - Криті стадіони; - Комплексні басейни; - Будинки фізкультури; - Універсальні спортивні зали; - Стрільбища з критими і напівкритими тирами; - Спортивні корпуси з багатьма залами.

Таблиця 1.2 – Схема структури спортивних споруд [6] [7]

Спортивні споруди		
Допоміжні приміщення	Головна частина	Глядацька частина
<ul style="list-style-type: none"> - Приміщення і споруди інженерно-технічних служб: приміщення для водотеплоелектропостачання, інформаційних та реєструючих засобів, радіо сповіщення і зв'язку, ліфтів, підйомників тощо. - Приміщення адміністративні: кабінети для дирекції, інженерно-технічного персоналу, тренерів. - Приміщення для обслуговування, тих що займаються: роздягальні, гардероби, душові, медичні кабінети, туалети, фойє, буфети, лазні. - Приміщення лікарсько-медичні: медпункти, лікарські центри, медичні кабінети, реабілітаційні. - Приміщення господарські і підсобні: інвентарні кімнати, гаражі, майстерні, склади, тощо. 	<ul style="list-style-type: none"> - Спортивна арена - Кросові дистанції - Універсальний майданчик - Легкоатлетичні, футбольні і, кінні манежі - Спортивне ядро - Майданчики для різних видів спорту - Місця для занять легкою атлетикою - Поля - Ванна басейну - Водні дистанції - Трампліни і вишки - Лижний трамплін - Басейн для греблі - Ковзанярські доріжки - Велотреки - Траси - Спортивний зал 	<ul style="list-style-type: none"> - Вестибюлі, фойє, кімнати відпочинку, кіоски, буфети, туалети, тощо; - Лавки, стоячі місця, крісла; - Трибуни (стаціонарні, такі, що трансформуються).

1.4 Існуючі види опалення

Сучасні спортивні споруди критого типу (басейни, спортивні зали, тенісні корти, волейбольні, баскетбольні або футбольні поля) є порівняно складними об'єктами з точки зору опалення [8]: великий обсяг приміщень; стелі висотою понад 4-х метрів; слабка теплоізоляція (виняток: приватні спорткомплекси або нові об'єкти); відсутність необхідності постійно підтримувати високий рівень температури. Тому застосування традиційних конвекційних систем високотемпературного опалення є не зовсім раціональним, так як є дуже витратним і неефективним через створення величезних локальних зон з високою температурою під стелею, де необхідність в цьому відсутня, і не достатньо прогрійтій нижній частині спортивного залу, де проводять тренування або змагання. Крім того в деяких випадках підвищити рівень температури необхідно тільки перед проведенням спортивних заходів для забезпечення комфортного рівня температури вболівальникам, а мала швидкість теплообміну конвекційними потоками не дозволяє досить швидко прогріти великий об'єм повітря, тому використання центрального опалення в даному випадку є енерговитратним і не раціональним варіантом [8].

При виборі систем опалення для спортивних споруд необхідно враховувати фізичні особливості теплообміну. Сучасне опалювальне обладнання повинно мати: високий коефіцієнт корисної дії (ККД); низьке енергоспоживання і експлуатаційні витрати; забезпечувати рівномірне прогрівання повітря у всьому приміщенні; автоматично підтримувати заданий рівень температури в незалежності від температури навколишнього середовища в холодну пору року; мати режим економії (пониження до мінімально допустимої економії в неробочий час) [9].

Вибір системи опалення в спортивних залах (повітряне, водяне та ін.) визначається техніко-економічним обґрунтуванням. Сучасні спортзали найчастіше обладнуються водяним опаленням із застосуванням в якості приладів радіаторів або конвекторів, але кращим вважається радіаційне опалення, що забезпечує підігрів підлоги, стін. Якщо спортивний зал

універсальний і передбачає його використання для різного типу занять, можна передбачити швидкий прогрів повітря до необхідної температури, наприклад за допомогою спліт-системи, в якій передбачена функція нагріву повітря. Потрібно звернути увагу на те, що температуру + 15 °С необхідно приймати саме в тих спортивних залах, де будуть проходити заняття з інтенсивним фізичним навантаженням [10]. Опалення в спортзалі має бути травмобезпечним, тому опалювальні прилади розташовуються під вікнами, в поглибленнях і закриваються решітками [10].

Саме тому використання нових існуючих систем опалення: тепловентиляторів або інфрачервоних обігрівачів є більш обґрунтованим, оскільки дозволяє швидко забезпечувати комфортний рівень температури в великих приміщеннях при мінімальних витратах теплової та електричної енергії. Найбільш поширеним в сучасних спортзалах є використання тепловентиляторів з водяним теплоносієм, підведення гарячої води до яких здійснюється з міської централізованої системи теплопостачання або з контуру водяного опалення автономного водогрійного котла, що працює на газу або дизельному паливі. Висока продуктивність водяних тепловентиляторів дозволяє за короткий час досягти необхідного в спортзалі температурного рівня і виключити появу застійних зон з гарячим або холодним повітрям [9].

1.4.1 Водяна система опалення

Найбільш поширеним варіантом опалення житлових, торгових і промислових будівель вже протягом багатьох років залишається водяна система опалення. Ця система включає в себе радіатори і конвектори опалення, водяні труби, водяні труби прокладені під підлогою. За рахунок циркуляції нагрітої до певної температури води (або спеціальної незамерзаючої рідини-антифризу), прилади опалення, встановлені в приміщенні, передають тепло [11].

Вибір на користь подібної системи опалення був зроблений не випадково, вода на 100% справляється з поставленими задачами [11].

Основні переваги водяної системи опалення:

– вода – практично ідеальний теплоносій, вона характеризується відмінними показниками теплоємності і теплопровідності, здатна поглинати в 4000 разів більше тепла, ніж повітря. Відповідно транспортує і виділяє його в досить великих обсягах [12];

– система являє собою замкнутий ланцюг, обсяг води в якій після завершення монтажу та запуску практично не змінюється. В ідеалі користувачам немає необхідності постійно доливати воду, зате можна повністю очистити воду від різних хімічних елементів, включаючи які призводять до корозії металу солі і луги. Це в кінцевому підсумку дозволяє істотно продовжити термін служби системи;

– як джерело тепла можна використовувати будь-якого типу водяні котли (електричні, газові та твердопаливні котли), а також інше опалювальне обладнання [12];

– дозволяє регулювати температуру по зонах, причому практично на кожному радіаторі окремо. За рахунок цього в кожному приміщенні можна створити комфортні температурні умови [12];

– на відміну від систем повітряного опалення, що використовують вентилятори, водні працюють практично безшумно. Крім того, не розносять до дому пил, як це буває з повітряними системами, коли виходить з ладу фільтр [12].

Основні недоліки водяного опалення:

– використовується як теплоносій не завжди хімічно підготовлена вода, яка може містити в своєму складі солі й луги, які агресивно впливають на металеві елементи опалювальної системи. Відповідно на їх стінках згодом починає осідати накип. Через нього потік теплоносія в системі сповільнюється, погіршується ефективність тепловіддачі [12];

– недолік води як теплоносія в тому, що вона замерзає. До того ж розширюється при замерзанні, що часто призводить до розривів труб навіть при невеликих морозах. Вирішенням цієї проблеми є додавання у воду антифризів або соляних розчинів. Але антифризи коштують дорого, а великі концентрації

солей у воді викликають інтенсивну корозію металевих частин системи опалення;

– монтаж такої опалювальної системи досить складний, фінансово затратний і вимагає спеціальних навичок [12].

1.4.2 Система повітряного опалення

Принцип роботи повітряного опалення простий. Повітря нагрівається, проходячи між гарячими стінками теплообмінного пристрою, і розподіляється по приміщенню. Як джерело тепла може використовуватися будь-який енергоносіє, включаючи електричну енергію, газ, тверде паливо, гарячу воду [13].

Розрізняють каналні і локальні системи повітряного опалення. Устаткування для локальних систем (це можуть бути дров'яні печі, інфрачервоні або настінні обігрівачі, теплові гармати) встановлюються в опалювальному приміщенні. Відповідно, обігривають, тільки невеличкий простір навколо себе. При цьому створюється значний перепад температур. Такий спосіб опалення підходить для різних за площею приміщень або об'єктів [13].

Основні переваги повітряного опалення:

– організувати повітророзподільну систему набагато простіше, ніж таку ж для водяного опалення. По-перше, не потрібно постійно контролювати рівень теплоносія. По-друге, повітря в порівнянні з гарячою водою, що використовується як теплоносіє є значно менше агресивним. Воно чинить менший тиск на стінки трубопроводів, повністю виключений ризик протікання внаслідок пошкодження або корозії труб [13];

– взимку така конструкція не вимагає особливого обслуговування, так як не бояться заморозків (через відсутність води в системі) [13];

– всі повітряні канали можуть бути прокладені всередині стін і зовсім не потрібні опалювальні радіатори. Тобто вони не захащують приміщення і не

псують його вигляд. Більш того, іноді систему опалення можна поєднати з повітропроводами, обладнаними для кондиціонування повітря [14];

– повітряне опалення підтримує можливість зонування приміщень. Тобто дозволяє контролювати температуру в кожній зоні окремо, а оскільки до складу каналної системи опалення входять фільтри й зволожувачі, то в приміщення завжди надходить очищений від пилу і мікробів повітря [14];

– повітряна система опалення має малу в порівнянні з водяними системами інертність. Відповідно, теплообмін проходить швидше і ефективніше. Тоді як в системах водяного опалення приміщення починає нагріватися тільки після того, як нагріється весь теплоносій, прогріються стіни і елементи самої системи опалення [13];

– крім того, повітряне опалення вигідно з економічної точки зору, його ККД при мінімальній витраті палива досягає 80-90 % [13].

Основні недоліки повітряної системи опалення [13]:

– оскільки повітря відрізняється досить низькою теплопровідністю, то охолодження приміщення після припинення роботи джерел теплової енергії відбувається досить швидко [13];

– повноцінна система повітряного опалення залежить від електричної енергії, так як рух повітряних потоків забезпечує вентилятор. Відповідно, вона не підходить для місць, де часто трапляються перебої в електропостачанні (при бажанні цю проблему можна вирішити, встановивши джерело безперебійного живлення) [13];

– якщо в конструкції подачі повітря не передбачені очисні фільтри, то в повітрі (особливо, якщо воно забирається з вулиці) може бути пил;

– різниця температур між підлогою і стелею у високих приміщеннях може становити 10 -20 °С [13].

1.4.3 Тепла підлога

Теплова енергія від теплоносія передається безпосередньо підлоговому покриттю, від якого тепло поширюється вгору і прогріває весь простір

приміщення. Завдяки великій площі поверхні, що випромінює тепло, теплові потоки розподіляються рівномірно не тільки у вертикальній, але і в горизонтальній площині, що не характерно для традиційних систем опалення. Підлогове опалення рівномірно прогріває все приміщення, повністю виключаючи утворення зон недогріву або перегріву, які властиві опалювальним системам, що використовують конвектори або радіатори [15].

При роботі більшості традиційних опалювальних систем використовується принцип конвекційної передачі тепла. Спочатку нагріте повітря піднімається вгору, а потім при охолодженні опускається вниз, при цьому за рахунок циркуляції повітря в приміщенні підтримується необхідна температура. Такий спосіб обігріву не можна назвати ідеальним, оскільки частка ефективної променевої енергії становить не більше 10% [15].

Для організму людини найбільш комфортним є такий розподіл теплових потоків, коли в області ніг температура вища, а в рівні голови повітря трохи прохолодніше. Таким чином тепла підлога є ідеальним джерелом обігріву приміщень, завдяки найбільш рівномірному розподілу теплової енергії [15].

До переваг електричної теплої підлоги відносять [16]:

- система не залежить від центрального опалення і може використовуватися в будь-який час року;
- не вимагає отримання дозвільних документів.

До недоліків електричної теплої підлоги відносять [16]:

- підвищення витрат за оплату електроенергії;
- наявність певної кількості електромагнітних випромінювань;
- наявність зон перегріву місць де стоять меблі;
- має підвищену небезпеку ураження струмом.

До переваг водяної теплої підлоги відносять [16]:

- візуально відсутність опалювальних приладів;
- рівномірний прогрів підлоги по всій площі;
- одноразові витрати при установці й істотна економія в оплаті електроенергії в подальшому.

До недоліків водяної теплої підлоги, як системи опалення відносять [16]:

- збільшення висоти підлоги мінімум на 100 мм;
- адміністративні складності й заборони при установці в квартирах, офісах.

1.4.4 Керамічні панелі

Керамічні панелі обігріву дозволяють з легкістю створити комфортну температуру повітря в кімнаті.

До переваг керамічних панелей відносять [17]:

- проста в експлуатації;
- ККД у керамічних панелей найвищий в порівнянні з іншими варіантами опалення;
- можливість регулювання потужності нагрівального елемента;
- економія електроенергії в порівнянні з іншими побутовими приладами;
- не сушить повітря.

До недоліків керамічних панелей відносять [17]:

- крихка і важка конструкція;
- великі габарити, якщо порівнювати з аналогічними моделями інших побутових приладів по потужності обігріву.

1.4.5 Інфрачервоне опалення

При використанні інфрачервоного опалення температура повітря на рівні підлоги буде вище ніж під стелею. Фізика роботи інфрачервоного обігрівача така: від нагрітої поверхні (обігрівача) за допомогою променів поширюється тепло безпосередньо на предмети (або на те, що перебуває на шляху променю), предмет нагріваючись віддає тепло повітрю. При установці обігрівачів на стелі, підлога буде прогріватися в першу чергу, потім гріється повітря на рівні підлоги, і підіймаючись вгору поступово остигає. повна протилежність обігріву

за допомогою теплого повітря, відповідно економія, оскільки тепле повітря перебуває на рівні підлоги, а не під стелею [19].

За допомогою інфрачервоного опалення відбувається швидкий процес нагріву приміщення: час виходу на робочий режим для довгохвильових обігрівачів (серія «Б» або «П») становить всього 30 хвилин, а для середньохвильової серії «У» до 15 хвилин [19].

Безпечна конструкція інфрачервоного обігрівача робить прилад абсолютно безпечним як з фізичної точки зору(перепадів напруги, вибухонебезпечності, шкідливих випарів або виділень) так і з медичної(вплив на здоров'я людини, рослин, тварин) [19].

2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ

2.1 Загальні відомості про об'єкт розрахункових досліджень

Об'єктом розрахункових досліджень теплового стану критої спортивної споруди є спортивний комплекс Сумського державного університету (рис 2.1).

Будівля належить Сумському державному університету, та знаходиться за адресою: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Технічні характеристики спортивної споруди:

- рік побудови 1977 р.;
- кількість поверхів 2 поверхи;
- опалювальна площа 1961 м²;
- площа забудови 1505 м²;
- опалювальний об'єм будівлі 10492 м³;
- режим роботи будівлі: 8:15-20:45.



Рисунок 2.1 – Спортивний комплекс СумДУ

2.2 Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі огорожувачих конструкцій спортивного комплексу

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою [20]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (2.1)$$

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

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

n - кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

δ_i - товщина і-го шару конструкції, м.

Коефіцієнт теплопередачі багатошарової плоскої стінки розраховується за формулою [20]:

$$K = \frac{1}{R_{\Sigma}}, \quad (2.2)$$

де R_{Σ} – Опір теплопередачі, (м²·К) /Вт

2.2.1 Зовнішні стіни

Конструкція зовнішніх стін спортивного комплексу представлена на рис. 2.2, а товщина та теплопровідність матеріалів зовнішніх стін приведено в табл.2.1

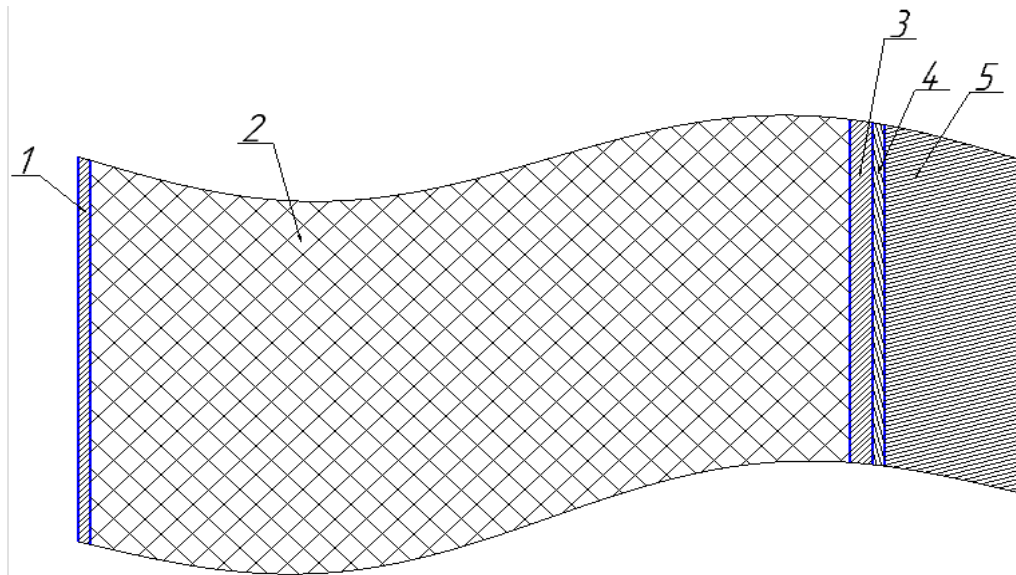


Рисунок 2.2 – Конструкція зовнішніх стін: 1 - цементно-піщаний розчин; 2-кладка цегляна; 3- цементно-піщаний розчин; 4 - плитка керамічна; 5- плити пінополістирольні.

Таблиця 2.1 – Матеріали шару зовнішніх стін та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м ² ·К)
1	Цементно-піщаний розчин	0,008	0,81
2	Кладка цегляна на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81
3	Цементно-піщаний розчин	0,015	0,81
4	Плитка керамічна	0,008	1,1
5	Плити пінополістирольні	0,1	0,053

Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

Знаходимо опір теплопередачі зовнішньої стіни відповідно (2.1) і коефіцієнт теплопередачі (2.2):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{23} + \frac{0,008}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,008}{1,1} + \frac{0,1}{0,053} = 2,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/ \text{Вт}$$

$$K = \frac{1}{2,6} = 0,38 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

2.2.2 Внутрішні стіни

Конструкція внутрішніх стін спортивного комплексу представлена на рис.2.3, а товщина та теплопровідність матеріалів внутрішніх стін приведено в табл.2.2

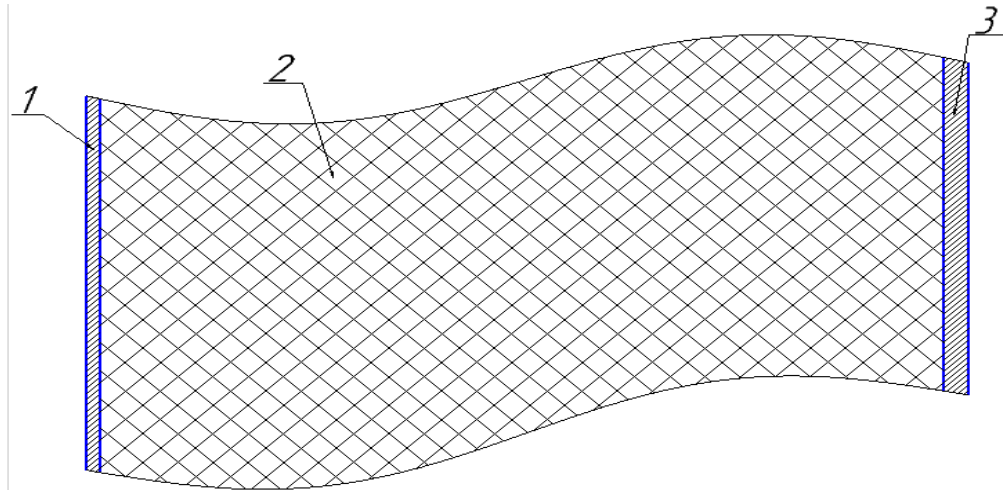


Рисунок 2.3 – Конструкція внутрішніх стін: 1 - цементно-піщаний розчин; 2- кладка цегляна; 3- цементно-піщаний розчин.

Таблиця 2.2 – Матеріали шару внутрішніх стін та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м ² · К)
1	Цементно-піщаний розчин	0,008	0,81
2	Силікатна цегла на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81
3	Цементно-піщаний розчин	0,015	0,81

Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м² К).

