

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**  
другий магістерський  
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз ефективності променевої системи опалення

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449з  
спеціальності 144 Теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Теплоенергетика»

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

Проценко О.А.

(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургії, к.т.н.



В.Р. Румянцев

(посада, ім'я, по батькові, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доцент кафедри ТГЕ

к.т.н., доцент



М.Ю. Бердишев

(посада, ім'я, по батькові, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код та назва)  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
« 03 » грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Проценку Олександрю Анатолійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз ефективності променевої системи опалення

керівник роботи Румянцев Владислав Ростиславович к.т. н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с

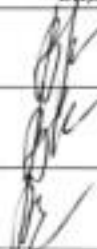
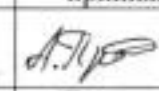
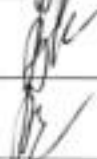


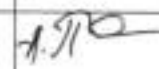
2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020р.

3 Вихідні дані до роботи «темний» U-подібний трубний випромінювач. Висота відбивача 0,18 м. Діаметр гілки пальника 0,1 м. відстань між всіяма симетрії гілок  $S=0,3$  м. Кут нахилу бічних стінок до горизонту  $60^\circ$ .

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз літературних джерел щодо теорії та практики застосування інфрачервоних випромінювачів. 2. Визначення раціональних параметрів випромінювача. 3. Розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Схема «темного» U-подібного трубного випромінювача. 2. Схема розташування інфрачервоних випромінювачів. 3. Температура відбивача при зміні висоти корпусу відбивача. 4. Сумарний тепловий потік при зміні висоти корпусу відбивача. 5. Результуючий тепловий потік від відхідної гілки при зміні висоти корпусу відбивача

## 6 Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 розділ	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		
2 розділ	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		
Охорона праці	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		

7 Дата видачі завдання 1 червня 2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел щодо теорії та практики застосування інфрачервоних випромінювачів	1.06.2020- 1.08.2020	
2	Визначення раціональних параметрів випромінювача.	1.08.2020- 1.10.2020	
3	Розробка заходів з охорони праці і техніка безпеки	1.10.2020- 1.11.2020	
4	Розробка графічного матеріалу	1.11.2020- 1.12.2020	

Студент  О.А. Проценко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  В.Р. Румянцев  
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  Ю.М. Калюков  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Проценко О.А. Аналіз ефективності променевої системи опалення.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник В.Р. Румянцев. Запорізький національний університет. Інженерний навчально – науковий інститут. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

В роботі виконано аналіз літературних джерел щодо ефективності застосування інфрачервоного опалення. Розглянуто вплив інфрачервоних випромінювачів на мікроклімат приміщень і як наслідок на самопочуття людини, що перебуває у них. Встановлено вплив діаметру випромінювача і його висоти відбивача на ефективність променевого опалення. Досліджено температури поверхні відбивача U-подібного «темного» трубного випромінювача.

Ключові слова: променевий теплообмін, кутовий коефіцієнт, інфрачервоний випромінювач, відбивач, корисна потужність, результуючий тепловий потік.

## ABSTRACT

Protsenko O. Analysis of the efficiency of the radiant heating system.

Qualification final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, supervisor V. Rumyansev. Zaporizhzhya National University. Engineering educational and scientific institute. Department of Heat Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The paper analyzes the literature on the effectiveness of the use of infrared heating. The influence of infrared emitters on the microclimate of premises and, as a consequence, on the well-being of the person in them is considered. The effect of the diameter of the radiator and the height of its reflector on the efficiency of radiant

heating has been established. The temperature of the surface of the U-shaped "dark" tube radiator is investigated.

Key words: radiant heat transfer, slope, infrared emitter, reflector, useful power, resulting heat flux.

## АННОТАЦИЯ

Проценко А.А. Анализ эффективности лучистой системы отопления.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель В.Р. Румянцев. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно – научный институт. Кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе выполнен анализ литературных источников по эффективности применения инфракрасного отопления. Рассмотрено влияние инфракрасных излучателей на микроклимат помещений и как следствие на самочувствие человека, находящегося в них. Установлено влияние диаметра излучателя и высоты его отражателя на эффективность лучистого отопления. Исследована температура поверхности U-образного «темного» трубного излучателя.

Ключевые слова: лучистый теплообмен, угловой коэффициент, инфракрасный излучатель, отражатель, полезная мощность, результирующий тепловой поток.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 СИСТЕМИ ПРОМЕНЕВОГО ОПАЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ .....	9
1.1 Вплив ІЧ - випромінювання на організм людини .....	9
1.2 Мікроклімат у виробничих і громадських будівлях .....	16
1.3 Системи променевого опалення будівель .....	22
1.4 Інженерні методи проектування систем променевого опалення .....	32
1.5 Висновки та постановка задачі дослідження .....	34
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ.....	36
2.1 Методика розрахунку кутових коефіцієнтів при опалюванні «темними» U-подібними трубними випромінювачами з однаковими діаметрами .....	36
2.2 Розрахункова оцінка температури поверхні відбивача U-подібного «темного» трубного випромінювача з однаковими діаметрами.....	44
2.3 Корисна промениста потужність U-подібного «темного» трубного випромінювача з однаковими діаметрами гілки пальника та гілки, що відходить .....	48
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	60
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	60
3.2 Виробнича санітарія .....	61
3.3 Електробезпека.....	65
3.4 Пожежна безпека.....	68
3.5 Розрахунок автоматичної установки газового пожежогасіння.....	70
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	77

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Перевагою обладнання систем промінистого випромінювання є підвищення комфорту при їх застосуванні, завдяки однорідності температури на всій поверхні, що обігривається. Також забезпечується висока селективність обігріву приміщення, що веде к додатковому зниженню експлуатаційних витрат.

Важливу роль виграє розташування горілочного агрегату у приміщенні, теплова потужність та його геометричні параметри. Тому виникає необхідність розробки методики розрахунку раціональних параметрів випромінювача, які можуть забезпечити комфортні умови праці на робочому місці.

*Об'єкт дослідження* – процеси теплового випромінювання при роботі інфрачервоних обігрівачів.

*Предмет дослідження :*

- вплив діаметру випромінювача і його висоти відбивача на ефективність променевого опалення;
- дослідження температури поверхні відбивача U-подібного «темного» трубного випромінювача.

*Мета роботи* – є виявлення раціональних параметрів випромінювача для створення комфортних умов у приміщенні.

*Задачі дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі визначено ряд задач:

- розрахунок кутових коефіцієнтів;
- визначення параметрів, що впливають на ефективність процесу променевого теплообміну у U-подібних «темних» трубних випромінювачах;

*Методи та засоби дослідження.* Задачі дослідження виконувались шляхом проведення серії розрахунків. В роботі використані основні теоретичні положення теплообмінних процесів.

*Наукова новизна:*

– встановлено, що зі зменшенням діаметру гілки пальника та висоти відбивача збільшується доля променистої енергії від відбивача на розрахункову поверхню.