Знаходимо опір теплопередачі внутрішньої стіни відповідно (2.1) і коефіцієнт теплопередачі (2.2):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,008}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,015}{0,81} = 0,77 \text{ (м}^2 \text{ К) / Вт}$$

$$K = \frac{1}{0,77} = 1,3 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$$

2.2.3 Стеля над футзалом

Конструкція стелі над футзалом спортивного комплексу представлена на рис. 2.4, а товщина та теплопровідність матеріалів стелі над футзалом приведено в таблиці 2.3

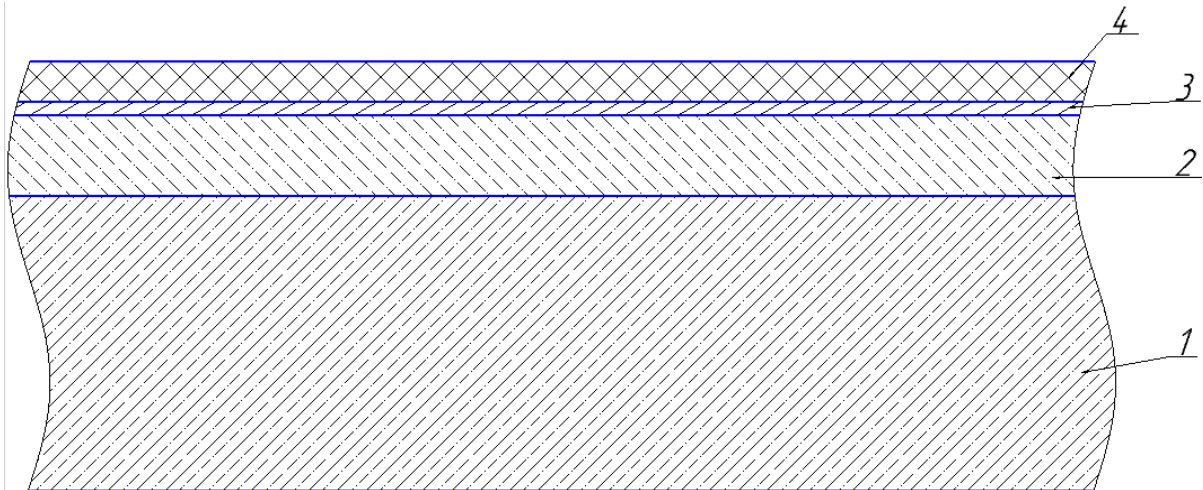


Рисунок 2.4 – Конструкція стелі над футзалом: 1 - залізобетонна плита; 2- цементно-піщаний розчин; 3- руберойд 5 слоїв; 4 - ГПМ-Пенталак .

Таблиця 2.3 – Матеріали шару стелі над футзалом та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м ² · К)
1	Залізобетонна плита	0,15	2,04
2	Цементно-піщаний розчин	0,06	0,81
3	Руберойд 5 слоїв по 2 мм	0,01	0,17
4	ГПМ-Пенталак	0,03	0,021

Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_3 = 23$ Вт/(м² К).

Знаходимо опір теплопередачі стелі над футзалом відповідно (2.1) і коефіцієнт теплопередачі (2.2):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{23} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{0,06}{0,81} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,03}{0,021} = 1,68 \text{ (м}^2 \text{ К)/ Вт}$$

$$K = \frac{1}{1,68} = 0,6 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$$

2.2.4 Стеля над тенісним кортом

Конструкція стелі над кортом спортивного комплексу представлена на рис.2.5, а товщина та теплопровідність матеріалів стелі над кортом приведено в табл.2.4

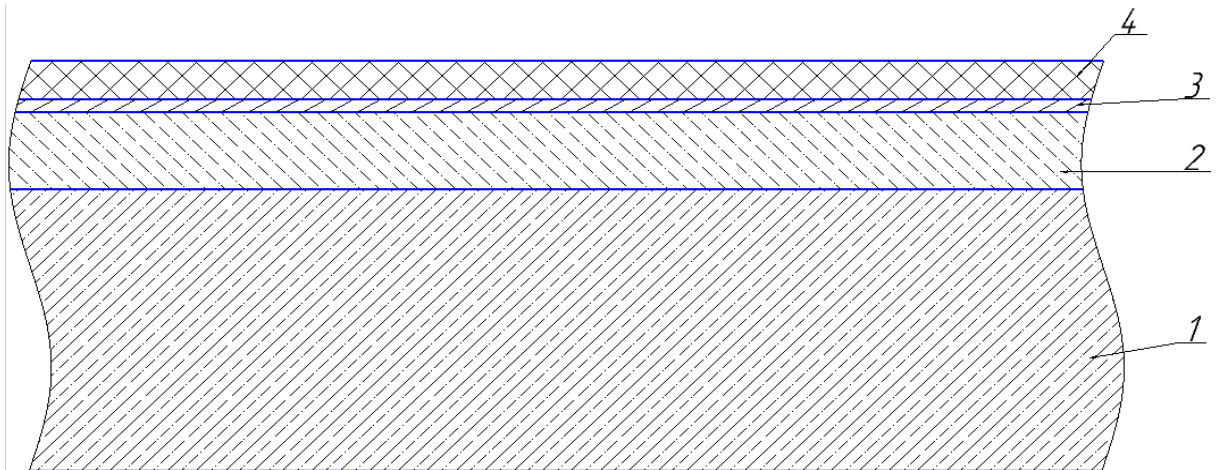


Рисунок 2.5 – Конструкція стелі над кортом: 1 - залізобетонна плита; 2-цементно-піщаний розчин; 3- руберойд 5 слоїв; 4 - ГПМ-Пенталак .

Таблиця 2.4 – Матеріали шару стелі над кортом та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м ² · К)
1	Залізобетонна плита	0,22	2,04
2	Цементно-піщаний розчин	0,06	0,81
3	Руберойд 5 слоїв по 2 мм	0,01	0,17
4	ГПМ-Пенталак	0,03	0,021

Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_3 = 23$ Вт/(м² К).

Знаходимо опір теплопередачі стелі на тенісним кортом відповідно (2.1) і коефіцієнт теплопередачі (2.2):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{23} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,06}{0,81} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,03}{0,021} = 1,71(\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$$

$$K = \frac{1}{1,71} = 0,58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$$

2.3 Створення тривимірної моделі

За допомогою програмного продукту SolidWorks була створена тривимірна модель спортивного комплексу СумДУ (рис. 2.6), яка враховує реальні геометричні розміри та конфігурації.

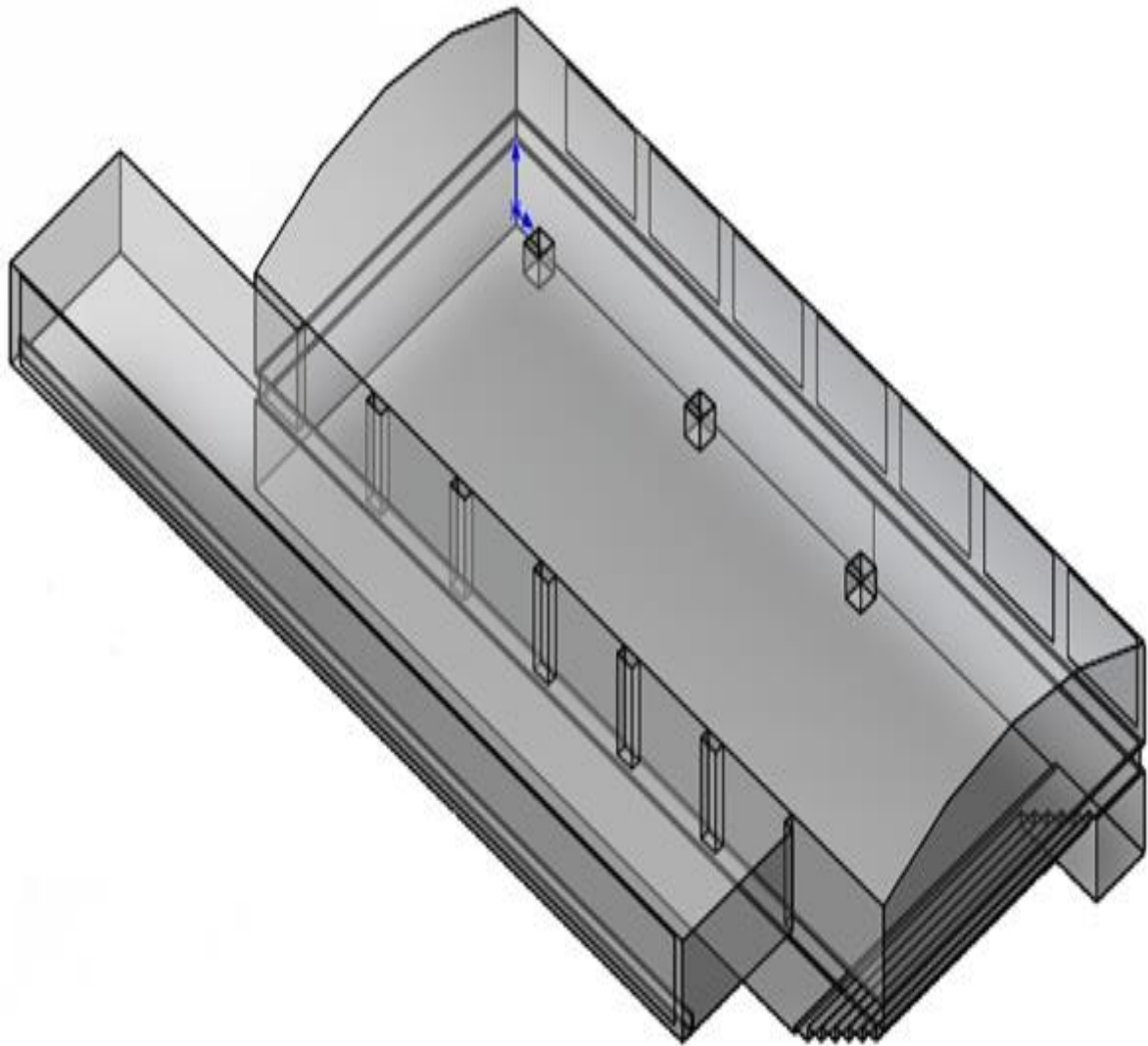


Рисунок 2.6– Тривимірна модель спортивного комплексу

Розміри тривимірної моделі споруди були наближені до реальних умов (42x25x7) м. При побудові тривимірної моделі в якості опалювальних приладів було спроектовано повітряне опалення. Повітряне опалення відбувається за допомогою трьох опалювальних приладів FRIVENT DD-50-30 (рис. 2.7), що розташовані під стелею спортивної споруди, для кращого розподілу

температури по об'єму приміщення. Опалювальний прилад FRIVENT DD-50-30 може працювати в двох режимах [21]:

- 1-й режим: потужність двигуна 0,54кВт, витрата повітря 4,7 тис. м³;
- 2-й режим: потужність двигуна 0,39кВт, витрата повітря 3 тис. м³.

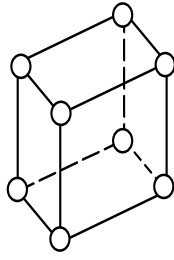


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд опалювального приладу

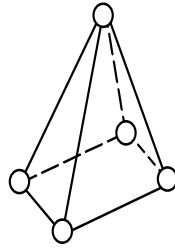
Областю розрахунків в даній розрахунковій задачі є внутрішній об'єм приміщення, який складається з області повітря, опалювального приладу, колон та трибун.

2.4 Побудова розрахункової сітки

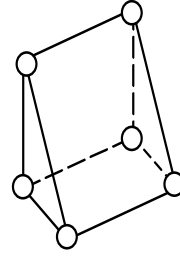
Для виконання чисельного дослідження за допомогою програмного продукту ICEM CFD була побудована розрахункова сітка. Програмний продукт ICEM CFD дозволяє створювати елементи сітки з різних типів: вузлові елементи, лінії, оболонки. Зазвичай в якості комірки виступають багатогранники різної форми (рис. 2.8), а саме: а) гексаедр; б) тетраедр; с) призма; д) піраміда; е) змішані [22].



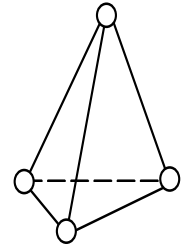
Гексаедр



Піраміда



Призма



Тетраедр

Рисунок 2.8 – Типові форми осередків (комірок) сітки

Сітка може бути побудована як автоматично з впровадженням опції меню Mesh, так і за допомогою блочної структури (модуль HEXA).

Автоматичні методи не завжди застосовують при побудові сітки на складній геометрії, тому в даній роботі розглядається спосіб побудови сітки за допомогою блоків [22].

Сіткові об'єкти присутні в проекті тільки після генерації сітки і у випадку з блоковим методом побудови їх число жорстко пов'язано з розбивкою блоків. Слід зауважити, що при створенні об'ємної сітки, на початку відбувається автоматична генерація поверхневої сітки, яка і відображається в графічному вікні [23]. Фактично відбувається тільки оцінка розміру об'ємної сітки, її створення починається тільки після виклику процедури запису сітки. Дана техніка дозволяє істотно знизити часові витрати на моделювання (поверхнева сітка, на відміну від тривимірної, легко повертається і перебудовується) [22].

Принцип роботи з блоками полягає в наступному [23]:

1. Створюється блок: прямокутник (в двовимірному випадку) або паралелепіпед (в тривимірному випадку), вершини, ребра і грані якого асоціюються з точками, лініями і поверхнями тієї області геометрії, якій необхідно створити сітку.

2. Будується структурована сітка для блоку, яка автоматично переноситься на асоційовану з блоком складну фігуру [22].

3. Здійснюється асоціація геометричних елементів з блоками сітки, можна асоціювати вершини, сторони, грані блоку з геометрією, на якій він побудований [22].

4. Після здійснення асоціації блокової структури з геометрією, можна переходити до встановлення параметрів розбиття сітки: числа вузлів і законів їх розташування вздовж ребер блоків [23].

Для отримання більш точного результату розрахунку поблизу твердих стінок було проведено згущення (рис. 2.9) комірок розрахункової стінки [22]. Для підвищення якості розрахункової сітки був виконаний плавний перехід від комірок більшого розміру до меншого розміру. Під час згущення збільшується і сам об'єм сітки, але це є необхідний.

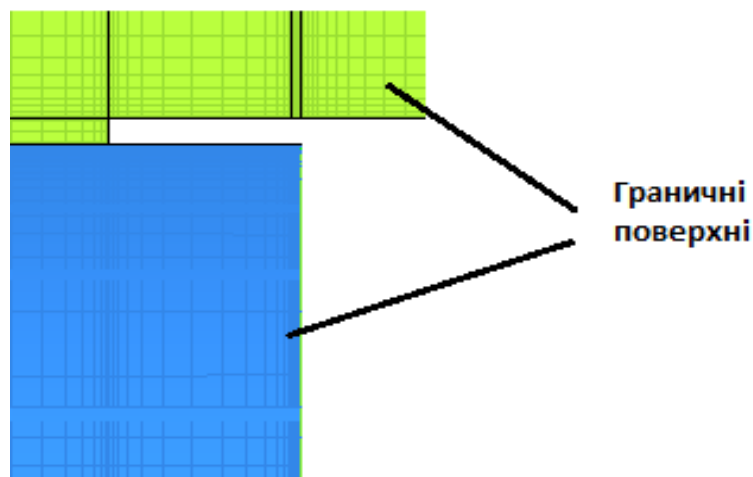


Рисунок 2.9 Структура згущення розрахункової сітки поблизу граничних поверхонь

5. Після побудови розрахункової сітки проводять перевірку на якість. Спочатку візуально перевіряють якість побудованої сітки на наявність занадто вузьких витягнутих комірок, вироджених та скошених комірок, а потім за допомогою пакету опцій ICEM CFD.

Однією з найбільш ефективних є діаграма якості, за допомогою якої можна виявити неявні помилки в прообразі сітки (в більшості випадків так звані негативні обсяги - вироджені елементи), а так само знайти елементи, що мають погану якість (в більшості випадків гексаедричні елементи з дуже гострими або тупими кутами) [22].

Для оцінки якості використовувалися наступні критерії: determinant (детермінант), angle (кут між гранями комірок). Параметр детермінант (determinant) характеризує співвідношення сторін стінок гексаедра (рис. 2.10).

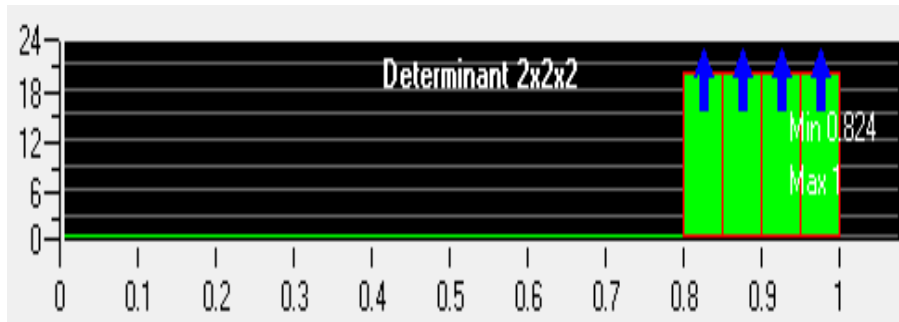


Рисунок 2.10 – Діаграма якості (детермінант) області повітря

Значення детермінанту 1 свідчить про те, що всі елементи сітки співрозмірні, а 0 буде вказувати, що елемент вироджуються в одному або більше краях, а негативні значення – перевернуті елементи. Відношення довжини сторін стінок гексаедра повинно бути не меншим за 0,3 [22]. У нашому випадку мінімальне значення такого відношення складає 0,8. Дана діаграма показує, що якість сітки є задовільною.

Для отримання задовільної якості розрахункової сітки параметр angle (кут між гранями комірок) (рис. 2.11) повинен бути не меншим за 9° [22]. Аналіз даної діаграми показує, що найменший кут між гранями комірок складає 50° .

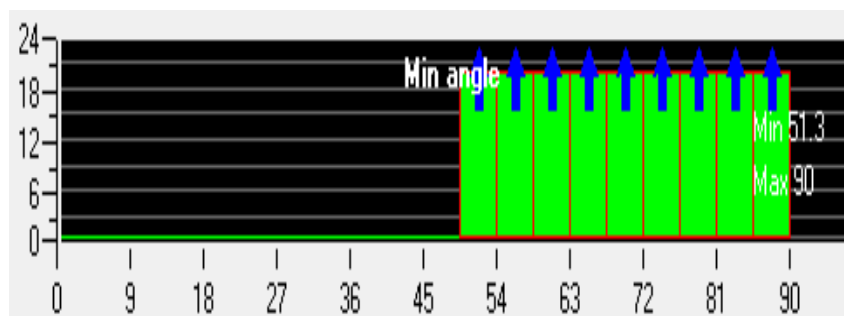


Рисунок 2.11 – Діаграма якості (кут між гранями комірок) область повітря

Основні параметри отриманої розрахункової сітки області повітря:

- кількість елементів N_{el}^{nos} – 2258694 шт;
- кількість вузлів N_v^{nos} – 2184740 шт.

Розрахункова модель приміщення має 2258694 елементів, тому у ході комп'ютерного розрахунку буде задіяно приблизно 3 Гб оперативної пам'яті.

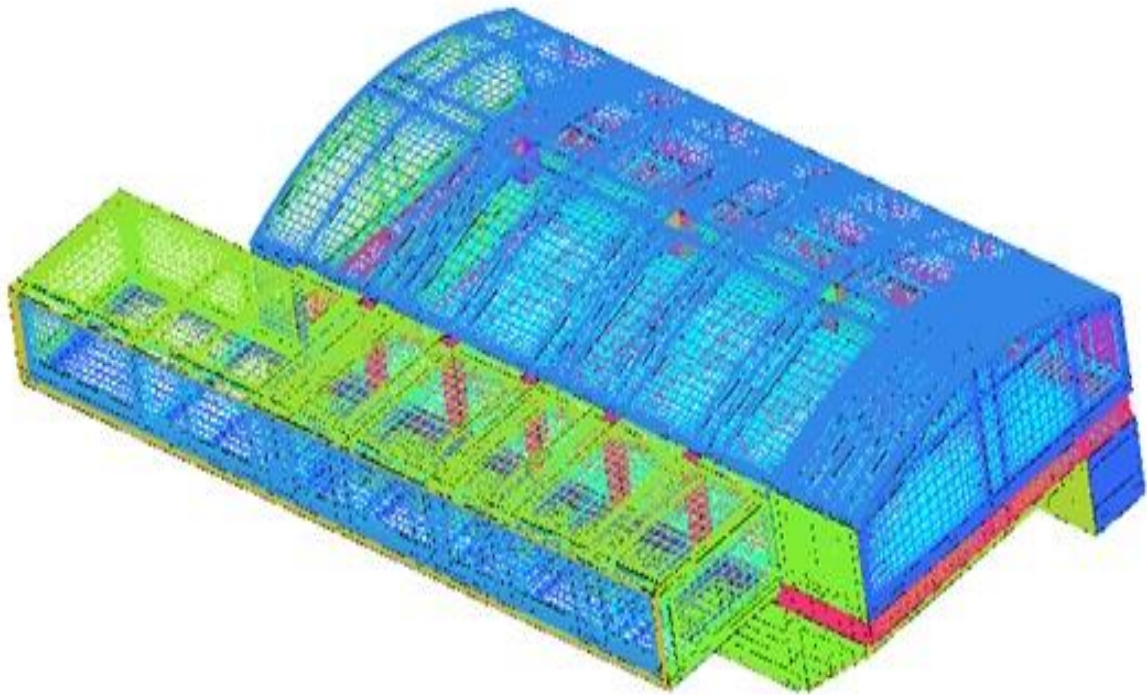


Рисунок 2.12– Вигляд розрахункової сітки в продукті ICEM CFD

2.5 Створення розрахункової моделі

Для задання параметрів розрахункової області розрахункова сітка була імпортована в модуль препроцесор CFX-Pre. В препроцесорі задаються умови однозначності (крайові умови) та вибираються математичні моделі, які необхідні для чисельного вирішення задачі.

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

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

Геометричні розміри і форма розрахункової області автоматично визначаються модулем Препроцесор, так як дана геометрична модель представляє собою структуровану сітку.

В даній розрахунковій області робочим тілом є повітря, термодинамічні параметри якого наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – 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

Граничні умови можна задавати трьома способами [26]. В даному випадку застосовувались граничні умови другого роду. У цьому випадку задається величина теплового потоку для кожної точки поверхні тіла в довільний момент часу, тобто:

$$q_{ст} = f(x_{ст}, y_{ст}, z_{ст}, \tau), \quad (2.3)$$

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

Згідно [26] умови теплообміну другого роду мають місце при нагріванні тіл високотемпературними джерелами теплоти, наприклад при нагріванні металевих виробів у високотемпературних печах $q_{ст} = const$, коли теплообмін в основному відбувається за допомогою випромінювання за законом Стефана-Больцмана, а температура тіла, що нагрівається, значно менше температури випромінюючих поверхонь.

Граничні умови на кожному з елементів приведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Граничні умови

п/п	Поверхня	Назва поверхні	Тип граничної умови	Чисельне значення
1	Повітряне опалення	Output	Inlet	3000-14100, м ³ (20-80 °С)
2	Підлога футзалу	Floor1	Heat Transfer Coefficient	0.37 Вт/м ² ·К, (6°С)
3	Підлога 2-й поверх	Floor 2	Heat Transfer Coefficient	3.33 Вт/м ² ·К, (16°С)
4	Колони	Kolona1	Adiabatik	-
5	Стеля над футзалом	Potolok1	Heat Transfer Coefficient	0.6 Вт/м ² ·К, (-24°С)
6	Стеля над тенісними столами	Potolok2	Heat Transfer Coefficient	0.58 Вт/м ² ·К, (-24°С)
7	Радіатори опалення (футзал)	Radiator1	Heat Flux	-
8	Радіатори опалення (тенісні столи)	Radiator2	Heat Flux	-
9	Трибуна	Stairs	Heat Transfer Coefficient	0.02 Вт/м ² ·К, (6°С)
10	Зовнішні стіни	WALL_Zov	Heat Transfer Coefficient	0.38 Вт/м ² ·К, (-24°С)
11	Стіна (від теплопункту)	WALL_TEPLOPUNKT	Heat Transfer Coefficient	1.3 Вт/м ² ·К, (+16°С)
12	Внутрішні стіни	WALL_VNTR	Heat Transfer Coefficient	1.3 Вт/м ² ·К, (+16°С)
13	Вікна (від стадіону)	WINDOW1	Heat Transfer Coefficient	1.235 Вт/м ² ·К, (-24°С)
14	Вікна (від Ц корпусу)	WINDOW2	Heat Transfer Coefficient	1.961 Вт/м ² ·К, (-24°С)

Різна температура повітря із опалювального приладу та його витрата дасть змогу отримати залежність температур у середині спортивної споруди від зміни зовнішньої температури.

Усі тверді стінки були прийняті шорсткими [26], середнє арифметичне відхилення профілю (Ra) складало 25 мкм.

2.6 Проведення комп'ютерного розрахунку

Використовувалась комплексна програма CFX-Solver Manager для проведення комп'ютерних розрахунків. Дана програма представляє собою ітеративний обробувач, який вирішує задані в розрахунковій моделі рівняння методом поступових наближень [26]. Контроль за вирішенням заданих рівнянь проводився візуально (рис. 2.13, 2.14, 2.15, 2.16). Дана задача була вирішена в стаціонарній постановці.

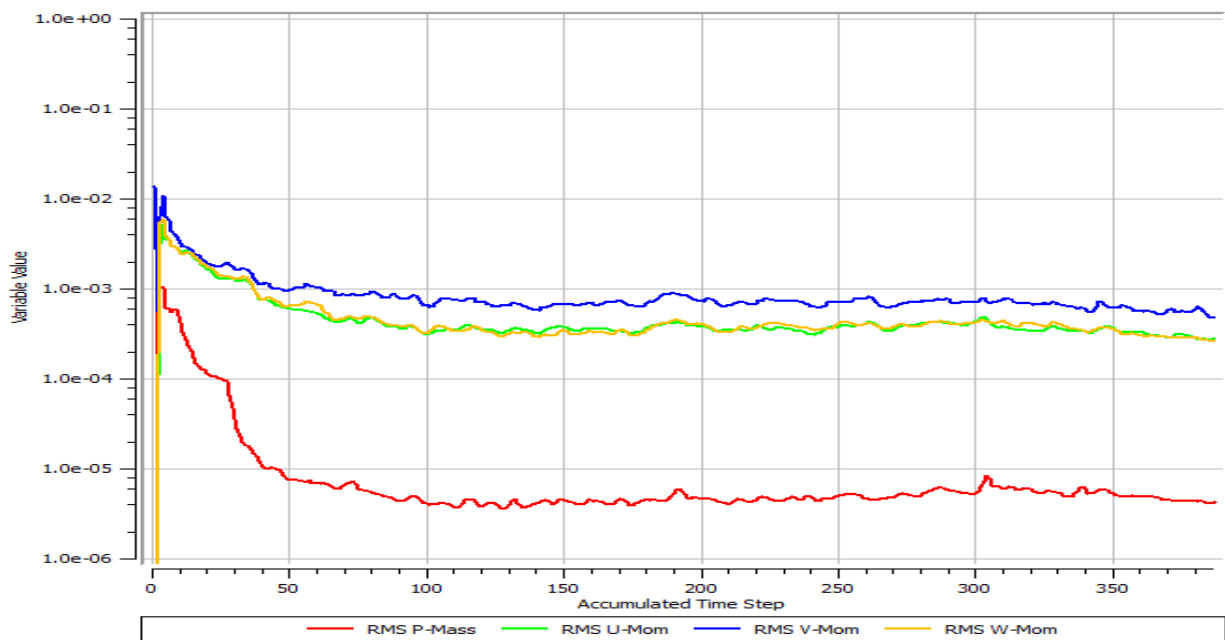


Рисунок 2.13 – Контроль за вирішенням рівнянь швидкості та масової витрати

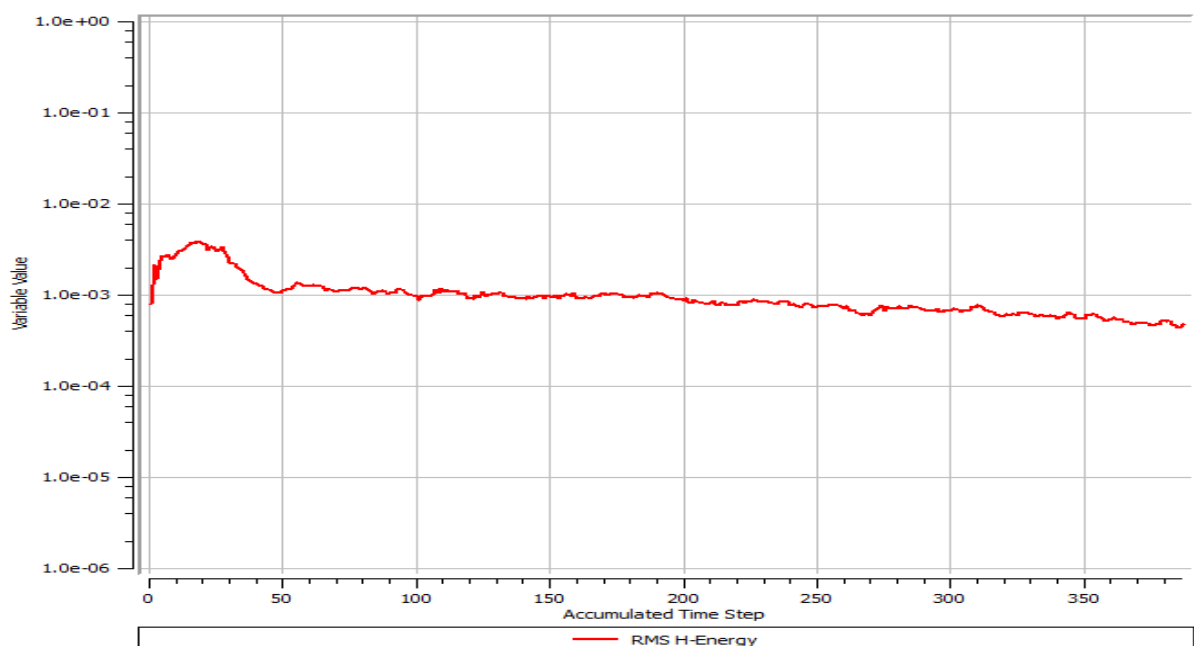


Рисунок 2.14 – Контроль за вирішенням рівнянь енергетичного балансу

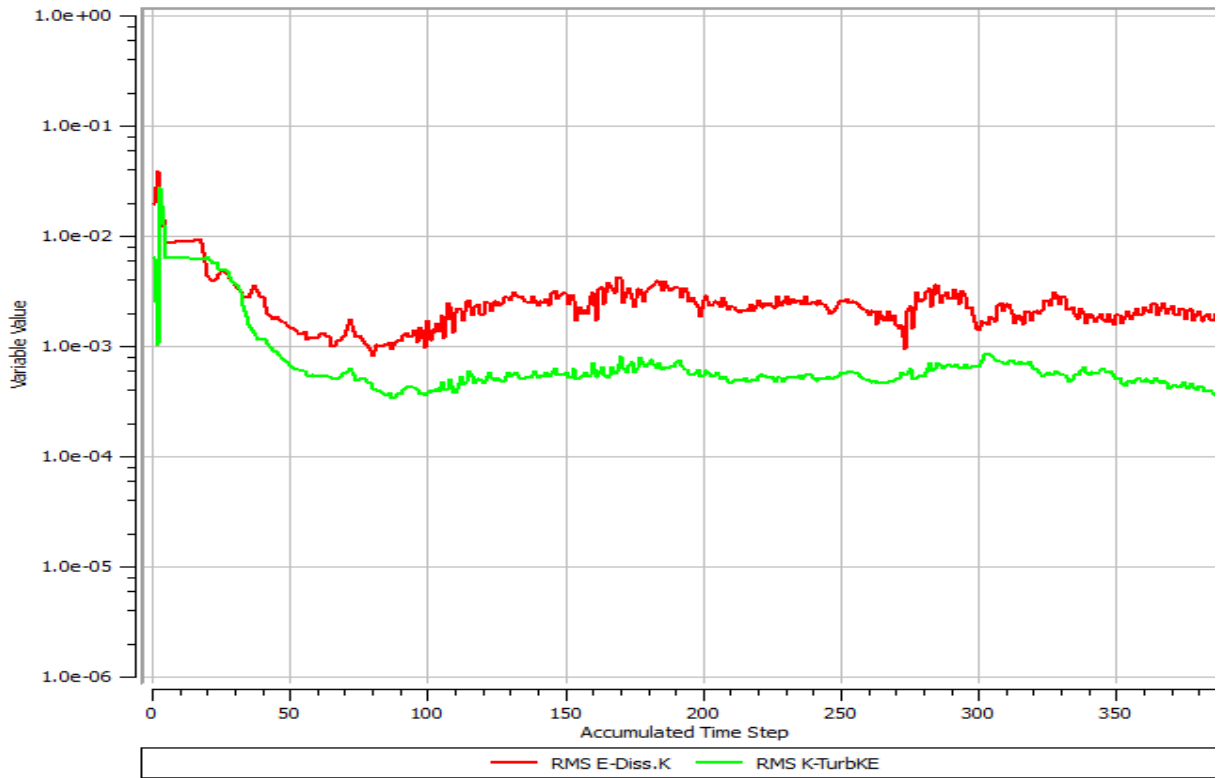


Рисунок 2.15 – Контроль за вирішенням рівнянь

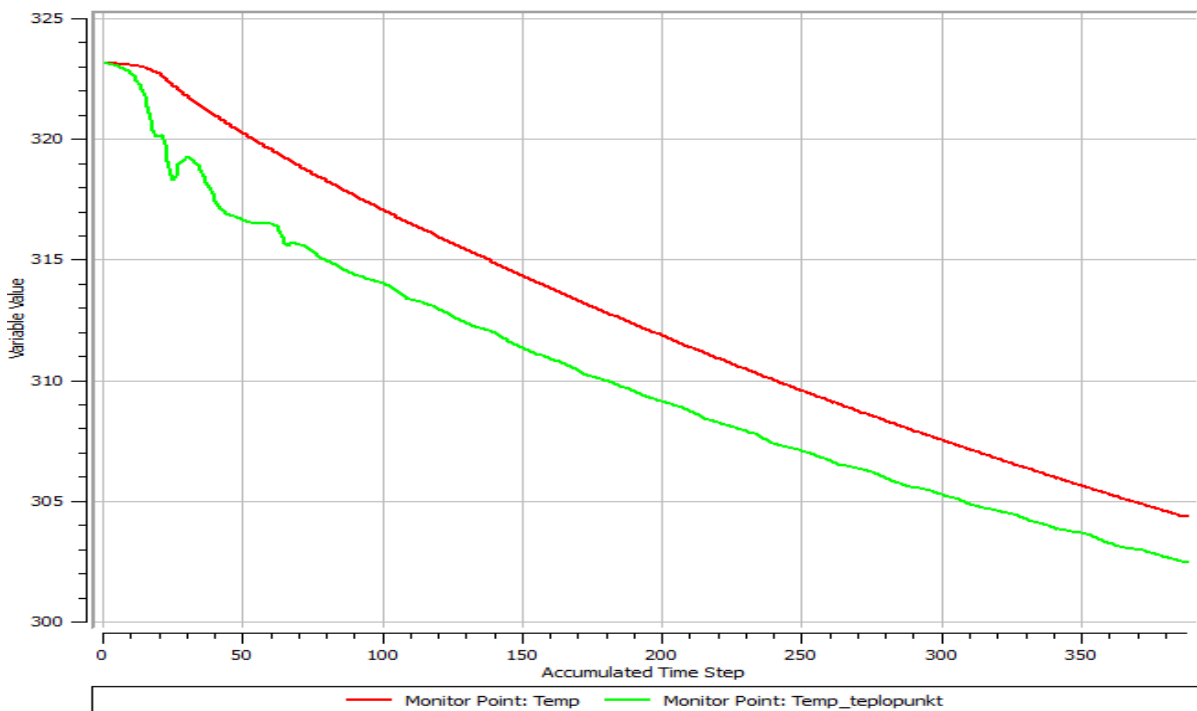


Рисунок 2.16 – Контроль за температурним показником

Було задане значення критерію точності вирішення рівнянь 1.0×10^{-4} (10^{-4}) по середньоквадратичному відхиленню (RMS), що є достатнім для інженерних розрахунків.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ

3.1 Загальний аналіз результатів розрахунків

Основні гідромеханічні та теплофізичні параметри в кожній точці розрахункової області в розрахунковій моделі були отримані в результаті чисельного дослідження теплового стану критої спортивної споруди СумДУ, які були осереднені по об'єму розрахункової області.

В табл. 3.1 наведені основні гідромеханічні, геометричні, теплофізичні та оптичні параметри розрахункових областей при досягненні стаціонарного режиму при подачі 4700 м³/год, та температурі на виході 20 °С кожного з приладів повітряного опалення.

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

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Мінімальний розмір	<i>м</i>	25
Максимальний розмір	<i>м</i>	42
Визначальний геометричний розмір	<i>м</i>	42
Густина	$\frac{кг}{м^3}$	1,284
Динамічна в'язкість	$\frac{кг}{м \cdot с}$	$1,725 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт теплопровідності повітря	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$2,428 \cdot 10^{-2}$
Питома теплоємність повітря ($p = const$)	$\frac{Дж}{кг \cdot К}$	$1,0038 \cdot 10^3$
Число Рейнольдса (Re)	-	$8,48 \cdot 10^4$
Число Прандтля (Pr)	-	0,71316
Число Релея (Ra)	-	$1,1775 \cdot 10^{13}$
Середньо температура	об'ємна °С	16,12

Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму приміщення при повітряному опалення закритої спортивної споруди, з трьома повітрообігрівачами при різних режимах роботи рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4

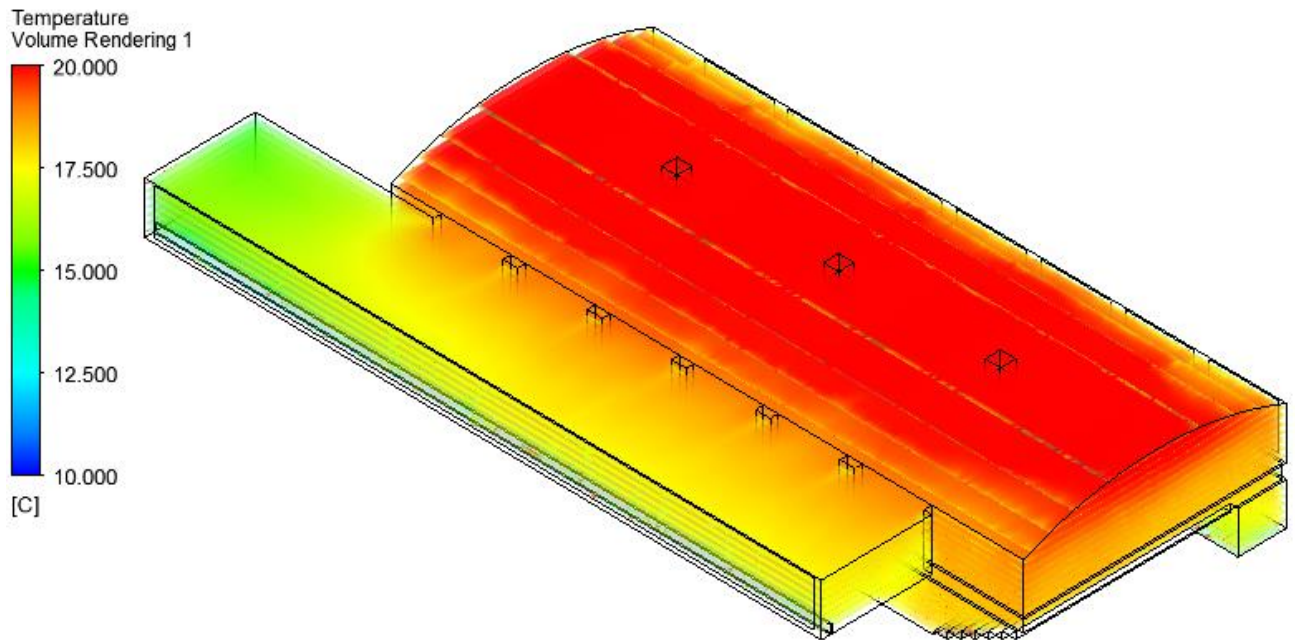


Рисунок 3.1 – Розподіл температури по об'єму приміщення при температурі потоку повітря 80 °С, подачі 3000 м³/год