*Практична цінність* цієї роботи в наступному:

Набуті результати можуть бути використані при проектуванні систем радіаційного опалення з U-подібними випромінювачами.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені на наступних конференціях: загальноуніверситетській конференції «Молода наука» 2020.

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань. Загальний обсяг сторінок 87.



# 1 СИСТЕМИ ПРОМЕНЕВОГО ОПАЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

## 1.1 Вплив ІЧ - випромінювання на організм людини

Питання виникнення і поширення ІЧ-випромінювання детально висвітлені в роботах Р. Борхерта і В. Юбіца [8], А.В. Афоніна і А.І. Таджібаєва [4], В.М. Богословського [12, 16].

Інфрачервоне випромінювання являє собою електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль  $\lambda$  (0,76...1000) мкм.

Класифікацію випромінювання в залежності від довжини хвилі наводить у своїй монографії Т. Бураковський [3], посилаючись на дані, наведені в словнику [138]. Згідно з цією класифікацією ІЧ-випромінювання поділяють на три діапазони:

- короткохвильовий або ближній (0,76 ...1,4) мкм;
- середньохвильовий або середній (1,4 ... 3 ) мкм;
- довгохвильової або дальній (3...1000) мкм.

Як і будь-яке інше електромагнітне випромінювання, інфрачервоне випромінювання впливає на здоров'я людини. Для організму людини електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль (0,76... 1000) мкм вчені почали вивчати ще в 30-х роках минулого століття.

Автори [44] розглядають питання про величину тепловіддачі людини в навколишнє середовище конвективних, радіаційним теплообміном та випаровуванням - конвективним теплообміном з фазовим переходом, і різко критикують теорію Рубена (1896 г.), в якій, як вважають автори [44], завищена величина тепловиділення людини в стані спокою на  $\sim 30$  % і завищена частка конвективної тепловіддачі по відношенню до тепловіддачі випромінюванням приблизно в 3 рази. Летавет А.А. і Малишева О.Є. роблять правильний висновок про те, що, якщо частка тепловіддачі випромінюванням становить до 60 % в сумарній тепловіддачі, то тепловідчуття людини залежать значною мірою від температури оточуючих його предметів, яку в наш час називають

радіаційної температурою. Також автори [44] своїми експериментами показали, що при радіаційному охолодженні людського тіла, знижується не тільки температура шкіри, але і глибоколежачих тканин, що небезпечно для здоров'я людини. Таким чином, вже в 30-х-початку 40-х років минулого століття був зроблений важливий висновок про те, що при встановленні санітарно-гігієнічних норм треба враховувати оточення людини не тільки повітряним середовищем, а й твердими огорожами, температура яких істотно впливає на мікроклімат в приміщеннях всіх типів: житлових, громадських і виробничих. При цьому було показано, що зниження температури огорожень сприятливо позначається на комфортних відчуттях людини. Подальші дослідження в цьому напрямку провели Н.К.Пономарьова [45], Н.Б. Царюк [46] та інші вчені, які прийшли до аналогічних висновків.

Вплив інфрачервоної радіації на організм людини досліджено в роботах [47-57]. У своєму огляді кандидат медичних наук Ю.Д. Губернський [48] зазначає, що біологічну дію енергії випромінювання залежить від спектрального діапазону електромагнітних хвиль, інтенсивності і часу дії випромінювання. Весь діапазон інфрачервоного випромінювання розділений на діапазон (0,76...1,5) мкм і (1,5...420) мкм. Короткі промені (промені Фохта) з довжиною хвилі  $\lambda < 1,5$  мкм глибоко проникають в шкіру людини, викликають катаракту очей і з цього роблять на організм людини різко негативний вплив.

Довгі інфрачервоні промені з довжиною хвилі  $\lambda > 1,5$  мкм не викликають катаракти, не проникають глибоко в шкіру людини і надають парниковий ефект сприятливий для людини. Далі Ю.Д. Губернський зазначає, що біологічний вплив досліджувався найчастіше при  $\lambda = 1,1$  мкм,  $\lambda = 3$  мкм,  $\lambda = 4,5$  мкм, а біологічний вплив інфрачервоного випромінювання  $\lambda = (8...10)$  мкм до 1965 року не отримало належного розгляду. Губернський Ю.Д. також зазначає, посилаючись на роботи В.А. Левицького, який впровадженням променистого опалення займався ще в 30-ті роки ХХ століття, що ІЧ-

випромінювання може надавати і позитивний біологічний ефект. В огляді [48] на основі наукових досліджень, виконаних в 60-ті роки, теж відзначено, що:

- збудливий ефект мав місце при малих дозах ІК випромінювання, а великі дози - викликали депресію;
- при впливі ІЧ-випромінювання шкідливими для організму людини є як втрати тепла випромінюванням, так і радіаційний перегрів;
- за даними різних дослідників оптимальні умови теплообміну при променистому опаленні існують при різних температурах. Наприклад, при розміщенні ІЧВ на стелі їх температура повинна лежати в інтервалі (30...35) °С;
- дослідження в області променистого опалення повинні бути розвинені з урахуванням спектрального складу випромінювання, тривалості випромінювання і розмірів ділянки, що опромінюють тіло;
- ряд авторів пропонує температуру повітря, яке вдихає людина, підтримувати на рівні всього 10 °С, тому що в цьому випадку поліпшується робота легенів людини і спостерігається відчуття свіжості і комфорту;
- остаточні значення температури повітря при променистому опаленні вимагає подальшого експериментального дослідження.

Зауважимо, що згідно з рекомендаціями [2] температуру повітря в робочій зоні можна знизити на (3...4) °С по відношенню до температур, зазначеним в СНП [109, 118, 119].

Ковальовим А.Є. [49, 128] запропонована методика визначення фізіологічно обґрунтованого променистого теплового потоку на тіло людини з урахуванням термічного опору його одягу і рухливості повітря. Методика заснована на розрахунку необхідного променистого теплового потоку, який компенсує різницю між тепловтратами людини при фактичній і комфортній температурах повітря. У розрахунках [49, 128] прийнято значення коефіцієнта сумарної тепловіддачі від тіла людини рівним 10,8 Вт/(м·К).

Питанням, а як розраховувати величину впливу інфрачервоного випромінювання на організм людини, задався Олексієнко Е.А. в статті [51].

Він справедливо критикує дискретну методику вимірювання опромінення людини, тому що така методика необ'єктивна, тому що може давати результати опромінення ІЧВ як відповідні санітарним нормам, так і не відповідні цим нормам в залежності від моменту вимірювання. Природно середня інтегральна величина падаючого радіаційного теплового потоку дає об'єктивні значення опромінення. Однак для впровадження методики Олексієнко Е.А. в практику вимірювань необхідно застосовувати спеціальні інтегратори (накопичувачі) інформації, оскільки «ручний» спосіб обчислення інтегральних значень за наближеною формулою Сімпсона досить трудомісткий.