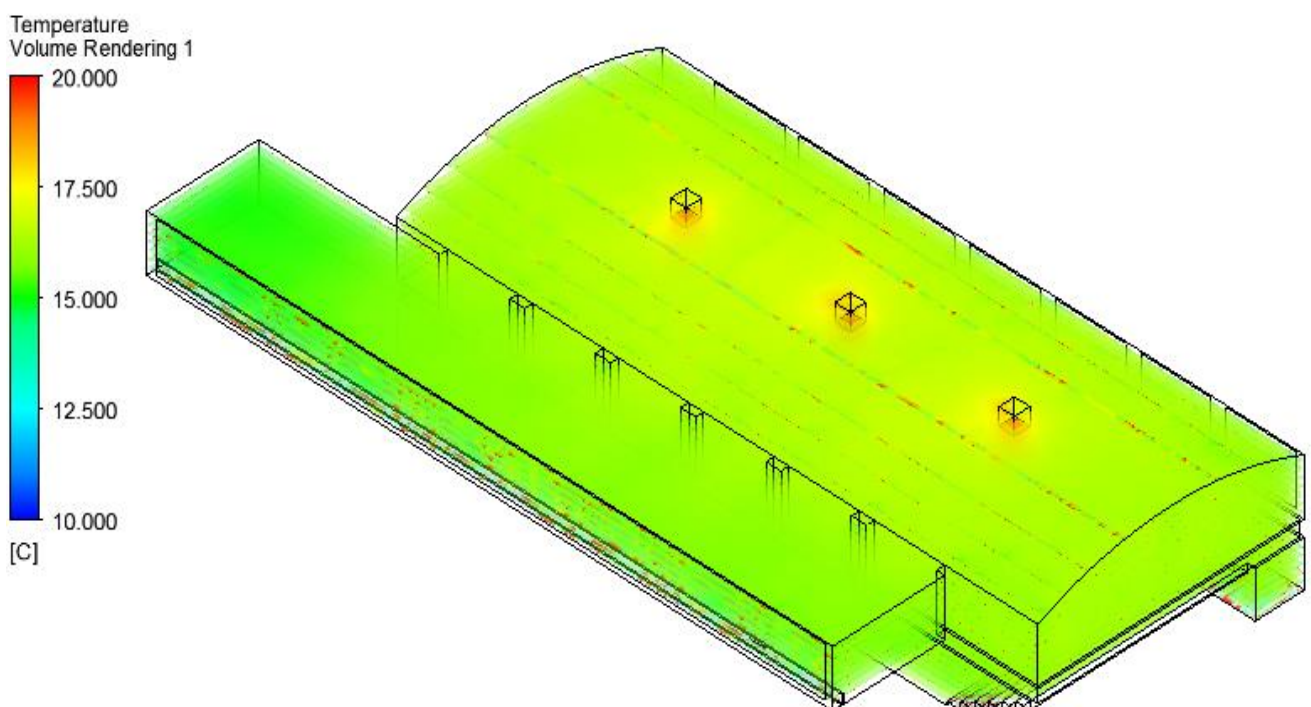


Рисунок 3.2 – Розподіл температури по об'єму приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

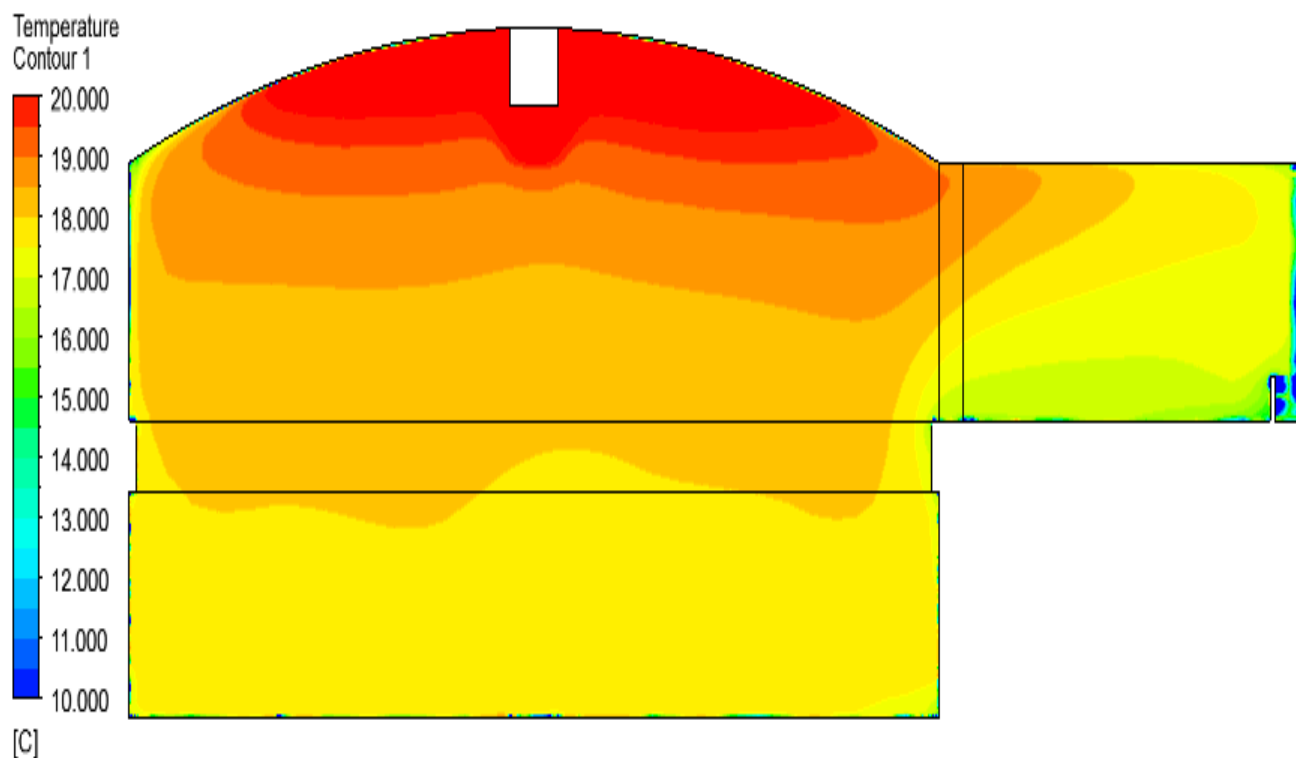


Рисунок 3.3 – Розподіл температури на площині приміщення при температурі потоку повітря 80 °С, подачі 3000 м³/год

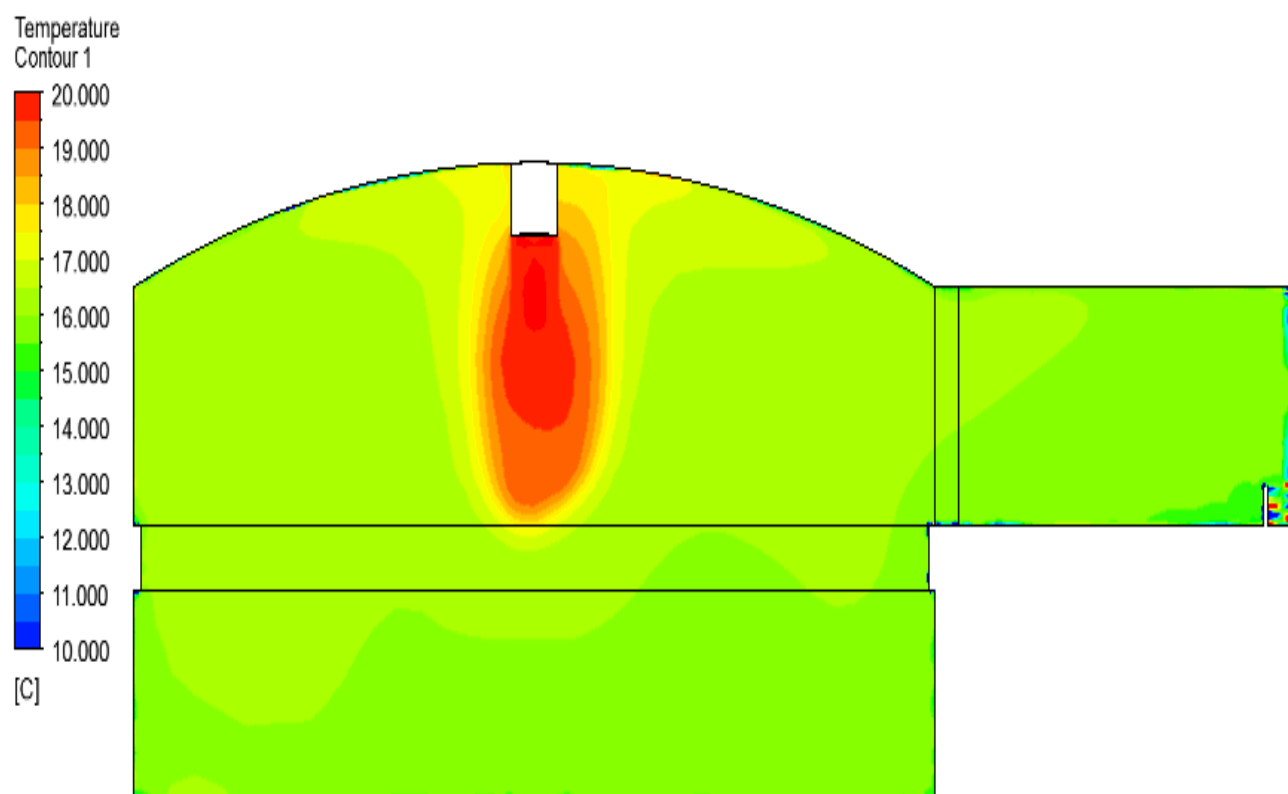


Рисунок 3.4 – Розподіл температури на площині приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

З рисунків 3,1-3,4 бачимо, що при температурі потоку повітря 80 °С та подачі 3000 м³/год відбувається набагато гірший розподіл температури, ніж при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год. В першому випадку, при температурі потоку повітря 80 °С та подачі 3000 м³/год перепад температури по висоті сягає більше ніж 2 °С, що сприяє збільшенням тепловтрат через стелю. В другому випадку, при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год, перепад температури по висоті складає менше 1 °С. Тому для більш рівномірного розподілу температури по приміщенню краще збільшувати подачу повітряного обігрівача, й знижувати температуру потоку повітря.

Проведемо візуалізацію розподілу температури, та швидкості руху повітря на площині приміщення при повітряному опалення закритої спортивної споруди при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год з одним повітрообігрівачем рис. 3.5, 3.6

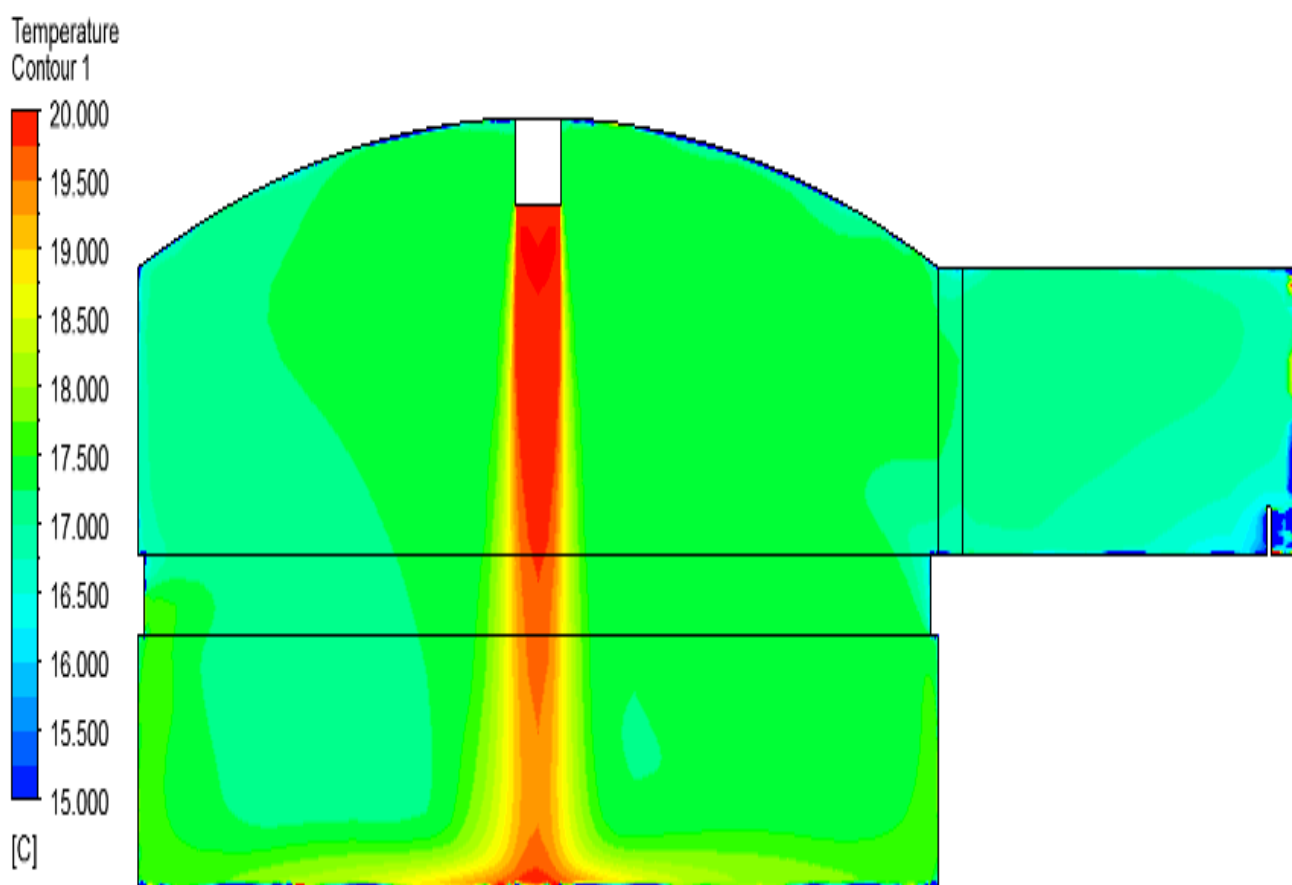


Рисунок 3.5 – Розподіл температури на площині приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

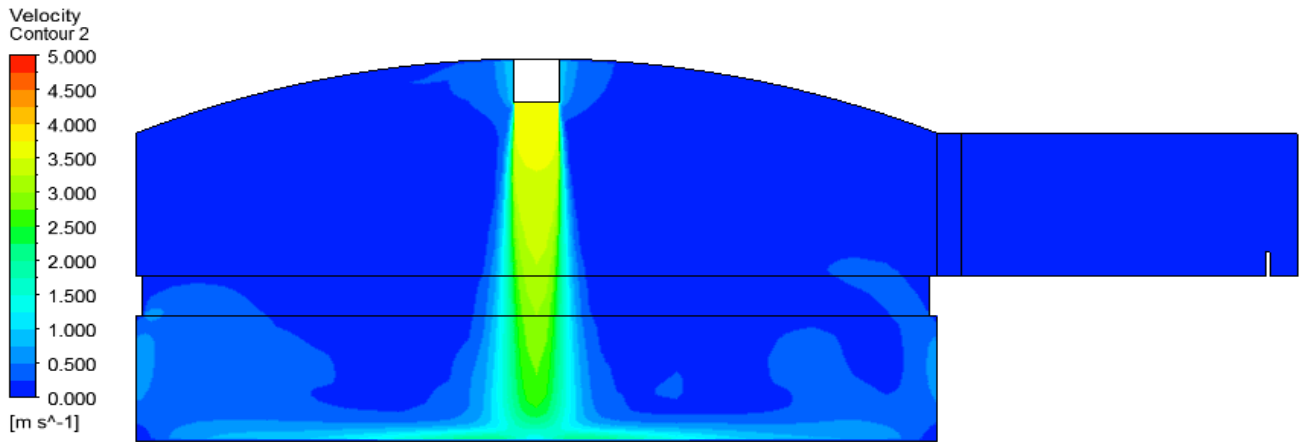


Рисунок 3.6 – Розподіл швидкості на площині приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

Аналіз рис. 3.6 показує не можливість забезпечення обігріву приміщення за допомогою одного тепловентилятора, оскільки швидкість повітря в спортивному залі сягає 3 м/с [4], коли допустиме значення швидкості руху повітря в робочій зоні для спортивних споруд [4] не повинне перевищувати 0,5 м/с.

Проведемо візуалізацію розподілу температури, та швидкості руху повітря на площині приміщення при повітряному опалення закритої спортивної споруди при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год рис 3.7, 3.8, 3.9 з 3-ма тепловентиляторами.

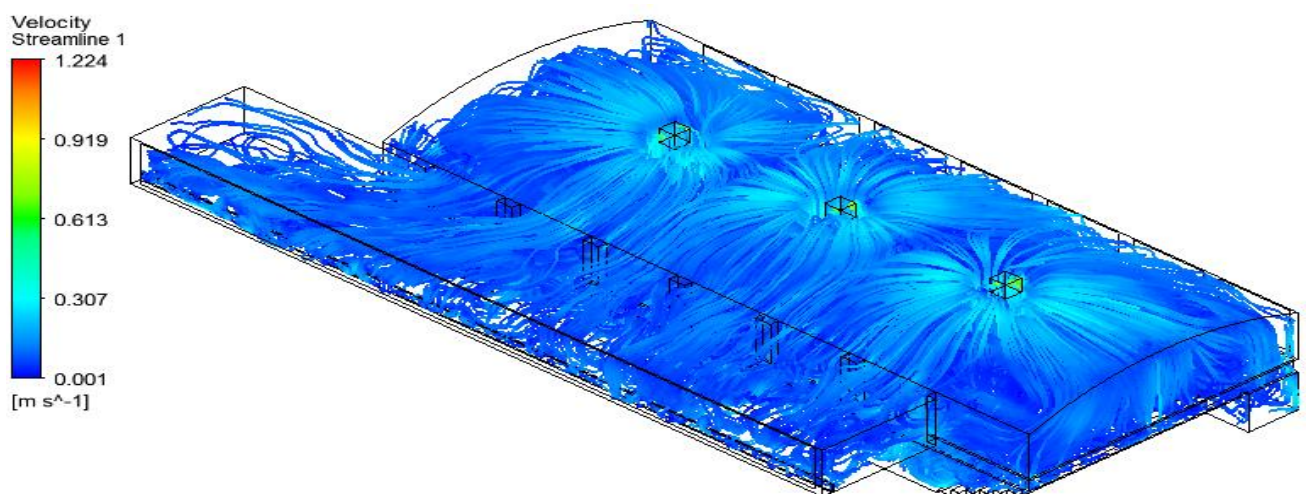


Рисунок 3.7 – Розподіл швидкості по об'єму приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

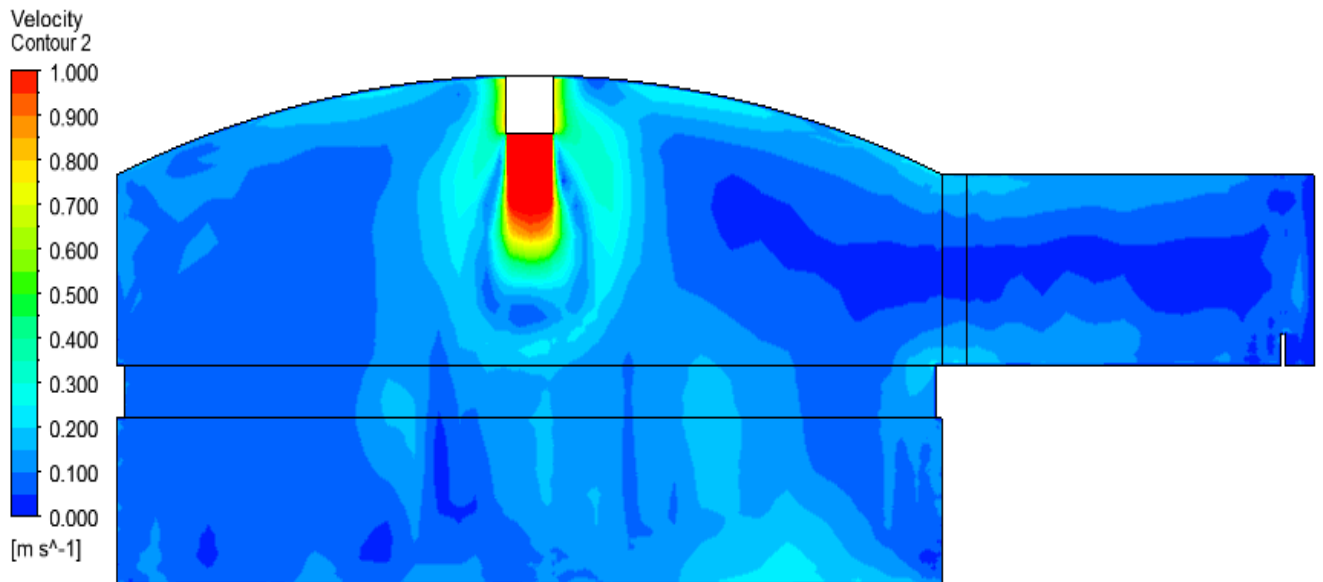


Рисунок 3.8 – Розподіл швидкості на площині приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

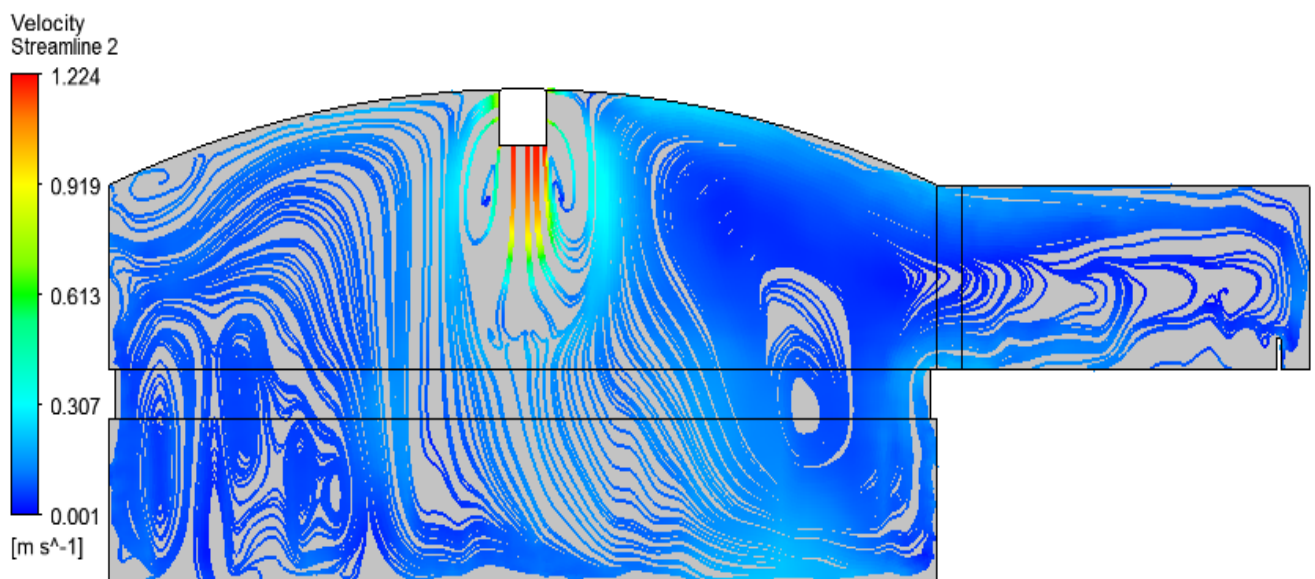


Рисунок 3.9 – Розподіл швидкості на площині приміщення при температурі потоку повітря 20 °С, подачі 14100 м³/год

Аналіз отриманих результатів показує:

– для більш рівномірного розподілу температури по приміщенню краще збільшувати подачу повітряного обігрівача, й знижувати температуру потоку повітря.