У роботі А.А. Нічкова [52], як і у Е.А. Олексієнко [51], пропонується для оцінки впливу інфрачервоного випромінювання на організм людини застосовувати інтегральний метод або за термінологією автора «метод по дозі». Суть методу полягає в безперервному вимірі шкідливого фактора на організм людини за час дії цього фактора. При цьому дозу фактора розраховують по очевидною формулою

$$D_F = \int_{t_0}^{t_n} F(t)dt, \quad (1.1)$$

а середнє значення фактора за цією формулою

$$F_{cp} = \frac{1}{t_n - t_0} \int_{t_0}^{t_n} F(t)dt. \quad (1.2)$$

Якщо в роботі [51] зміна в часі шкідливого фактора - щільності потоку падаючого випромінювання визначена експериментально, то Л.А. Нічкова в своїх подальших роботах [53, 54, 170] робить спробу створити методику розрахунку опромінення людини від одного джерела випромінювання [53] і декількох джерел [54], але робить це вкрай невдало. Запозичуючи теорію радіаційного теплообміну у авторів 50-х років і технічну систему одиниць, автор [53, 54] «створює» примітивну і раніше описану в літературі з тепломасообміну модель, яка не має ніякої наукової новизни. У статті цього ж

автора [55], що вийшла в 2011 році, експериментально показано шкідливий вплив на кров ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda = 0,95$  мкм при щодо малих щільності теплового потоку (140... 250) Вт/м<sup>2</sup>.

У статті Рахімова Р.Х. і Тихонової М.М. [56] висвітлені аспекти теплового лікування ІЧ - випромінюванням. Дана коротка методична довідка щодо застосування інфрачервоного випромінювання для лікування ряду захворювань: ударів, синців, захворювань грудної клітки, допоміжних процесів нервової і м'язової тканин, келоїдних рубців і т.д. Було доведено [56] не тільки опосередкований вплив ІЧ-випромінювання на людину шляхом створення градієнта температур на його шкірі, але і біологічний вплив даного випромінювання на рослини і живі організми. Однак інфрачервоне випромінювання короткохвильового спектра надає різко негативну дію на людину і, особливо, на очі [22, 47].

В даний час [56] інтерес до використання ІЧ-випромінювання в терапевтичних цілях зростає. Людський організм, як і будь-яке інше тіло, поглинає падаюче на нього випромінювання в усьому спектральному діапазоні довжин хвиль і сам є джерелом теплового випромінювання з довжиною хвилі, що дорівнює за законом зміщення Віна

$$\lambda = \frac{2900}{t_{\text{люд}} + 273,15} = \frac{2900}{36,6 + 273,15} = 9,36. \quad (1.3)$$

Згідно із законом Планка квантова енергія випромінювання обернено пропорційна довжині хвилі, тому випромінювання з енергією вище, ніж енергія випромінювання самого об'єкту (при  $\lambda < 9,36$  мкм) може провокувати розвиток різних каталітичних процесів. Це гамма рентгенівські промені, ультрафіолетові промені, інфрачервоні короткохвильові промені (до  $\lambda < 1,4$  мкм). Випромінювання довгого спектра ( $\lambda > 9,36$  мкм) має квантову енергію менше квантової енергії випромінювання людини і не може надавати негативного впливу на організм людини, а навпаки встановлено, що даний вид ІЧ-випромінювання стимулює регенерацію біологічних тканин організму. Розробкою спеціальних керамічних матеріалів для створення вузько

спрямованого випромінювання великого спектру займаються вчені інституту матеріалознавства Академії Наук Республіки Узбекистан [40]. Дане вузькоспектральне випромінювання уповільнює запальні процеси і значно підвищує ефективність проведеної терапії, що сприяє скороченню часу одужання.

У доповіді В.Я. Бичкова [50], зробленому на V міжнародній науково - практичній конференції в Московському інституті сталі і сплавів в 2008 році, діапазон ІЧ-випромінювання розділений на 3 області в залежності від довжини хвилі:

- ІЧ-А інтервал  $\lambda = 0,48 \div 1,4$  мкм;
- ІЧ-В інтервал  $\lambda = 1,4 \div 3,0$  мкм;
- ІЧ-С інтервал  $\lambda = 3,0 \div 30$  мкм.

Як порогового межі впливу (ППВ) автор [50] приймає інтервал довжин хвилі (0,48...1,4) мкм, тому що випромінювання цього інтервалу проходить не тільки крізь шкіру, але і через кістки, очі і мозок людини. Зауважимо, що діапазон довжин хвиль (0,4...0,76) мкм відноситься до видимої частини спектра.

Приклади ефективного застосування ІЧ-випромінювання в сільському господарстві докладно описані в огляді дисертації А.А. Пенкіна [81]. Інфрачервоне випромінювання сприятливо позначається на зберіганні зернових культур і при вирощуванні домашньої птиці і тварин.

У статті Л.А. Гвозденко [47] наведені результати власних експериментальних досліджень впливу ІЧ - випромінювання на здоров'я людини (патологія серцево-судинної системи, захворювання центральної нервової системи, шлунково-кишкового тракту, алергічних захворювань та захворювань органів зору) в залежності від складу випромінювання і його інтенсивності.

Залежно від складу випромінювання виділено чотири групи джерел:

- група Ia  $t = (35 \dots 300) \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = (5,8 \dots 9)$  мкм;
- група Ib  $t = 300 \div 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = (3,5 \dots 5)$  мкм;

- група Ів  $t = 700 \div 1000$  °С,  $\lambda = (2,5 \dots 3,5)$  мкм;
- група Іг  $t = 1000 \div 1500$  °С,  $\lambda = (0,76 \dots 2,5)$  мкм.

Експеримент з опромінювання спектральним складом для всіх чотирьох груп був виконаний на добровольцях. В результаті своєї дуже цікавої роботи Л.А. Гвозденко [47] наводить дані про величину допустимого опромінення при двох параметрах теплового захисту людини (див. таблицю 1.1).

Таблиця 1.1 - Допустиме опромінення

$\lambda_{\max}$ , мкм	Інтенсивність випромінювання (Вт/м <sup>2</sup> )	
	0,6...0,8	>1
1,5	35,0	65,0
3,0	50,0	100,0
4,5	75,0	140,0
6,0	100,0	120,0

Дані таблиці 1.1 показують, що вимоги по опромінення, запропоновані Л.А. Гвозденко, є більш жорсткими у порівнянні з вимогами нормативного документа ГОСТ 12.1.005-88 [106, 117].

В.В. Язовцев в своїй статті [57] розглядає питання розміщення високотемпературних інфрачервоних випромінювачів в опалювальному приміщенні з урахуванням впливу на організм людини. Так для відсутності негативного впливу В.В. Язовцев [57] пропонує розміщувати ІЧВ на висоті не більше (3,5...4) м від поверхні підлоги, посилаючись на дані виробників променистих опалювальних панелей. А автори статті [169] відзначають лікувальні властивості інфрачервоного випромінювання, особливо виділяючи неінвазивність і безболісність при лікуванні ІЧ - променями.

Питаннями процесів, що відбуваються в пальниках газових ІЧВ, займалися автори книг [13, 14] і статті [37]. Вимоги до пальників інфрачервоного випромінювання, що застосовуються в високотемпературних опалювальних приладах, викладені в ГОСТ 25696-83 [105].

## 1.2 Мікроклімат у виробничих і громадських будівлях

Комфортні для людини умови визначаються оптимальними параметрами мікроклімату, значення яких регламентуються рядом нормативних документів [106, 109, 110, 111, 113, 117, 119, 120, 121, 122]. Стосовно до систем інфрачервоного опалення з високотемпературними випромінювачами слід керуватися наступними: СНіП 4101-2003 [110], ГОСТ 12.1.005-88 [106, 117], СанПіН 2.2.4.548-96 [119], ППБ 01 - 03 [74], НПБ 105-03 [120] і НПБ 252-98 [168].

Проблемою визначення комфортних умов займалися багато вітчизняних і зарубіжних вчених: Батурин В.В. [9], Богословський В.Н. [12, 16, 26, 76, 155], Богуславський Л.Д. [2, 15], Сканаві А.Н. [17, 18, 21, 26, 76], Табунників Ю.А. [27 - 29, 171], Бродач М.М. [28,], Мачкаші А. [22], Банхіді Л. [22], Фангер П. [25].

Згідно із загальноприйнятим підходом до гігієнічної оцінки комфортності [2, 12, 16, 17, 18, 22, 25, 28, 102] тепловий стан людини перевіряють на виконання умов комфортності, а також складають тепловий баланс людини. Перша умова комфортності, описане в книзі В.М. Богословського [16], дозволяє знайти таке значення температури в приміщенні, при якому людина, що знаходиться в середині приміщення, не відчуває перегріву або переохолодження. Для умов холодної пори року перша умова комфортності може бути записана у вигляді, °С

$$t_R = 1,57 \cdot t_n - 0,057 \cdot t_B \pm 1,5, \quad (1.4)$$

де  $t_R$  - радіаційна температура в приміщенні, що визначається за формулами, запропонованими в [16], °С;

$t_n$  - температура приміщення (вибирається в залежності від видів виконуваної роботи), °С;

$t_B$  - температура повітря в приміщенні, °С.



Друга умова комфортності визначає комфортний тепловий стан людини, що знаходиться біля нагрітих або охолоджених поверхонь. Оскільки при стельовому опаленні найбільший тепловий потік надходить на поверхню голови людини, то допустима температура опалювального приладу (з умови відстані між опалювальним приладом і головою людини 1 м) не повинна перевищувати [16]:

$$t_{\text{п}}^{\text{доп}} \leq \frac{19,2+8,7}{\varphi_{\text{ч-п}}}, \quad (1.5)$$

де  $t_{\text{п}}^{\text{доп}}$  - допустима температура нагрітої поверхні на відстані 1 м від людини, °С;

$\varphi_{\text{ч-п}}$  - кутовий коефіцієнт з елементарної площі поверхні тіла людини на нагріту поверхню.

Для поверхні підлоги допустима температура, °С

$$t_{\text{пл}}^{\text{доп}} \leq 55,7 - 1,63 \cdot t_{\text{в1}}, \quad (1.6)$$

де  $t_{\text{пл}}^{\text{доп}}$  - допустима температура підлоги, °С;

$t_{\text{в1}}$  - температура повітря в приміщенні на відстані 1 м від поверхні підлоги, °С.

Для визначення комфортності перебування в приміщенні необхідно з рівняння теплового балансу людини знайти значення надлишку (нестачі) тепла в організмі людини за формулою [12]:

$$Q_{\text{ч}} \pm Q_{\text{ч}}^{\text{к}} \pm Q_{\text{ч}}^{\text{л}} - Q_{\text{ч}}^{\text{и}} - Q_{\text{ч}}^{\text{р}} - Q_{\text{ч}}^{\text{ф}} \pm \Delta Q_{\text{ч}} = 0, \quad (1.7)$$

де  $Q_{\text{ч}}$  - загальна кількість енергії, що виробляється організмом людини, Вт;

$Q_{\text{ч}}^{\text{к}}, Q_{\text{ч}}^{\text{л}}, Q_{\text{ч}}^{\text{и}}$  - складові теплообміну людини конвекцією, випромінюванням і за рахунок витрат тепла на випаровування вологи, Вт;

$Q_{\text{ч}}^{\text{р}}$  - витрата тепла на механічну роботу, Вт;

$Q_{\text{ч}}^{\phi}$  - тепло, що витрачається на фізіологічні процеси (нагрівання вдихуваного повітря, обмін речовин і т.д.), Вт;

$\Delta Q_{\text{ч}}$  - надлишок або недолік тепла в організмі людини, Вт.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 [106, 117] виробничі приміщення - замкнуті простору в спеціально призначених будинках та спорудах, в яких постійно (по змінах) або періодично (протягом робочого дня) здійснюється трудова діяльність людей. Даний документ визначає оптимальні та допустимі параметри мікроклімату повітря робочої зони виробничого приміщення на постійних і непостійних робочих місцях.

При цьому під мікрокліматом виробничого приміщення розуміють метеорологічні умови внутрішнього середовища виробничих приміщень, які визначаються діючими на організм людини поєднаннями температури, відносної вологості, рухливості повітря і теплового випромінювання [106, 117]. Постійним називається робоче місце, на якому працівник перебуває більшу частину свого робочого часу (понад 50 % або більше 2 годин безперервно). Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, постійним робочим місцем вважається вся зона [106, 117].

Встановлення оптимальних і допустимих параметрів мікроклімату в конкретному приміщенні здійснюється відповідно до вищезазначеного ГОСТом в залежності від категорії робіт, які виконуються в приміщенні. Категорія робіт - розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму в ккал/год (Вт), визначається за додатком 1 ГОСТ 12.1.005-88 [106, 117].

Допускається перепад температур повітря по висоті робочої зони до 3 °С при всіх категоріях робіт, а по довжині і ширині приміщення температурний перепад в залежності від категорії робіт становить не більше (4... 6) °С. Температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій не повинна відрізнятися більш ніж на 2 °С від оптимальних показників, а температури поверхонь технологічного обладнання та огорожуючих його пристроїв не повинна бути більше 45 °С. При цьому обмеження по температурі

поверхонь опалювальних приладів даним документом не регламентуються [106, 117]. Застосування допустимих систем опалення в виробничих приміщеннях встановлено СНіПом 41-01-2003 [110] в залежності від категорії приміщення щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки, установлюють в НПБ 105 - 03 [120].