– не можливо забезпечення обігріву приміщення за допомогою одного тепловентилятора.

3.2 Факторний експеримент

В даній роботі було виконано факторний експеримент з трьома факторами: витрата повітря з системи повітряного опалення (від 3000м³/год до 14100м³/год), температурою зовнішнього середовища (від -24°C до 8°C) та температурою повітря на виході із системи повітряного опалення (від 20°C до 80°C).

Кожний фактор та рівень фактору має своє кодове позначення, що в значній мірі полегшує запис умов експерименту та обробку експериментальних даних. В кодовому вигляді верхній рівень позначається +1, нижній -1, а основний 0 [27].

Таблиця 3.2 - Рівні та інтервали варіації факторів

Рівні та інтервали варіації факторів	Фактори		
	Витрата повітря обігрівача $\frac{м^3}{год}$	Температура потоку повітря на виході із повітрообігрівача, °C	Температура зовнішнього середовища, °C
Кодове позначення	x ₁	x ₂	x ₃
Основний рівень (x _{i,0})	7050	50	-8
Інтервал варіації	5550	30	16
Верхній рівень (+)	14100	80	8
Нижній рівень (-)	3000	20	-24

У вигляді таблиці (матриці) записані умови проведення дослідів у кодовому вигляді, що залежить лише від числа факторів та рівнів кожного фактору.

Для визначення коефіцієнтів регресії було проведено 8 досліджень [27]. Матриця планування трьох факторного експерименту і результати досліджень представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Матриця планування трьох факторного 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	+	-	-	-	+	+	+	-	2,15
2	+	+	-	-	-	-	+	+	8,17
3	+	-	+	-	-	+	-	+	18,34
4	+	+	+	-	+	-	-	-	36,58
5	+	-	-	+	+	-	-	+	13,28
6	+	+	-	+	-	+	-	-	16,12
7	+	-	+	+	-	-	+	-	29
8	+	+	+	+	+	+	+	+	43,58

Отримані коефіцієнти регресії [27]:

$$b_0 = \frac{-2,15 + 8,17 + 18,34 + 36,58 + 13,28 + 16,12 + 29 + 43,58}{8} = 20,9;$$

$$b_1 = \frac{-2,15 + 8,17 - 18,34 + 36,58 - 13,28 + 16,12 - 29 + 43,58}{8} = 5,21;$$

$$b_2 = \frac{-2,15 - 8,17 + 18,34 + 36,58 - 13,28 - 16,12 + 29 + 43,58}{8} = 10,97;$$

$$b_3 = \frac{-2,15 - 8,17 - 18,34 - 36,58 + 13,28 + 16,12 + 29 + 43,58}{8} = 4,59;$$

$$b_{12} = \frac{-2,15 - 8,17 - 18,34 + 36,58 + 13,28 - 16,12 - 29 + 43,58}{8} = 2,995;$$

$$b_{13} = \frac{-2,15 - 8,17 + 18,34 - 36,58 - 13,28 + 16,12 - 29 + 43,58}{8} = -0,86;$$

$$b_{23} = \frac{-2,15 + 8,17 - 18,34 - 36,58 - 13,28 - 16,12 + 29 + 43,58}{8} = -0,178;$$

$$b_{123} = \frac{-2,15 + 8,17 + 18,34 - 36,58 + 13,28 - 16,12 - 29 + 43,58}{8} = -0,06.$$

Величина і знак коефіцієнту показують вплив даного фактору в загальний результат при переході з нульового на верхній або нижній рівень фактору [27].

Для визначення значимості коефіцієнтів регресії було проведено додаткові експерименти та використано формулу для визначення середньоквадратичного відхилення та середньоквадратичної похибки [27].

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.1)$$

де n – кількість паралельних дослідів.

$$S^2 = \frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 (2,02 - 2,08)^2 + (2,07 - 2,08)^2 + (2,15 - 2,08)^2 = 0,0043.$$

Після цього було визначено дисперсію відтворення всієї матриці [27]

$$S_{\text{vid}}^2(\bar{y}) = \frac{N \sum_{i=1}^n s^2(\bar{y})}{nN}, \quad (3.2)$$

де n – кількість паралельних дослідів,

N – кількість дослідів або кількість рядків матриці планування.

$$S_{\text{vid}}^2(\bar{y}) = \frac{8(2,02-2,08)^2+(2,07-2,08)^2+(2,15-2,08)^2}{(3-1) \cdot 8} = 0,0043;$$

$$S_{\text{vid}}(\bar{y}) = 0,066.$$

Властивості складання діагональної матриці такі: діагональні елементи рівні між собою, тому всі рівняння регресії визначаються з однаковою точністю [27]:

$$S_{bi} = \frac{S_{\text{vid}}}{\sqrt{N}}, \quad (3.3)$$

$$S_{bi} = \frac{0,066}{\sqrt{8}} = 0,023.$$

Знаходимо значимість коефіцієнтів за критерієм Стьюдента [27]:

$$t_0 = \frac{b_i}{S_{bi}}, \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{20,9}{0,023} = 901,58; & t_1 &= \frac{5,21}{0,023} = 224,72; & t_2 &= \frac{10,97}{0,023} = 473,27; \\ t_3 &= \frac{4,59}{0,023} = 198,09; & t_{12} &= \frac{2,995}{0,023} = 129,18; & t_{13} &= \frac{0,86}{0,023} = 36,88; \\ t_{23} &= \frac{-0,178}{0,023} = -7,66; & t_{123} &= \frac{-0,06}{0,023} = -2,58. \end{aligned}$$

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

Таким чином, коефіцієнти t_{123}, t_{23} не значимі і їх потрібно виключити із рівняння, після цього воно отримує вигляд:

$$Y = 20,903 + 5,21x_1 + 10,97x_2 + 4,593x_3 + 2,995x_1x_2 - 0,855x_1x_3.$$

Причинами незначимості коефіцієнтів регресії є:

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

Повертаємося до натуральних показників:

$$\begin{aligned} t_{BH} &= 20,903 + 5,21 \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} + 10,97 \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} + 4,593 \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3} + 2,995 \\ &\quad \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_2 - x_{2,0}}{\Delta x_2} + (-0,855) \cdot \frac{x_1 - x_{1,0}}{\Delta x_1} \cdot \frac{x_3 - x_{3,0}}{\Delta x_3}, \\ t_{BH} &= -0,000037x_1 + 0,212x_2 + 0,369x_3 + 0,000018x_1x_2 + 0,0000096x_1x_3 \\ &\quad + 5,24. \end{aligned}$$

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

За допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel, було отримане графічне зображення наступних залежностей:

- вплив витрати повітря обігрівача та температури потоку повітря на виході з повітряного опалювача на внутрішню температуру повітря в приміщенні при змінній температурі зовнішнього середовища зображено на рис. 3.6, 3.7.

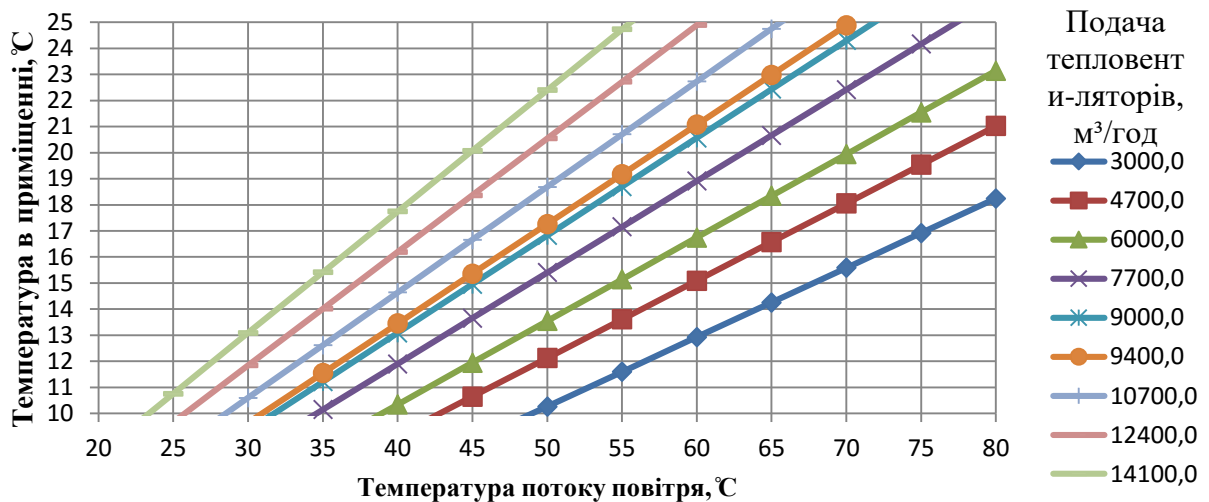


Рисунок 3.6 – Вплив витрати повітря, та температури потоку повітря на внутрішню температуру в приміщенні, при зовнішній температурі -24 °C

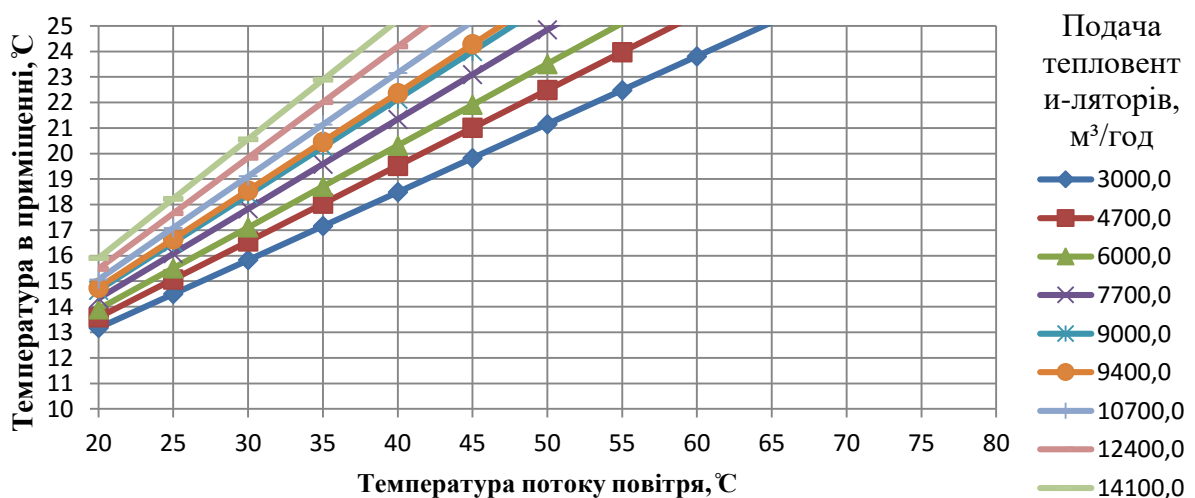


Рисунок 3.7 – Вплив витрати повітря, та температури потоку повітря на внутрішню температуру в приміщенні, при зовнішній температурі 8 °C

Вплив температури зовнішнього середовища на витрату повітря обігрівача та температуру потоку повітря на виході з повітряного опалювача зображено на рис 3.8, 3.9.

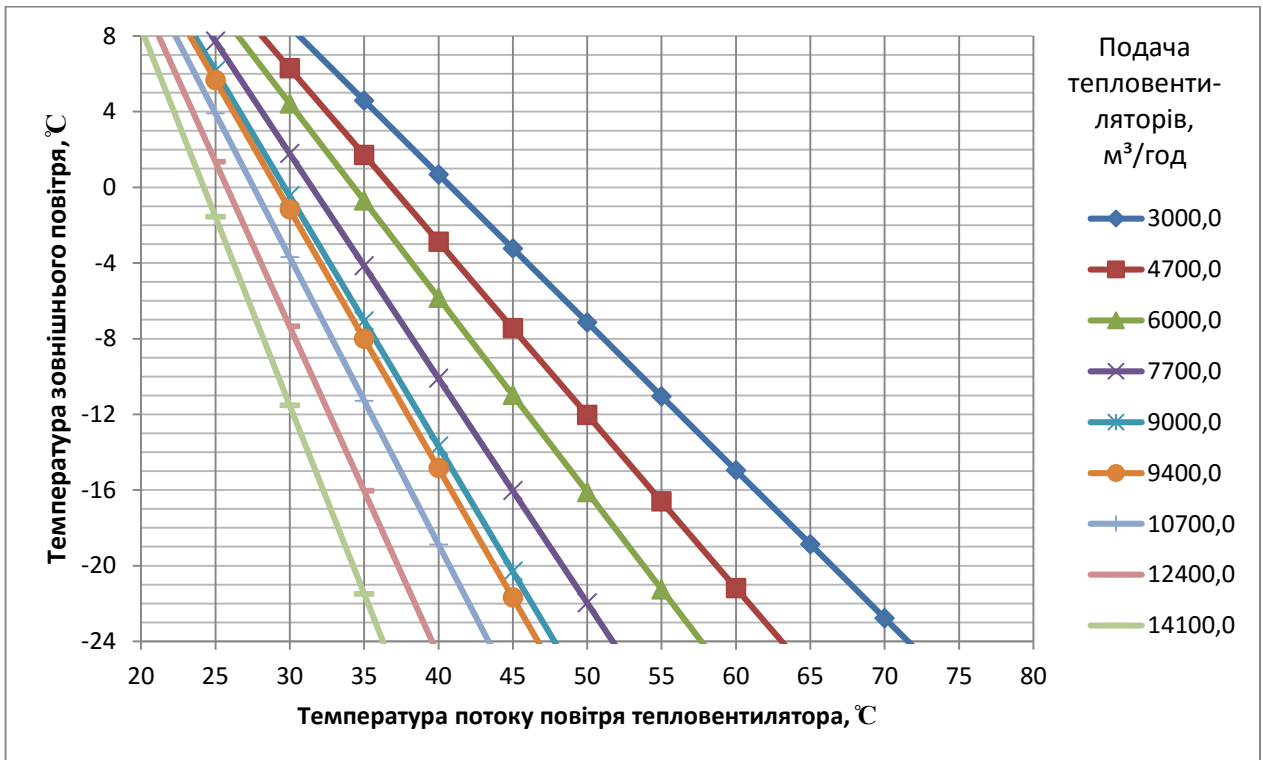


Рисунок 3.8 – Вплив температури зовнішнього середовища на витрату повітряобігрівача та температуру потоку при внутрішній температурі 16° С

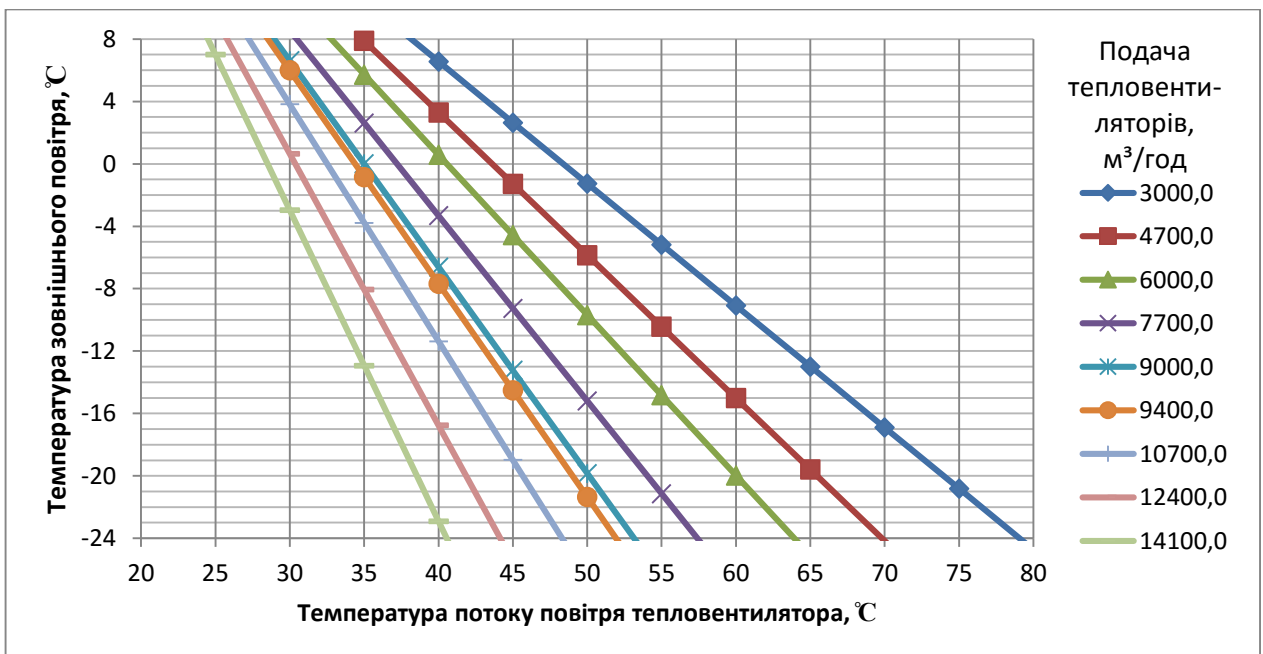


Рисунок 3.9 – Вплив температури зовнішнього середовища на витрату повітряобігрівача та температуру потоку при внутрішній температурі 18° С

Геометрична інтерпретація витрати повітря обігрівача, температури потоку повітря на виході з повітряного опалювача та температури зовнішнього середовища на температуру повітря в приміщенні зображено на рис 3.10, 3.11.