Крім цього, ГОСТом 12.1.005 - 88 [106, 117] встановлено граничні значення щільності променистих теплових потоків, що падають на працюючих в приміщенні людей.

Дані про граничні значення інтенсивності теплового опромінення показані в таблиці 1.2.

При роботі з відкритими джерелами теплового опромінення: нагрітий метал, скло, "відкрите" полум'я та інші, інтенсивність теплового опромінення не повинна перевищувати  $140 \text{ Вт/м}^2$ , і опроміненню повинно підлягати не більше 25 % поверхні тіла. Обов'язковою є використання засобів індивідуального захисту обличчя та очей.

Таблиця 1.2 - Значення допустимих щільності потоків опромінення

Частка площі поверхні тіла, яка опромінюється %	Інтенсивність теплового опромінення, $\text{Вт/м}^2$
більше 50	не більше 35
від 25 до 50	не більше 70
менше 25	не більше 100

При використанні в якості опалювальної системи апаратів, що працюють з виділенням шкідливих речовин, необхідно керуватися ГОСТ 12.1.005 - 88 [106, 117] в частині утримання в повітрі робочої зони гранично допустимих концентрацій (ГДК) різних речовин. Наприклад, ГДК оксидів азоту (в перерахунку на  $\text{NO}_2$ ) не повинна перевищувати  $5 \text{ мг/м}^3$ , а ГДК оксиду вуглецю повинна становити не більше  $20 \text{ мг/м}^3$ . Якщо в повітрі робочої зони

містяться речовини односпрямованого дії, то сума концентрації 1 - ої речовини віднесеної до ГДК 1 - ої речовини не повинна перевищувати одиниці.

Положення на вимогу до мікроклімату виробничого приміщення, зазначені в СанПіН 2.2.4.548 - 96 [119] в цілому відповідають вимогам, які пред'явлені в ГОСТ 12.1.005 - 88 [106, 117]. Однак документ містить характеристики окремих категорій робіт і формулу для визначення індексу теплового навантаження середовища (ТСН - індекс), а також рекомендовані величини ТСН - індексу в залежності від категорії робіт за рівнем енерговитрат. У СанПіН 2.2.4.548 - 96 [119] наведені дані про рекомендований час перебування людини в робочій зоні при відхиленні температури повітря від допустимих величин (від 6 °С до 32,5 °С).

Основним документом, що встановлює вимоги до повітря приміщень громадських будівель, є ГОСТ 30494 - 96 [116]. Відповідно до цього документа в обслуговуваній зоні громадського приміщення необхідно забезпечити оптимальні або допустимі параметри мікроклімату. При цьому під обслуговується зоною розуміють [116] простір в приміщенні, яке обмежене площинами, паралельними підлозі і стінам на висоті 0,1 м і 2 м від рівня підлоги, але не ближче, ніж 1 м від стелі (при стельовому опаленні), на відстані 0,5 м від внутрішніх поверхонь зовнішніх і внутрішніх стін, вікон і опалювальних приладів.

Локальна асиметрія результуючої температури повинна бути не більше 2,5 °С для оптимальних і не більше 3,5 °С для допустимих показників. При цьому під локальною асиметрією розуміють різницю результуючих температур в точці приміщення, визначених кульовим термометром для двох протилежних напрямків [116].

При забезпеченні показників мікроклімату в різних точках обслуговується зони допускається [116]:

- перепад температури повітря не більше 2 °С для оптимальних показників і 3 °С - для допустимих;

- перепад результуючої температури приміщення по висоті зони, що обслуговується, не більше 2 °С;

- зміна швидкості руху повітря не більше 0,07 м/с для оптимальних показників і 0,1 м/с - для допустимих;

- зміна відносної вологості повітря не більше 7 % для оптимальних показників і 15 % для допустимих.

У громадських будівлях в неробочий час допускається знижувати показники мікроклімату за умови забезпечення необхідних параметрів до початку робочого часу [116].

При проектуванні і експлуатації опалювальних систем з інфрачервоними високо-температурними випромінювачами необхідно керуватися також СНіП 41-01-2003 [110], ППБ 01-03 [74], НПБ 252 - 98 [166] і НПБ 105-03 [120].

СНіП 41-01-2003 [110] встановлює можливість застосування кожного виду систем опалення в залежності від типу джерела теплопостачання. Системи опалення з високотемпературними газовими і електричними інфрачервоними випромінювачами допустимо застосовувати в спортивних залах (в тому числі громадських та адміністративних будівель), приміщеннях громадського харчування (крім ресторанів) і торгових залів (крім сховищ легкозаймистих матеріалів), приміщеннях категорій Г і Д, а також в окремих приміщеннях (крім приміщень категорій А, Б і В) і опалення окремих робочих місць в неопалюваних і опалюваних приміщеннях.

Опалення газовими приладами в будинках III і IV і V ступеня вогнестійкості не допускається.

Приміщення категорії Г відповідно до НПБ 105-03 [120] - приміщення, в якому знаходяться негорючі речовини і матеріали в гарячому, розпеченому або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я, а також горючі гази, рідини або тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

Приміщення категорії Д відповідно до НПБ 105-03 [120] - приміщення, в якому знаходяться негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

НПБ 252-98 [166] поширюється на теплогенеруючі апарати потужністю до 100 кВт. Згідно з цим нормативним документом температура поверхні нагрівачів не обмежується. Однак випромінювачі слід встановлювати на такій висоті, при якій поверхню предметів, розташованих в приміщенні нагрівається не більше ніж на 50 °С. Для безполуменевий апаратів інфрачервоного випромінювання не повинно спостерігатися на поверхні випромінювачів язиків полум'я або темних плям.

При цьому під апаратом інфрачервоного випромінювання розуміють теплогенеруючий апарат, частка тепла якого, передана випромінюванням, становить не менше 35 % від загальної теплової потужності [166].

Крім цього, апарати, що підвішуються на висоті 2,2 м і більше, повинні мати пристрої для дистанційного розпалу й контролю полум'я і повинні бути оснащені засобами автоматичного захисту незалежно від потужності апарату.

Згідно НПБ 105-03 [120] пересувні і стаціонарні пальники інфрачервоного випромінювання повинні бути обладнані автоблокуванням, припиняє подачу газу при згасанні пальника.

Для існуючих систем опалення при оцінці параметрів мікроклімату і теплового комфорту в приміщенні необхідно керуватися також МУК 4.3.1895-04 [174], що містять комплекс показників для оцінки теплового стану людини, а також СанПіН 2.1.2.1002 [118].