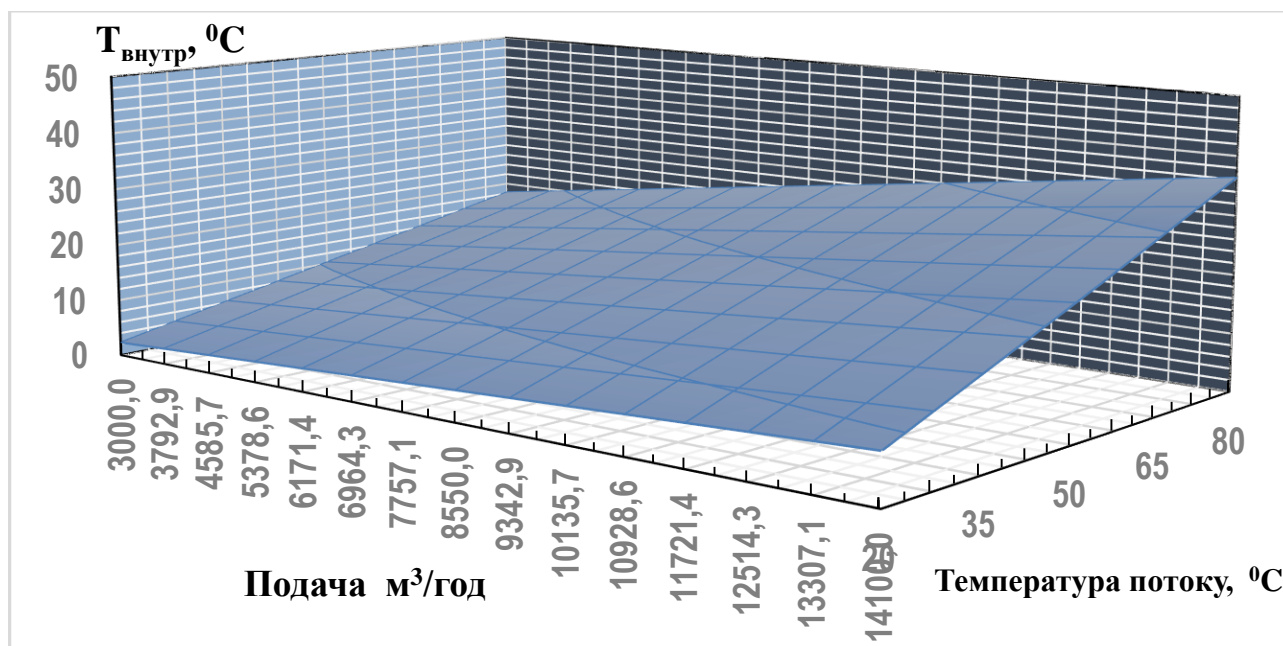


Рисунок 3.9 – Геометрична інтерпретація залежності температури в приміщення від витрати повітря, та температури потоку повітря при зовнішній температурі -24°C

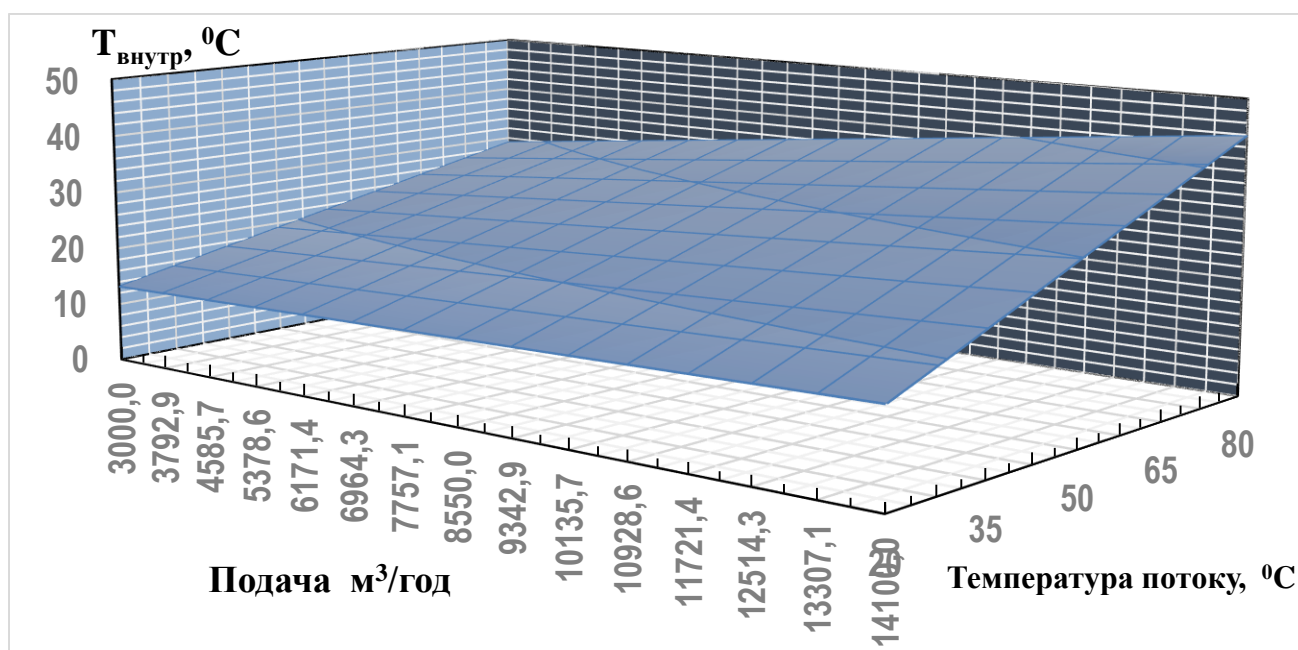


Рисунок 3.9 – Геометрична інтерпретація залежності температури в приміщення від витрати повітря, та температури потоку повітря при зовнішній температурі 8°C

Аналіз отриманих залежностей дозволив сформулювати наступний висновок: краще працювати з максимальною витратою повітря 14100 м³/год, що забезпечує рівномірний розподіл температури по спортивній споруді, та мінімальною температурою потоку повітря на виході з повітрообігрівачів

3.3 Проведення нестационарного розрахунку

Нестационарними тепловими процесами називають процеси теплообміну, що протікають в змінюваному в часі температурному полі. Особливістю цих процесів є зміна теплоємності тіл і пов'язане з цим їх нагрівання або охолодження. Найчастіше нестационарний теплообмін спостерігається в періодично діючих апаратах (нагрівання або охолодження). У безперервно діючих апаратах нестационарне перенесення тепла виникає лише в періоди пуску, зупинки або зміни режиму їх роботи [28].

При розрахунку нестационарних процесів теплообміну визначають або час, необхідний для нагрівання або охолодження, або кінцеву температуру [28].

Будь-який процес нагрівання або охолодження тіла можна розділити на три режими. Перший з них характеризується поступовою зміною температури при цьому швидкість зміни температури в окремих точках різна, а температурне поле залежить від початкового розподілу температур. Надалі вплив початкового розподілу температур в тілі зникає, і відносна швидкість зміни температури в кожній точці тіла стає постійною величиною. Після закінчення тривалого часу настає третій, стаціонарний режим [28].

3.3.1 Нестационарний розрахунок нагрівання

Під час виконання роботи було проведено нестационарний розрахунок нагрівання критої спортивної споруди. Нагрівання почали з початкової

температури 2°C, й проводили розрахунок протягом 24 годин з кроком 15 хвилин. Під час проведення розрахунку задавалися такі параметри:

- температура потоку повітря обігрівача - 50 °С;
- подача обігрівачів 14100 м³/год (3 обігрівачі по 4700 м³/год);
- температура зовнішнього середовища -24 °С.

Розглянемо процес нагрівання. Внутрішня температура була осереднена за об'ємом в часі і представлена на рис 3.10

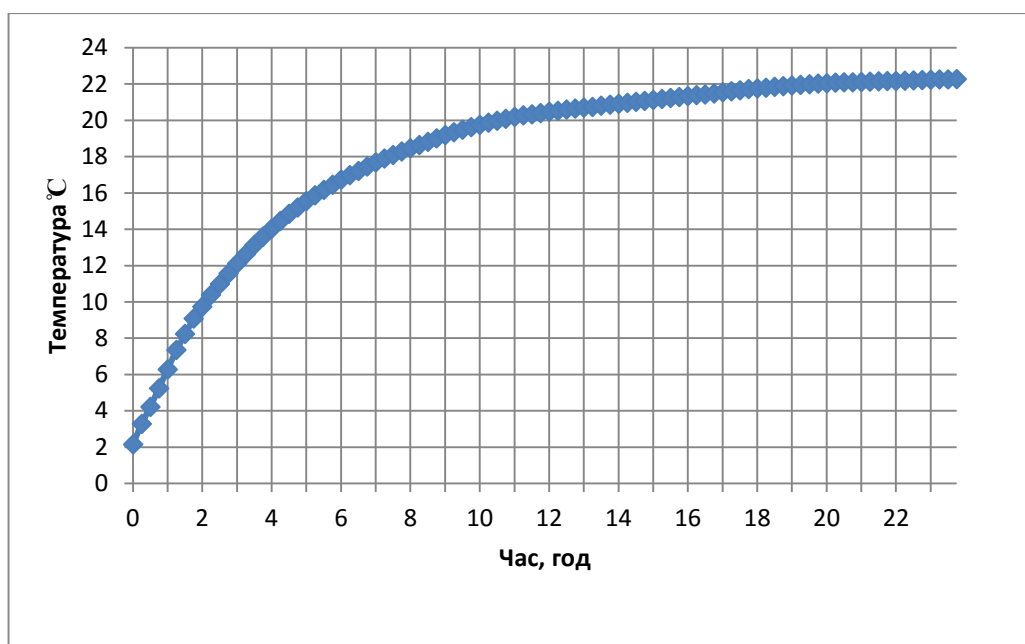


Рисунок 3.10 – Нагрівання приміщення в часі

Аналіз графіку демонструє, що при подачі обігрівачів 14100 м³/год повітря та його температурі 50 °С, при температурі зовнішнього середовища - 24 °С, температура в приміщенні підвищиться від 2 °С до 22 °С за 24 години.

Згідно [3] температура у спортивних залах повинна бути 15-17 °С. А у випадку чергового опалення слід приймати температуру повітря нижчою [34] не більше ніж на 4 °С від нормованої температури, але не нижче ніж 12 °С [34]. Згідно [3] приймаємо, що температура в спортивному залі 16°C, а чергове опалення тоді становить мінімальне значення від нормованого, а саме 12 °С.

З рис.3.11, що впливає з рис.3.10 бачимо, що для чергового опалення, коли є потреба для підняття температури в приміщенні від 12°C до 16°C потрібно буде 2,5 години.

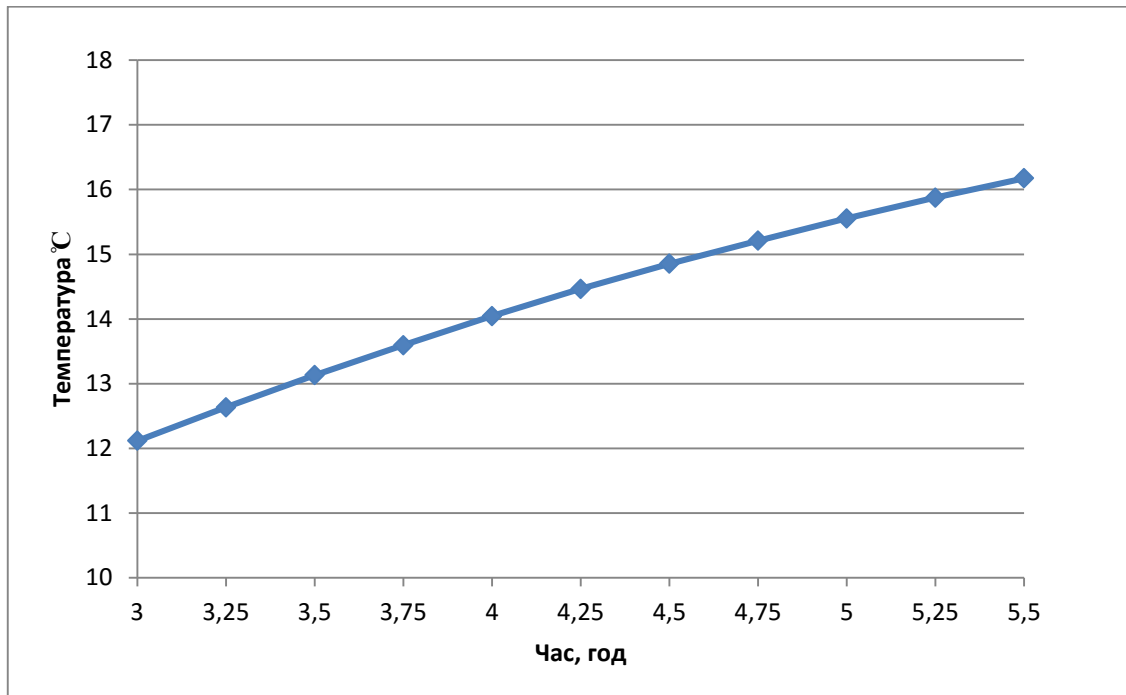


Рисунок 3.11 – Час роботи чергового опалення

На рис. 3.12, 3.13 зображений розподіл температури по огорожуючих поверхнях та розподіл температури по висоті. Як видно з графіків температура по висоті та по поверхнях не дуже відрізняється, однак температура на відстані 8 метрів від підлоги, та під стелею футзалу є найбільшою. Саме під стелею заходиться найтепліше повітря, тому потрібно подбати про її утеплення.

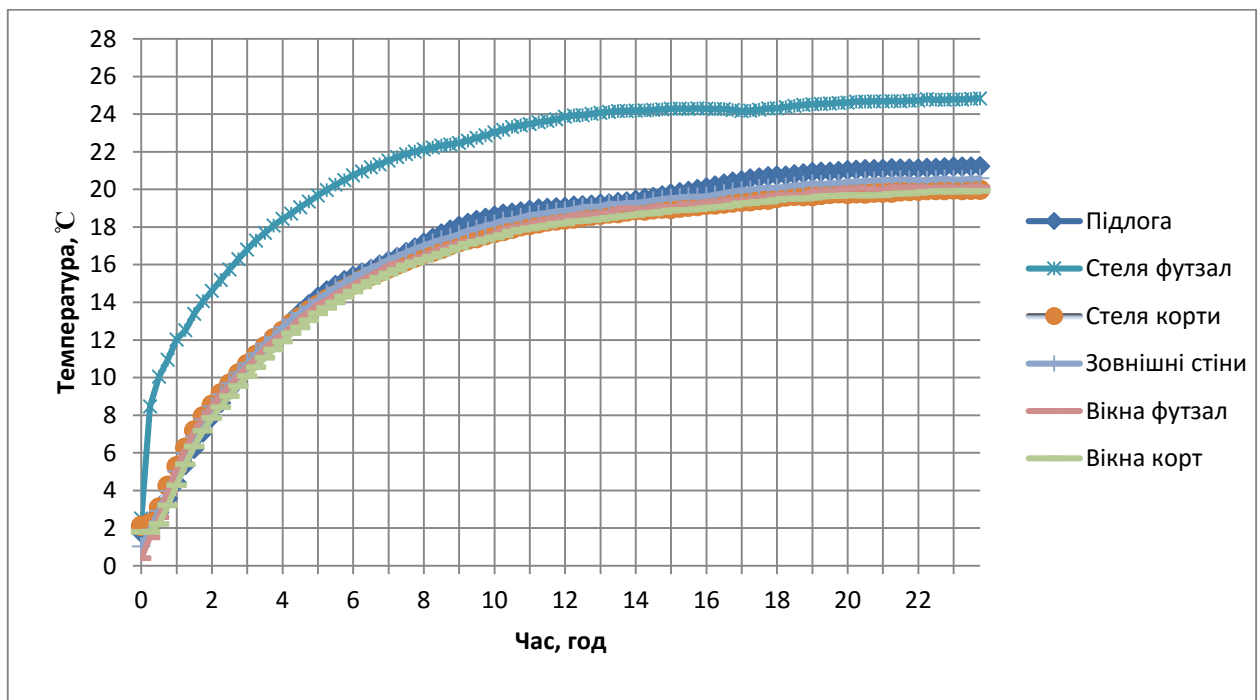


Рисунок 3.12 – Розподіл температури по огорожуючих поверхнях

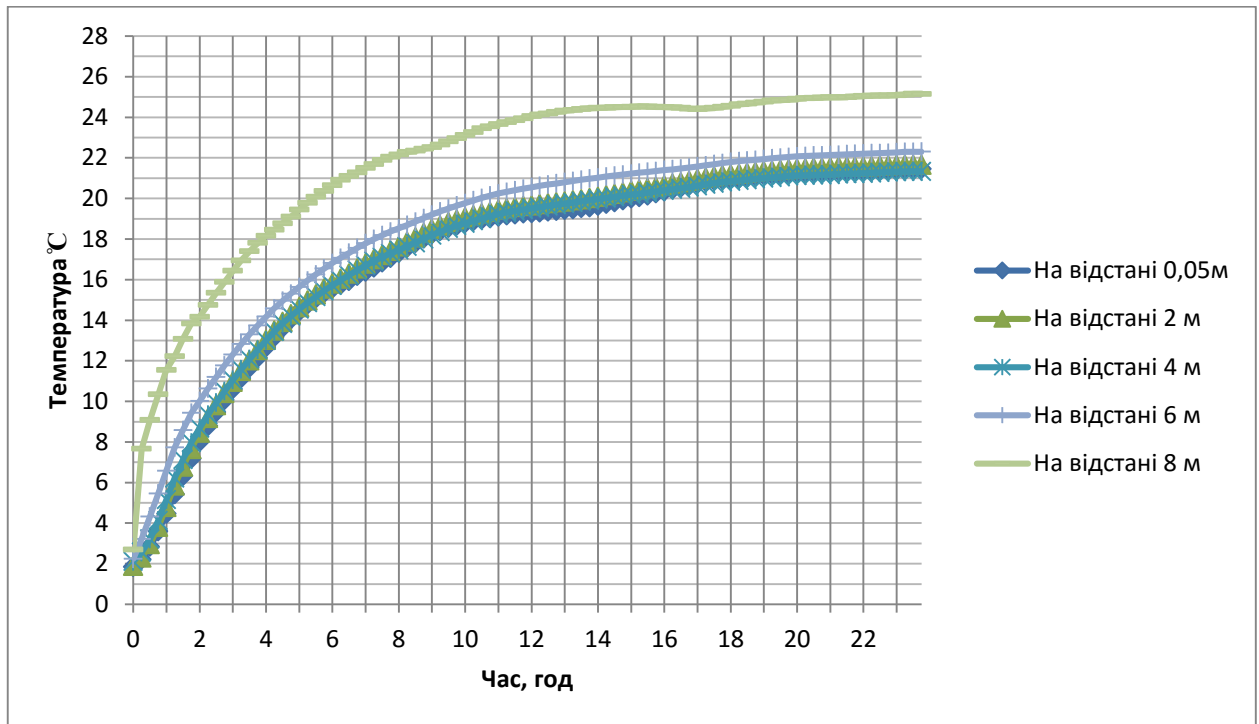


Рисунок 3.13 – Розподіл температури по висоті

Щоб побачити інтенсивність прогріву приміщення було побудовано графік відношення зміни температури ΔT до часу Δt за який відбулася зміна температури (рис. 3.14).

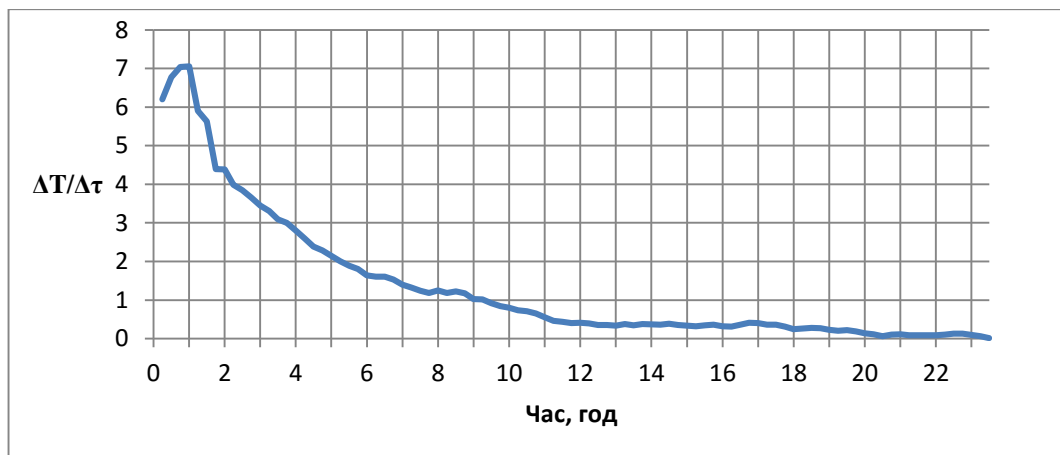


Рисунок 3.14 – Інтенсивність нагрівання

Відношення зміни температури до часу, за який відбулася зміна температури показує інтенсивність прогріву приміщення. З графіка видно, що нагрів приміщення найінтенсивніше проходить в момент часу від 0 хв до 12 год. Від 12 год до 20 год інтенсивність значно зменшується. Після 20 год

інтенсивність прогріву наближається до нуля, тобто виходимо на стаціонарний режим, що було сказано вище.

Розглянемо втрати теплового потоку та розподіл тепловтрат по поверхнях огорожуючих конструкцій при нестационарному процесі охолодження в часі рис 3.15, 3.16.

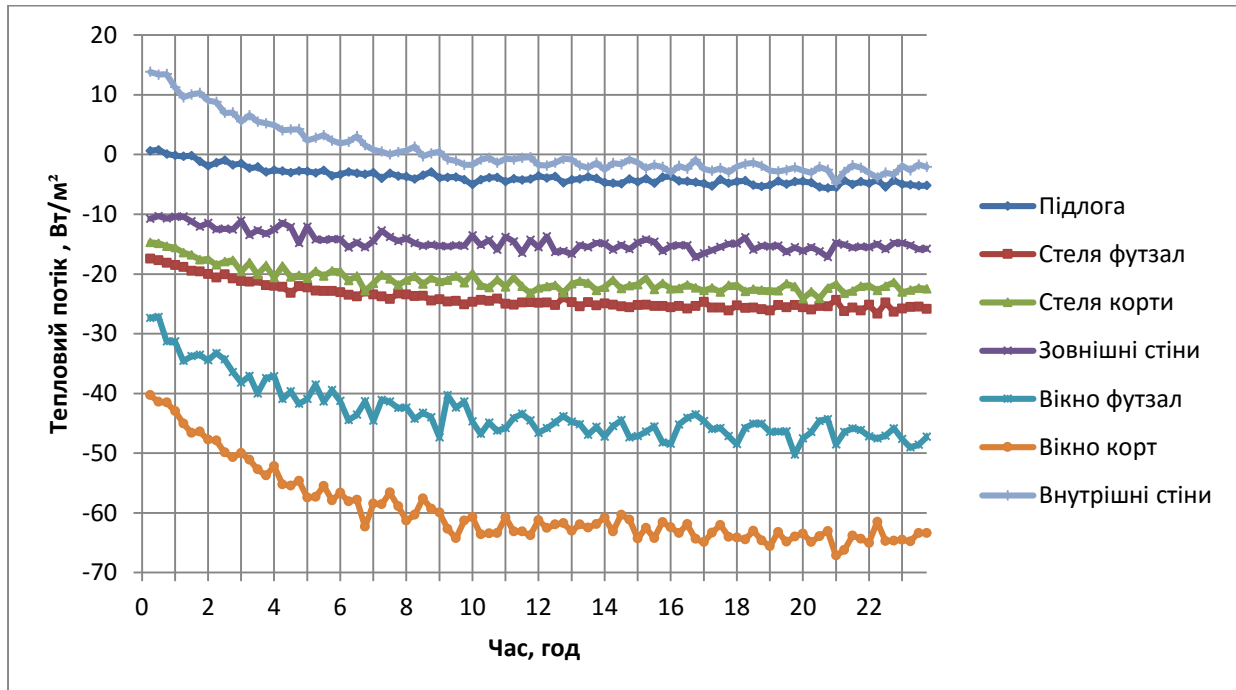


Рисунок 3.15 – Втрати теплового потоку

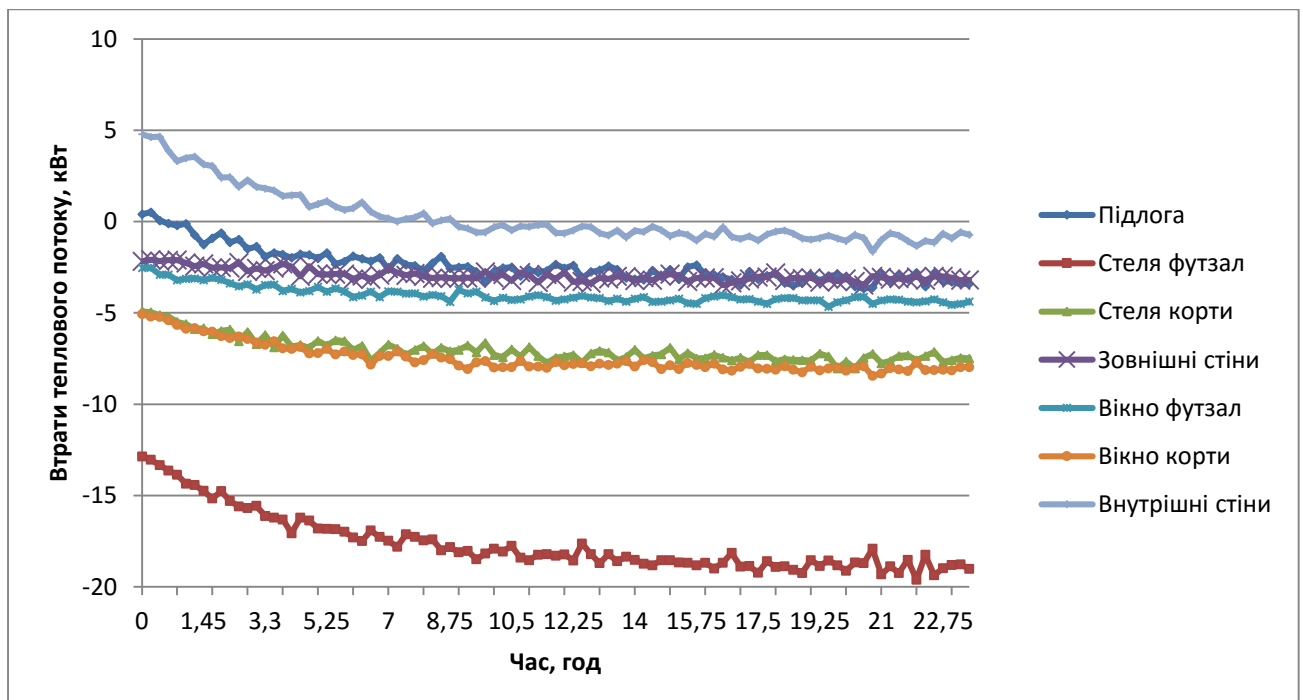


Рисунок 3.16 – Розподіл тепловтрат по поверхнях огорожуючих конструкцій

Проаналізувавши тепловтрати можемо переконатися, що втрати теплового потоку є найбільшими саме в тих огороджуючих конструкціях, в яких коефіцієнт теплопередачі є більшим. Найбільші втрати тепла відбуваються через вікна та стелю. Оскільки площа стелі є найбільшою, та під нею є найбільша температура (рис 3.12, 3.13), то її потрібно утеплювати і першу чергу.

3.3.2 Нестационарний процес охолодження

Під час виконання процесу охолодження спортивної споруди був проведений нестационарний розрахунок. Охолодження почали з початкової температури $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, й проводили розрахунок протягом 24 годин з кроком 15 хвилин. Температура зовнішнього середовища $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розглянемо характер процесу охолодження в часі рис 3.17.

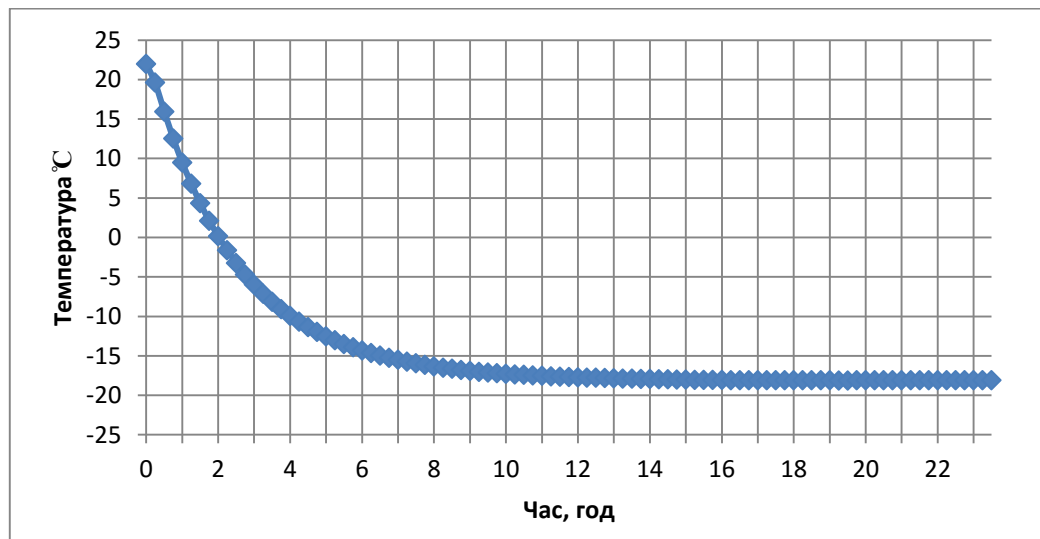


Рисунок 3.17 – Охолодження в часі

Аналіз графіка демонструє, що для виходу на стаціонарний режим охолодження потрібно від 0 до 12 годин часу. Перші 4 години процес характеризується швидким охолодженням повітря в приміщенні, потім від 4 до 12 годин відбувається незначне охолодження температури і температура повітря в приміщенні досягає мінімуму.

На рис. 3.18, 3.19 зображено розподіл температур в часі на площинах, що проведені на різній висоті спортивної споруди та по огорожуючих конструкціях різних поверхнях. Як бачимо, з рис. 3.17, 3.18 розподіл температури на відміну від процесу нагрівання є рівномірним по всіх поверхнях.

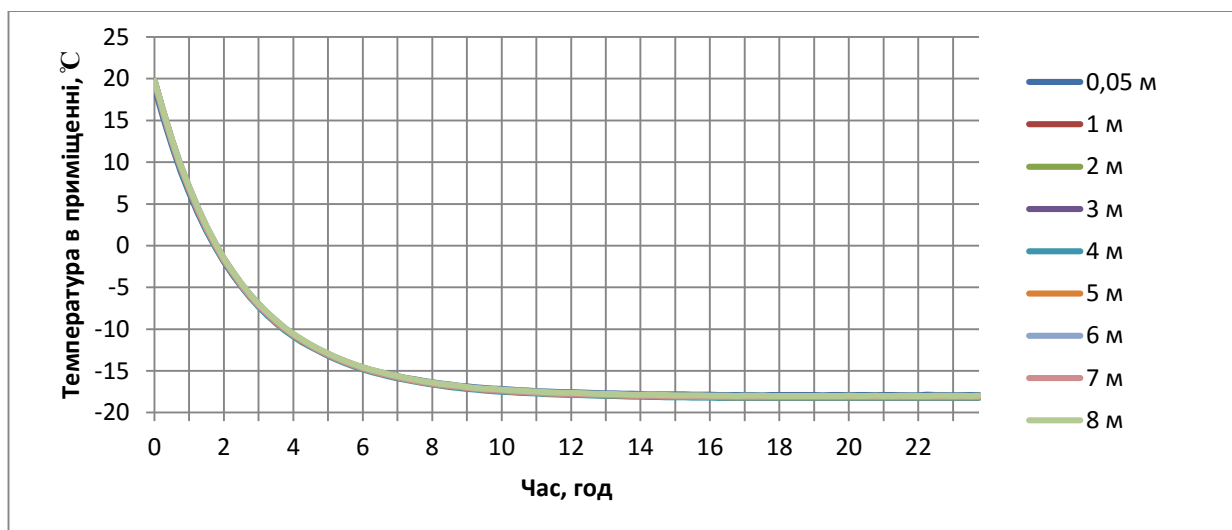


Рисунок 3.18 – Розподіл температури по площинам на різній висоті



Рисунок 3.19 – Розподіл температури по огорожуючих конструкціях

Розглянемо закономірність втрат теплового потоку та розподіл тепловтрат по поверхнях огорожуючих конструкцій при нестационарному процесі охолодження рис 3.21, 3.22.

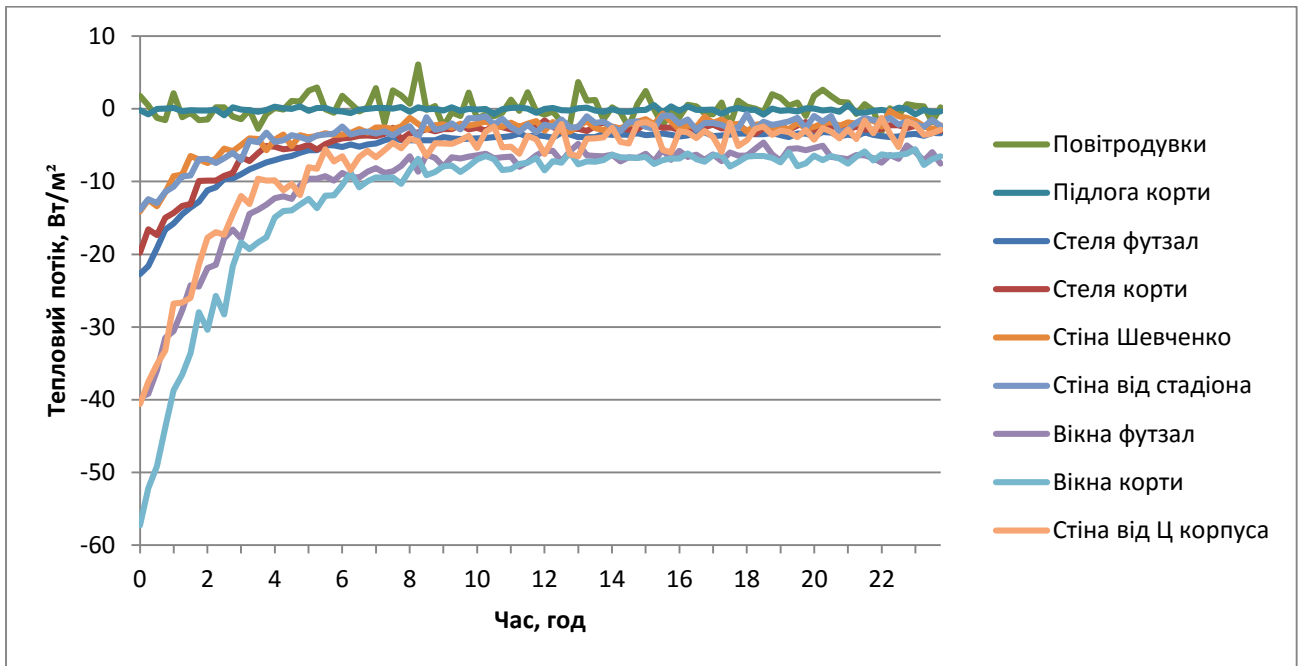


Рисунок 3.21 – Втрати теплового потоку

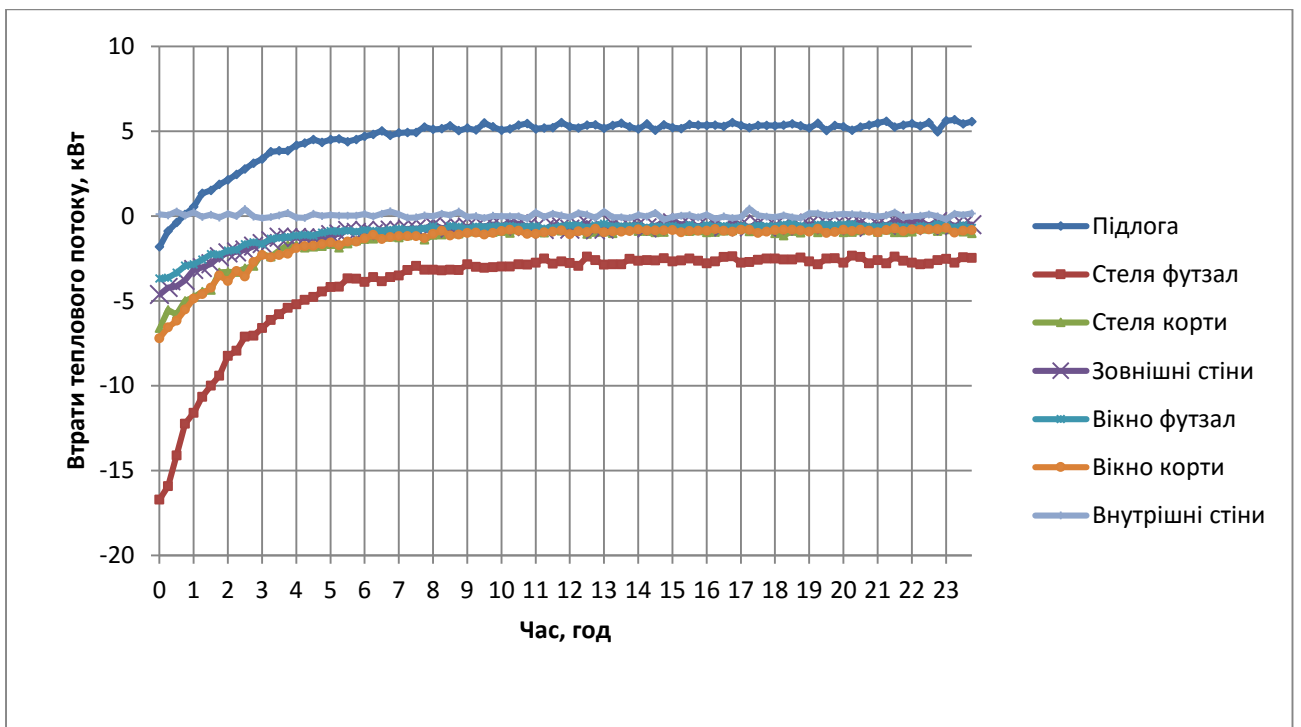


Рисунок 3.22 – Розподіл тепловтрат по поверхнях огороджуючих конструкцій

Проаналізувавши розподіл тепловтрат можемо побачити, що втрати теплового потоку з часом зменшуються, і після 12 годин залишаються сталими. Спостерігається закономірність: чим нижча температура в приміщенні, тим менші втрати теплового потоку.

Щоб побачити інтенсивність охолодження приміщення було побудовано графік відношення зміни температури ΔT до часу Δt за який відбулася зміна температури (рис. 3.23).

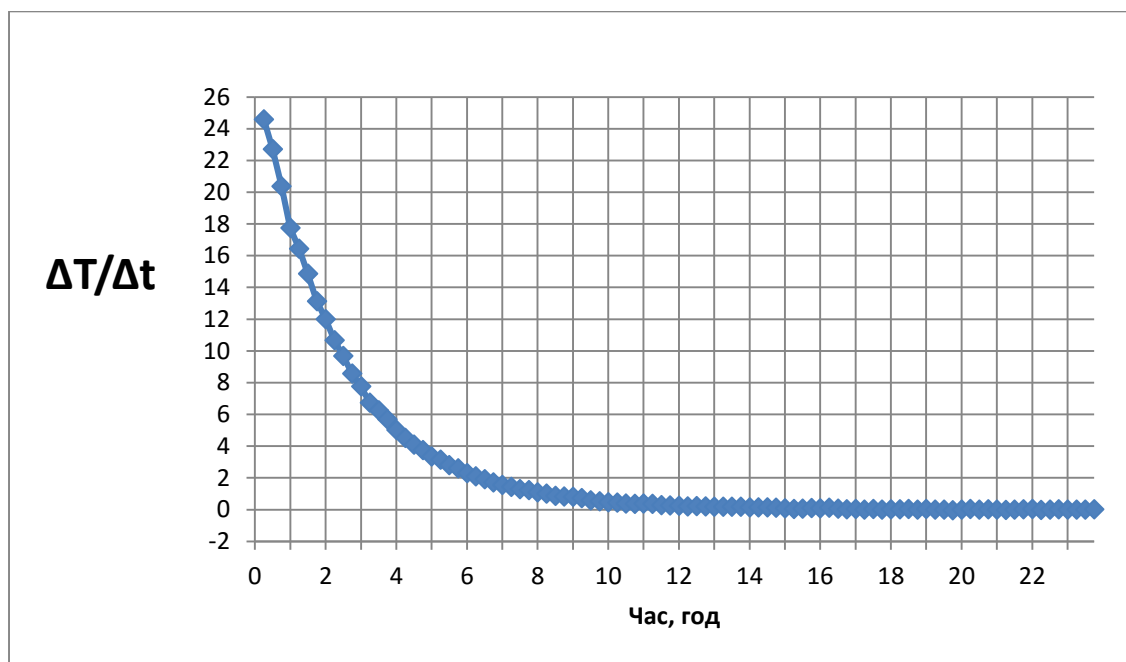


Рисунок 3.23 – Інтенсивність охолодження

Відношення зміни температури до часу, за який відбулася зміна температури показує інтенсивність охолодження приміщення. З графіка видно, що охолодження приміщення найінтенсивніше проходить в момент часу від 0 год до 4 год. Від 4 год до 12 год інтенсивність значно зменшується. Після 12 год інтенсивність охолодження наближається до нуля, тобто виходимо на стаціонарний режим.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера під час роботи на об'єкті

Робота енергоменеджера під час збору інформації про об'єкт енергоаудиту постійно супроводжується різними небезпечними та шкідливими факторами. Перелік шкідливих та небезпечних факторів є великим, залежить від специфіки об'єктів і може відрізнитись на кожному з них.

Основні шкідливі та небезпечні фактори, що можуть супроводжують енергоменеджера під час досліджень на об'єкті:

- робота на висоті;
- механічні чинники (машини, що рухаються, автотранспорт і механізми; рухомі незахищені елементи механізмів; падаючі вироби, інструмент і деталі під час роботи [29];
- робота з електроустановками та електроприладами при проведенні вимірювань на об'єкті;
- проведення досліджень в системах теплопостачання;
- незадовільний мікроклімат (температура, вологість, вентиляція повітря, інфрачервоне або ультрафіолетове випромінювання) в приміщенні [30];
- високий рівень шумів та вібрацій (місцева або загальна);
- недостатнє природне або технічне освітлення в робочих приміщеннях [30].
- хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.
- підвищена запиленість та загазованість повітря
- підвищене ковзання (через зледеніння, зволоження й замаслювання поверхонь, по яких переміщується робочий персонал) [29];
- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші) і продукти їхньої життєдіяльності [29];
- електромагнітні випромінювання.