### 1.3 Системи променевого опалення будівель

При променистому опаленні основна частка теплової енергії (понад 35 %) надходить в опалювальну зону приміщення за рахунок теплового випромінювання Принцип дії променистих опалювальних приладів докорінно відрізняється від принципу дії приладів систем водяного, парового і повітряного опалення. Теплова енергія з поверхні інфрачервоного

випромінювача надходить на предмети за рахунок радіаційного теплообміну, а потім від предметів за допомогою конвективного тепловіддачі нагрівається повітря робочої (обслуговується) зоні. При такому способі опалення випромінювачі мають розташовувати на стелі або на стінах під кутом до поверхні підлоги.

На рисунку 1.1 показано співвідношення конвективної і променевої тепловіддачі при різних способах опалення за даними А. Мачкаші і Л. Банхиді [22].

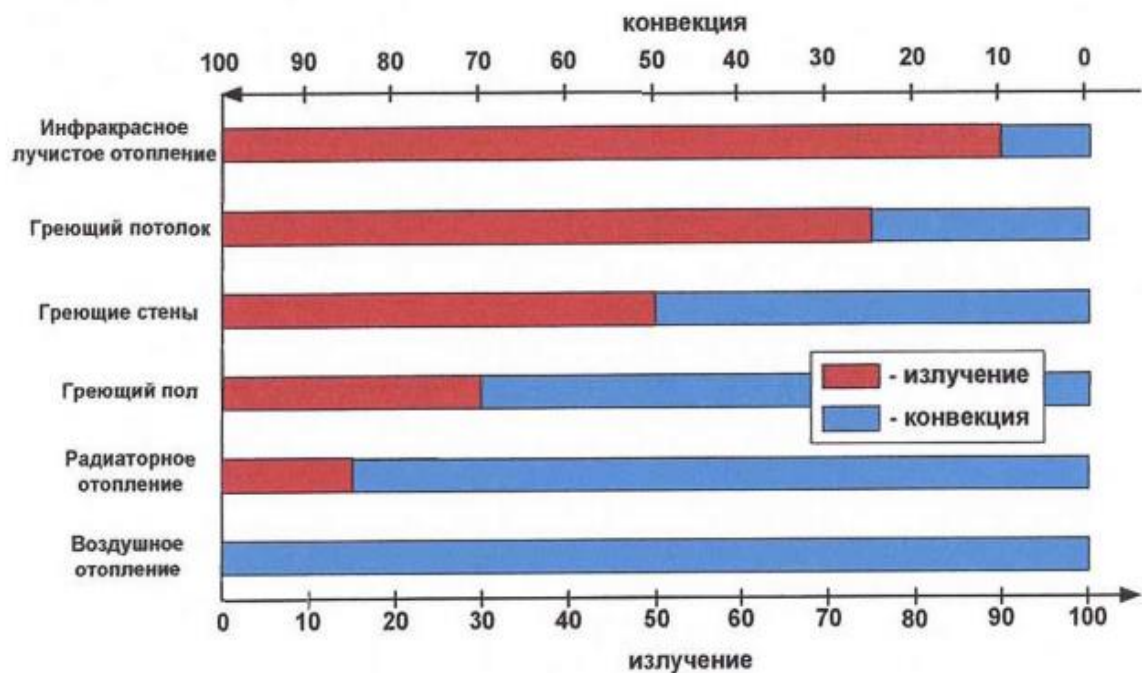


Рисунок 1.1 - Співвідношення конвективної і променевої тепловіддачі при різних способах опалення за даними А. Мачкаші і Л. Банхиді [22]

Інфрачервоне випромінювання - різновид електромагнітного випромінювання, яке займає в спектрі електромагнітних хвиль діапазон від 0,76 до 1000 мкм [4]. При цьому більшість вчених виділяють 4 області в інфрачервоному спектрі:

- ближня область  $\lambda = (0,76 \dots 3,0)$  мкм;
- середня  $\lambda = (3 \dots 6)$  мкм;
- далека  $\lambda, = (6 \dots 15)$  мкм;
- наддалекі області  $\lambda = (15 \dots 1000)$  мкм.

Однак польські вчені [3] область інфрачервоного випромінювання поділяють на 3 діапазони:

- короткохвильовий (ближній)  $\lambda = (0,76 \dots 1,4)$  мкм,
- середньохвильовий (середній)  $\lambda = (1,4 \dots 3,0)$  мкм;
- довгохвильовий (дальній)  $\lambda = (3,0 \div 1000)$  мкм.

Основна частка енергії теплового випромінювання переноситься інфрачервоним випромінюванням в діапазоні довжин хвиль  $(0,76 \dots 15)$  мкм. Зауважимо, що ряд вчених приймають інше значення верхньої межі ІЧ спектру [48].

Інфрачервоне випромінювання, як і будь-який електромагнітне випромінювання, поширюється прямолінійно (в вакуумі зі швидкістю світла) і підпорядковується оптичним законам відбиття і заломлення.

Тема променистого опалення будівель знайшла відображення в роботах ряду вітчизняних [6, 9, 10, 13, 14, 15, 26, 41, 43, 127] і зарубіжних [3, 5, 8, 22, 23, 71, 72, 126] авторів. Класифікація та основні характеристики променистих опалювальних приладів висвітлені в роботах І. Бураковського, Е. Гізіньського, А. Саля [3], В. З. Гуревича [9], Б. С. Іціксона і Ю. Л. Денисова [10]. Роботи А. К. Батьківщина [13, 14] присвячені класифікації і характеристикам пальників інфрачервоного випромінювання. Найбільш повна класифікація систем променевого опалення приведена у праці А. Мачкаші і Л. Банхиді [22]. Згідно [22] класифікацію променистих опалювальних приладів слід, в першу чергу, проводити по температурі поверхні приладу променистого опалення. Відповідно до цієї класифікації опалювальні прилади поділяють на прилади з низькою (не більше  $70^\circ\text{C}$ ), середньої (від  $70^\circ\text{C}$  до  $200^\circ\text{C}$ ) і високою (понад  $200^\circ\text{C}$ ) температурою поверхні нагрівача.

Променисті опалювальні прилади [22, 23] з низькою температурою поверхні поділяють на прилади з малої і великої тепловою інерцією. Опалювальні прилади з низькою температурою поверхні являють собою труби, вмонтовані в шар бетону або штукатурки, і можуть бути виконані з бетонних або металевих панелей. Системи опалення з даними приладами



називають панельно-променистими. При цьому бетонні панелі в основному розміщують на підлозі або стінах, а металеві - на стелі [21]. Тому системи променевого опалення з низькотемпературними приладами класифікують також на стельові, стінні і підлогові [76]. Прилади з малою тепловою інерцією конструктивно практично не відрізняються від приладів з великою тепловою інерцією. Однак для зниження інерційності системи в перших застосовують сталеві листи [22], з'єднані з трубами, по яких йде теплоносій, або монтують в шарі штукатурки (а не в шарі бетону). Опалювальні труби виконують з металу або поліетилену [19] і застосовують в більшості випадків в житлових і громадських будівлях. Застосування подібних систем опалення в виробничих будівлях доцільно тільки в разі, якщо пред'являються підвищені вимоги до санітарно-гігієнічної обстановці в приміщенні [19].

Опалювальні прилади із середньою температурою поверхні розміщують на стелі і забезпечують температуру приладу (від 70 °С до 200 °С) за допомогою опалювального екрану.

Розглянуті групи приладів мають ряд переваг [19] перед системами конвективного опалення: підвищення санітарно-гігієнічних показників в опалювальному приміщенні, звільнення площ, мала інерційність (для другої групи приладів), можливість зниження температури повітря в робочій (обслуговуваній зоні) на (3...4) °С. Однак даним опалювальним приладам властиві і недоліки [19]: складність в обслуговуванні та ремонті, необхідність подачі теплоносія (води) деаерованої і пом'якшеної.

В окрему групу можна виділити електричні опалювальні прилади: електричні шпалери [22] і теплі підлоги. Основу даних приладів складає металевий дріт, розміщений в шарі матеріалу, який кріпиться на стінах або підлозі. Недоліком є неможливість застосування для опалення всього приміщення через високі тарифи на електричну енергію.

Залежно від джерела енергії виділяють дві великі групи інфрачервоних випромінювачів (ІЧВ) з високою температурою поверхні: електричні [160, 161] і газові. Перші використовують, як правило, на додаток до існуючої

системи опалення будівлі, оскільки застосування систем променевого опалення тільки з електричними ІЧВ економічно недоцільно [156]. Газові ІЧВ можуть використовуватися і як самостійна система опалення, і в якості додаткової системи опалення.

Інфрачервоні випромінювачі поділяють на «світлі» і «темні» [139 - 153]. «Світлі» випромінювачі мають температуру на поверхні від 600 °С до 2500 °С і довжину хвилі від 1,55 мкм до 2,55 мкм. Такі випромінювачі оснащені відкритим атмосферним газовим пальником, який не має організованого відведення продуктів згоряння в навколишнє середовище. Випромінювачі цього типу рекомендується застосовувати для опалення складів, ангарів, виробничих цехів, відкритих і напіввідкритих майданчиків різного призначення, сушки і підігріву різних матеріалів з висотою стель більше 15 м [139 - 153].

«Темні» випромінювачі мають температуру на поверхні менше 600 °С і довжину хвилі понад 2,55 мкм. Дані випромінювачі обладнані вентиляторним газопальниковим блоком і мають організований відвід продуктів згоряння за межі приміщення. «Темні» випромінювачі застосовуються для обігріву складів, ангарів, майстерень, магазинів, теплиць, спортивних залів, кафе і інших нежитлових приміщень з висотою потоків від 4 м до 20 м. Системи з «темними» випромінювачами незамінні при опаленні приміщень, в яких необхідно розподілити теплове випромінювання на максимальну площу при відносно невеликій висоті.

Зауважимо, що ряд авторів [83] по температурі поверхні ІЧД класифікують на:

- світлі високотемпературні ( $T_w > 1000^\circ\text{C}$ );
- світлі середньотемпературні ( $800 < T_w < 1000^\circ\text{C}$ );
- світлі низькотемпературні ( $600 < T_w < 800^\circ\text{C}$ );
- темні ( $400 < T_w < 600^\circ\text{C}$ );
- суб-темні ( $200 < T_w < 400^\circ\text{C}$ ).

«Темні» випромінювачі поділяють на:

- локальні, мають теплову потужність від 20 кВт до 40 кВт і температуру поверхні, що випромінює менше 600 °С;

- локально-модульні, мають теплову потужність до 500 кВт і температуру поверхні, що випромінює не більше 350 °С. ІЧВ даного типу складаються з прямих і кутових модулів, за допомогою яких можна зібрати систему променистого опалення будь-якої протяжності і конфігурації;

- центральні газоповітряні ІЧВ, мають теплову потужність випромінювачів до 3000 кВт і температуру поверхні, що випромінює не більше 250 °С.

Системи променевого опалення класифікують на місцеві та центральні [22]. В місцевих системах опалення застосовують високотемпературні ІЧВ. Для центральних променистих систем опалення використовуються опалювальні прилади з низькою і середньою температурою поверхні.

Також променисті системи опалення класифікують залежно від виду використовуються ресурсу на водяні, газові, масляні, повітряні та електричні.

Системи променевого опалення мають ряд переваг перед традиційними системами опалення [159, 163]:

- відсутність протяжних розподільних трубопроводів;
- відсутність електрохімічної корозії через велику щільність блукаючих струмів в системах водяного теплопостачання;
- відсутність застою теплого повітря в районі покрівлі, що сприяє зменшенню теплових втрат приміщення і створення більш комфортних умов;
- відсутність замерзаючого теплоносія;
- відсутність двоступеневого нагріву теплоносія, як, наприклад, в системах повітряного опалення;
- відсутність поширення шкідливих речовин в приміщенні потоком рухомого повітря;
- створення комфортних умов безпосередньо в окремих робочих зонах або в приміщенні в цілому. При цьому температура повітря всередині приміщення може підтримуватися трохи нижче розрахункової на (3...4) °С [2];

- мала інерційність;
- автоматичне регулювання інтенсивності теплового потоку в робочій зоні за значенням температури повітря в приміщенні;
- можливе розміщення обігрівальних елементів поза робочої зони;
- великий термін служби інфрачервоних обігрівачів (~ 30 років).

До недоліків систем опалення з інфрачервоними випромінювачами можна віднести [162]:

- викид продуктів згорання у газових ІЧВ;
- труднощі обслуговування і контролю роботи ІЧВ через великої висоти підвісу;
- додаткові механічні навантаження на будівельні конструкції;
- додаткове опромінення людей, що працюють на висоті (машиністи мостових кранів);
- можливість відключення електричних ІЧВ під час пікових навантажень;
- виникнення додаткових термічних напружень в будівельних конструкціях при багаторазових включеннях і відключеннях ІЧВ з метою енергозбереження.

Як вже було показано, мета системи опалення будь-якого виду полягає в створенні комфортних умов для людини. Оптимальні параметри мікроклімату в приміщенні можна створити шляхом зміни внутрішньої енергії повітряного середовища і оточуючих повітря огорож. При променистого опаленні спочатку відбувається нагрів твердих огорожень шляхом радіаційного теплообміну, а, вже стикаючись з ними, повітря нагрівається конвективною тепловіддачею.

Радіаційний (променистий) теплообмін займає особливе місце серед способів перенесення теплоти, так як він відбувається за рахунок поширення електромагнітних хвиль. Всі тіла з температурою вище 0К випромінюють енергію (володіють власним випромінюванням). Закони теплового випромінювання та методи розрахунку докладно описані в підручниках і

монографіях [31, 35, 84, 85, 87, 89]. Мета розрахунку радіаційного теплообміну, як і будь-якого іншого виду теплообміну, полягає у визначенні розподілу температур і теплових потоків в заданій системі об'ємних і поверхневих тіл.