4.2 Правила виконання робіт на висоті

До виконання робіт на висоті допускаються особи, не молодше 18 років, та які пройшли [31]:

- професійний добір відповідно до Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі, затвердженого спільним наказом Міністерства охорони здоров'я України та Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 23.09.94 N 263/121, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 25.01.95 за N 18/554;

- медичний огляд відповідно до вимог Положення про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 N 45, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21.06.94 за N 136/345 [31];

- спеціальне навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 (далі - НПАОП 0.00-4.36-05) [31];

- навчання та перевірку знань з протипожежної безпеки осіб, які виконують вогневі роботи, відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 N 126, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 04.11.2004 за N 1410/10009 (далі - НАПБ А.01.001-04) [31].

4.2.1. Вимоги безпеки перед початком робіт

Вимоги безпеки праці перед початком робіт на висоті визначаються згідно [32]:

1. Керівник робіт і працівники, які безпосередньо виконують роботи, перед початком робіт повинні [32]:

2. Вивчити документи, які регламентують організацію та технологію виконання робіт (проект виконання робіт, проектно-технічну документацію, наряд-допуск), та інструкції, що діють у межах підприємства.

3. Щоденно перед початком робіт проводити огляд спеціальних страхувальних засобів, що використовуються, із занесенням результатів у журнал (додаток 6) [32].

4. Для попередження перебування сторонніх осіб на робочому майданчику місця проведення робіт необхідно загородити та встановити попереджувальні плакати згідно з вимогами СНиП III-4-80* (у редакції 1989 р.).

5. Роботи слід виконувати, якщо виробничі ділянки укомплектовані засобами пожежогасіння, медичною аптечкою, засобами індивідуального та колективного захисту, обладнанням та інструментами відповідно до технології проведення робіт тощо [32].

У разі відсутності або несправності вищенаведеного обладнання, пристроїв та устаткування роботи виконувати не дозволяється.

6. Перевірити наявність і справність засобів сигналізації та зв'язку.

7. Забезпечити захист від падіння предметів, матеріалів та інструменту з верхніх рівнів. Для запобігання можливому падінню інструменту, матеріалів тощо слід використовувати спеціальні сумки або пристрої для закріплення інструменту і необхідних деталей [32].

8. Застосовувати каски, які відповідають вимогам ГОСТ 12.4.128-83, для захисту голови робітника від механічних пошкоджень предметами, що можуть падати зверху, або при зіткненні з конструктивними та іншими елементами, для захисту від води, ураження електричним струмом.

9. Перевірити справність машин, механізмів, пристроїв та інструменту, що використовуються, відповідно до інструкції з охорони праці, затвердженої керівником підприємства.

10. Працівники, які мають незадовільне самопочуття, керівником робіт до роботи не допускаються [32].

Не допускаються до робіт працівники, що перебувають у стані алкогольного або наркотичного сп'яніння.

4.2.2. Вимоги безпеки під час виконання робіт

Вимоги безпеки праці під час виконання робіт на висоті визначаються згідно [32]:

1. Працівники повинні виконувати тільки ту роботу, щодо якої з ними проведено інструктаж під розписку. Під час виконання робіт слід керуватися відповідними технологічними інструкціями, проектом виконання робіт та інструкціями з охорони праці [32].

2. Слід виконувати всі організаційні та технічні заходи безпеки, передбачені нарядом-допуском і цією інструкцією.

3. Роботи із стропування вантажів дозволяється виконувати особам, які пройшли відповідне навчання і мають посвідчення стропальника відповідно до вимог Типової інструкції з безпечного ведення робіт для стропальників (зачіплювачів), які обслуговують вантажопідіймальні крани (z0372-95), затвердженої наказом Держнаглядохоронпраці України від 25.09.95 N 135 (z0371-95), зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 10.10.95 за N 372/908 (ДНАОП 0.00-5.04-95) [32].

4. Перед тим, як здійснити підймання на висотну споруду або спускання з висотної споруди, керівникові і працівникові слід виконати огляд об'єкта та намітити схему підймання та спускання. У цьому разі можуть бути використані технічні засоби (телевізійні системи, біноклі тощо).

5. Керівник робіт перед підйманням на висотну споруду або спусканням з висотної споруди зобов'язаний перевірити стан елементів споруди, які застосовуються для страхування [32].

6. Страхувальні пояси без амортизатора дозволяється застосовувати тільки для фіксації працівника на робочому місці в умовах, що унеможливають падіння працівника. Під час підймання на висотну споруду або спускання з висотної споруди, а також під час перебування на висоті місце закріплення пояса стропом за елементи конструкції повинно виконуватись таким чином, щоб вільне падіння в екстреному випадку не перевищувало 0,5 м. Страхувальний пояс з амортизатором повинен експлуатуватись на висоті не

менше 4 м над рівнем ґрунту або опорної поверхні, при цьому закріплення карабіном за опорні конструкції повинно виконуватись не нижче рівня кріплення стропа до пояса. Для закріплення стропа до пояса в цьому разі необхідно використовувати наспинний або нагрудний страхувальні вузли [32].

7. ССЗ необхідно використовувати таким чином, щоб у будь-який час було унеможливлено неконтрольоване переміщення працюючого.

8. Необхідність використання відповідних ССЗ визначається з урахуванням технічного стану споруд, де виконуються роботи.

9. Під час виконання робіт на висоті керівник робіт повинен забезпечити виконавців [32]:

- засобами індивідуального захисту;
- додатковими засобами захисту у виробничій зоні, де рівень загазованості або інших шкідливих факторів перевищує встановлені значення гранично допустимих концентрацій;
- вимикання передавальних радіоелектронних засобів (радіо, телевізійних, радіорелейних, радіотрансляційних, радіолокаційних);
- вимикання неізольованих струмопровідних частин діючих електроустановок з напругою вище 25 В, що перебувають під напругою та мають відстань до місця роботи менше допустимої.

10. У разі виконання робіт з вогнем (електрозварювальних, газорізальних тощо), а також електричними інструментами, необхідно застосовувати запобіжні пояси зі стропом із сталевго каната або ланцюга [32].

4.2.3. Вимоги безпеки після закінчення робіт

Вимоги безпеки праці після закінчення робіт на висоті визначаються згідно [32]:

1. Працівникам слід прибрати інструменти, матеріали, засоби індивідуального захисту, розмістивши їх у відведеному для цього місці [32].

2. Керівник робіт повинен перевірити робочі місця та вивести людей із зони виконання робіт.

3. Працівникам про всі помічені недоліки слід сповістити керівника робіт.

4. Працівникам слід виконати технічне обслуговування ССЗ згідно з вимогами технічної документації [32].

4.2.4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях визначаються згідно [32]:

1. У разі виникнення аварії, пожежі або нещасного випадку працівники повинні [32]:

- негайно припинити роботу;
- сповістити керівника робіт або роботодавця;
- ужити (по можливості) заходів усунення небезпеки, що виникла;
- у разі нещасного випадку подати необхідну допомогу потерпілому;
- у всіх нещасних випадках викликати лікаря або відвезти до лікарні.

2. У разі різкої зміни кліматичних умов або інших причин, які змінюють умови виконання робіт, роботу слід припинити. працівників та обладнання і матеріали слід спустити з висоти.

3. У разі незадовільного самопочуття працівника керівник робіт повинен відсторонити його від роботи, і якщо працівник, який відчуває себе незадовільно, перебуває на висоті, керівнику робіт слід ужити заходів з евакуації його з висоти та викликати швидку медичну допомогу [32].

4.3 Порядок евакуації відвідувачів із спортивної споруди під час виникнення пожежі

Евакуації відвідувачів із спортивної споруди повинна відбуватися згідно з планом евакуації (рис 4.1 й рис 4.2).

Під час виконання робіт щодо евакуації людей першочергову евакуацію необхідно проводити з приміщень (секторів), де виникла пожежа, а також з приміщень (секторів), яким загрожує небезпека поширення вогню і диму [33].

Організація евакуації людей влаштовується таким чином, щоб шляхи евакуації глядачів не перетиналися зі шляхами пересування учасників спортивних заходів [33].

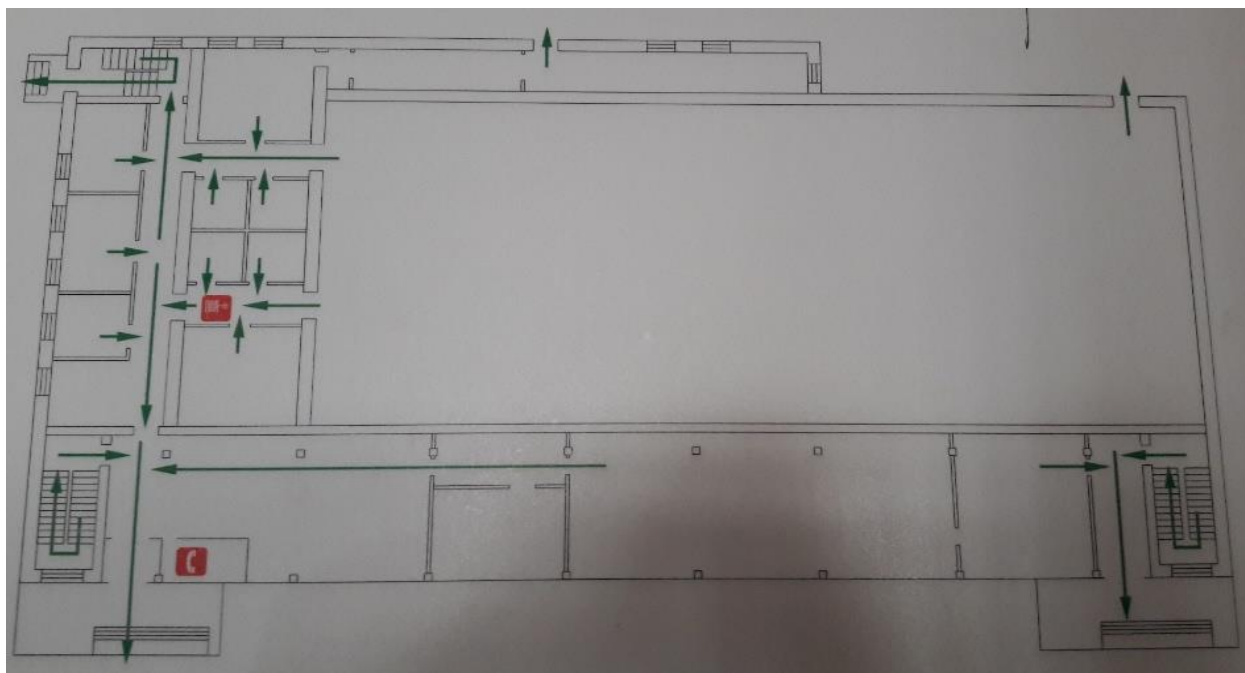


Рисунок 4.1 – План евакуації з 1-го поверху спортивної споруди

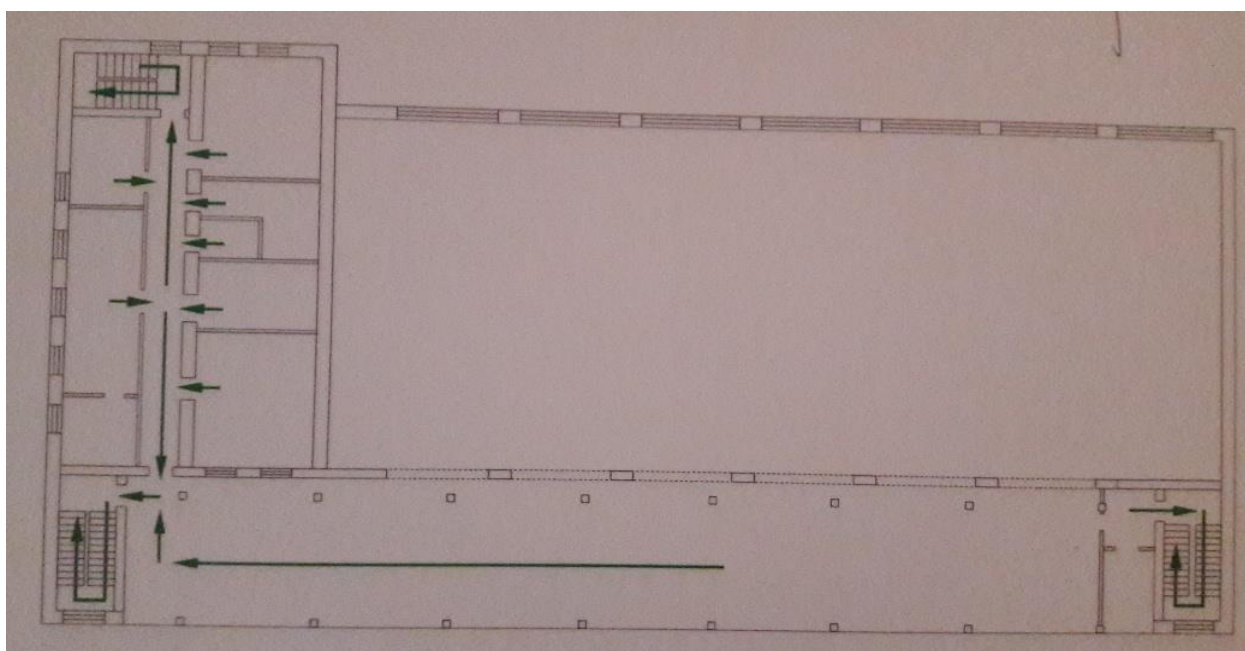


Рисунок 4.2 – План евакуації з 2-го поверху спортивної споруди

ВИСНОВОК

В результаті виконання даної магістерської роботи отримані результати:

1. Розроблена в програмному комплексі ANSYS CFX числова розрахункова модель теплового стану критої спортивної споруди з системою повітряного опалення дозволяє оцінити параметри його теплового стану, а саме: отримати розподіл температури та швидкості руху повітря; визначити значення теплових потоків на поверхнях конструкцій; встановити наявність застійних зон та зон вихроутворення в процесі нагрівання критої спортивної споруди.

2. Отримані аналітичні залежності зміни температури в середині критої спортивної споруди від часу нагрівання спортивної споруди дозволяють проводити оцінку дотримання санітарно-гігієнічних норм критої спортивної споруди. Результати моделювання швидкості прогріву критої спортивної споруди можуть бути використані у якості вихідних даних для проектування режимів та графіків функціонування «чергового опалення» критої спортивної споруди.

3. Розроблена числова модель теплового стану критої спортивної споруди з повітряною системою опалення дозволяє проводити оцінювання забезпечення умов для комфортної життєдіяльності людей у приміщенні, здійснювати аналіз теплового балансу приміщення.

4. Оцінено вплив робочих параметрів системи повітряного опалення (витрати повітря та температури потоку повітря на виході з повітряного опалювача) на внутрішню температуру повітря в приміщенні при змінній температурі зовнішнього середовища, та отримано аналітичну залежність для визначення оптимального режиму роботи повітряної системи опалення критої спортивної споруди.

5. Встановлено, що для рівномірного розподілу температури по об'єму критої спортивної споруди, та зменшення тепловтрат доцільно збільшувати подачу повітряного обігрівача, й знижувати температуру потоку повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. "Енергетичний менеджмент" / Ю.В. Дзядичевич, М.В. Буряк, Р.І. Розум – Тернопіль : Економічна думка, 2010. – 295с.
2. Енергозбереження і енергоефективність-1. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 106 с.
3. Мікроклімат навчальних приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://refs.in.ua/derjavni-sanitarni-pravila-i-normi-dsanpin-5-009-98-vityag.html?page=3>
4. ДБН В.2.2-13-2003. - «Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди» - Київ, 2004. – 102 с.
5. Классификация спортивных сооружений [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу :http://arch-grafika.ru/publ/arkhitekturnoe_proektirovanie/sportivnye_sooruzhenija/1/14-1-0-47
6. Классификация спортивных сооружений [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.thsport.ru/info_docs/poleznie_statji/.
7. Гагин Ю.А. Спортивные сооружения. - М.,ФИС, 1976. /учебник для институтов физической культуры/.
8. Экономный обогрев спортзала [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.ecoheat.ru/company/news/ekonomnyu-obogrev-sportzala/>
9. Отопление спортзала [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.promklimat.ru/Otoplenie-sportzala.htm>
10. Отопление спортзала [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.airfresh.ru/Otoplenie-sportzala.htm>
- 11.Преимущества и недостатки водяного отопления [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу :<http://gscomplect.ru/preimuschestva-i-nedostatki-vodyanogo-otopleniya/>
- 12.Водяное отопление – плюсы и минусы [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу :<https://xn--e1aamjfhft.com.ua/articles/vodjanoje-otoplenie-pljusy-i-minusy/>

13. Воздушное отопление – плюсы и минусы [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : <https://xn--e1aamjjfht.com.ua/articles/vozdushnoe-otoplenie-pljusy-i-minusy/>

14. Опалення [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://ekoalt.com/poslugi/opalenna.html>

15. Водяной теплый пол [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : https://aquarex.ua/vodyanoy_teplyu_pol/

16. Типы теплых полов. сравнение водяного и электрического теплого пола [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : <https://sanpol.ua/ru/library/ob-otoplenii-i-vodosnabzhenii/tipy-teplyh-polov-sravnenie-vodyanogo-i-elektricheskogo-teplogo-pola/>

17. Рейтинг лучших отопительных систем для дома и квартиры [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://vencon.ua/articles/rejting-luchshikh-otopitelnykh-sistem-dlya-doma-i-kvartiry>

18. Чи можуть інфрачервоні обігрівачі замінити стаціонарне опалення в будинку [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://pctech-support.com/68716-can-infrared-heaters-replace-stationary-heating-in-the-house>

19. Отопление инфракрасными обогревателями Билюкс преимущества при отоплении [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://electromax.com.ua/articles/otoplenie-sportivnyix-zalov>

20. ДБН В.2.6-31:2006. - «Теплова ізоляція будівель» - Київ, 2006. – 73 с.

21. Воздушные отопители [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : http://www.frivent-russia.com/equipment/air_heaters/dd/

22. 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.

23. Инженерный анализ в ANSYS Workbench; Учеб. пособ. / В.А.Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А.Солдусова и др., Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2010. – 271 с.

24. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. – 304 с.:іл.

25. Лабай В.Й. Тепломасообмін: Підручник для ВНЗ. – Львів: Тріада Плюс, 2008. – 260 с.
26. 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>.
27. Основі научних досліджень. Руковод. авт. кол. Баранов Е.Г. – Киев; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 176 с.
28. Нестационарный теплообмен [Електронний ресурс]. – режим доступу до ресурсу : <https://studfile.net/preview/5470469/page:18/>
29. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів [Електронний ресурс]. – режим доступу до ресурсу : https://pidruchniki.com/15290527/bzhd/perelik_nebezpechnih_shkidlivih_virobnichih_faktoriv
30. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.sop.com.ua/article/206-qqq-16-m6-13-06-2016-nebezpechn-ta-shkdliiv-virobnich-faktori>
31. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://dnaop.com/html/1582/>
32. Про затвердження інструкції з охорони праці під час виконання робіт на висоті з використанням спеціальних страхувальних засобів (нпаоп 0.00-5.28-03) [Електронний ресурс]. – режим доступу до ресурсу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0970-03>
33. Про затвердження правил пожежної безпеки для спортивних будинків та споруд [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE22115.html
34. Державні будівельні норми України. Опалення, вентиляція та кондиціонування ДБН В.2.5-67:2013. Видання офіційне. Київ. Мінрегіон
35. ДБН 360-92** Містобудування. планування і забудова міських і сільських поселень [Електронний ресурс]. – режим доступу до ресурсу : https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116

36. ВСН 62-91. Проектирование среды жизнедеятельности с учетом потребностей инвалидов и маломобильных групп населения (заменен на СНиП 35-01-2001, кроме требований к специализированным зданиям) [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <http://docs.cntd.ru/document/901704799>

37. ДБН В.2.2-5-97 Захисні споруди цивільної оборони. Будинки і споруди [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-390>

38. СНиП II-12-77 Захист від шуму [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://files.stroyinf.ru/Data1/1/1897/index.htm>

39. СНиП 2.04.05-91 *. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <http://www.vashdom.ru/snip/20405-91/>

40. ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf>

41. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Государственные гигиенические нормативы. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=51187

42. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>

43. САНПИН 42-128-4690-88 Санитарные правила содержания территорий населенных мест [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=51203

44. ВСН 01-89 Предприятия по обслуживанию автомобилей [Электронный ресурс]. – режим доступа до ресурсу : <https://files.stroyinf.ru/data2/1/4294851/4294851707.pdf>