Всі існуючі в даний час методи розрахунку РТО в своїй основі містять закони випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ), яке є ідеальним і поглинач, і ідеальним випромінювачем теплової енергії. У практиці інженерних розрахунків найбільш часто використовують закон Планка, закон зміщення Віна і закон Стефана-Больцмана [32].

Відмінність випромінювання реальних тіл від випромінювання АЧТ враховують поправкою, яку називають спектральної ступенем чорноти  $\varepsilon_\lambda$  для інтервалу спектру  $d\lambda$  і інтегральної ступенем чорноти для всього спектру випромінювання  $\lambda = 0 \div \infty$ . Спектральні та інтегральні ступені чорноти для твердих поверхонь і газів знаходять експериментально і приводять в довідкових таблицях [31- 35].

Розподіл променевої теплової енергії в просторі описують кутовою щільністю потоку випромінювання  $I_w$ , і яскравістю випромінювання  $I$ , які пов'язані з щільністю потоку власного випромінювання відомим співвідношенням [32], справедливим для спектральних і інтегральних характеристик.

Існує два принципово різних підходи до розрахунку променистих теплових потоків в даній системі твердих і газових тіл: диференціальний та інтегральний. Згідно диференціального методу розрахунку РТО вирішують диференціальне рівняння переносу променистої енергії виду [32, 104]

$$\frac{dI_\lambda(x_i)}{dx_i} = -k_{\lambda,i} \cdot I_\lambda(x_i) + \frac{\eta_{\lambda,i}^{06}(x_i)}{4\pi}, \quad (1.8)$$

де  $I_\lambda(x_i)$  - спектральна яскравість променевої енергії в усіх напрямках в межах півсфери;

$k_{\lambda,i}$  - спектральний коефіцієнт ослаблення газового середовища;

$\eta_{\lambda,i}^{об}$  - спектральна яскравість власного випромінювання середовища - джерело (стік) випромінювання в кожній точці випромінює-ослаблює середовище.

Суть інтегрального (балансового) методу полягає в запису рівнянь теплового балансу для всіх твердих і газових тіл, що беруть участь в радіаційному теплообміні з урахуванням і радіаційних властивостей і взаємного розташування в просторі [59].

Існують методи, які використовують в якості параметрів опису РТО спектральні інтенсивності випромінювання з урахуванням поглинання і розсіяння енергії газовим середовищем, певні експериментально, а інтегральні характеристики, отримані інтегруванням по спектру ( $\lambda = 0 + \infty$ ) і в усіх напрямках в межах півсфери ( $\Omega = 0 \div 2\pi$ ) [7]. Такого роду методи можна умовно віднести до категорії інтегро-диференціальних методів.

Докладний огляд диференціальних методів розв'язання рівнянь радіаційного теплообміну виконаний В. Н. Адріановим [165]. Найбільшого поширення набув метод диференційно-різницевого наближення (метод Шустера - Шварцшильда). Суть методу диференційно-різницевого наближення полягає в поданні променистого потоку для даного напрямку у вигляді різниці двох зустрічних потоків. При цьому якщо враховується поздовжнє перенесення випромінювання в приміщенні, то метод називається чотирьохпотоковим, в іншому випадку, при обліку тільки поперечного випромінювання – двохпотокова.

У дисертації [77] подано докладний аналіз диференціальних двох - і чотирьохпотокових методів рішення рівняння переносу променистої енергії.

Так згідно чотирьохпотокової моделі Госмена і Локвуда [77] дивергенція променистого потоку розраховується за виразом

$$d \cdot i \cdot v \cdot q_{л} = 1,78 \cdot K \cdot (R_x + R_r - 2 \cdot \sigma_0 \cdot T^4), \quad (1.9)$$

де  $R_x$  і  $R_r$  - результуючі радіаційні потоки в аксіальному і радіальному напрямках, які знаходять рішенням системи звичайних диференціальних рівнянь при заданих граничних умовах.

Диференціальне рівняння радіаційного переносу в умовах ламінарного або турбулентного гідродинамічно стабілізованого потоку плоского щілинного і циліндричного каналів розглянуто роботах ВНІМТ [77].

Основним недоліком розглянутих вище диференціальних методів розрахунку радіаційного теплообміну, на думку автора [77] є необхідність завдання розподілу температур на обмежують газовий обсяг поверхнях, яке, як правило, потрібно визначити з розрахунку зовнішнього теплообміну.

У дисертації Шірманова М. В., виконаної під керівництвом професора Шаганова А. Б., дано висновок диференціального рівняння переносу променистої енергії випромінювання в тривимірній постановці [11] і отримано рішення цього рівняння методом сферичних гармонік в  $P_5$  - наближення, яке використовує розкладання інтенсивності випромінювання в ряд. При цьому для коефіцієнтів розкладу сферичних гармонік записують систему диференціальних рівнянь з відповідними граничними умовами, яка вирішена шляхом сіток за спеціально розробленою комп'ютерною програмою. Розрахунок падаючого теплового потоку за значенням інтенсивності виконують за формулою

$$q_{\lambda}^{\text{пал}} = \int_{2\pi} I_{\lambda} \cdot (\Omega) n \Omega d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi. \quad (1.10)$$

В даний час в сучасних обчислювальних пакетах і комплексах програм, таких як Phoenix, FlowFision, Fluent і інших для розрахунку переносу променистої енергії використовують чисельний метод рішення диференціального рівняння переносу спектральної і інтегральної інтенсивності або яскравості випромінювання [131 - 136]. У зв'язку з цим особливо відзначимо чисельні дослідження радіаційно-конвективного теплообміну при опаленні газовими інфрачервоними випромінювачами, виконані в кандидатській дисертації Б. М. Зіганшина [80].

Класиками зональних методів розрахунку вважають Ю.А. Сурінова [90, 92, 93], А.С. Невського [85], В.Н. Адріанова [165] і їх послідовників Ю. А. Журавльова [86], В.Г. Лісієнко [84], С.П. Деткова [93, 94], С.А. Крупенникова і В. В. Бухмірова [59, 77, 97-99, 104].

Ідея зонального методу розрахунку радіаційного і складного теплообміну та його основні модифікації детально викладені в Главі 2 дисертації. Відзначимо, що основні ідеї зонального методу використані і в дисертаційних роботах Л. Ю. Михайлової [82] і В.В. Шіванова [83], присвячених моделюванню і проходженню систем променевого опалення. У своїй дисертаційній роботі В. В. Шиванов [83] зокрема пропонує свій аналітичний метод визначення кутових коефіцієнтів випромінювання. Зауважимо, що кутові коефіцієнти випромінювання в системах будь-якої геометричної форми можна визначити чисельним методом статистичних випробувань [103].

Розвиток зональних методів продовжив учень Ю.А. Сурінова В.В. Рубцов, який в своїх статтях [20, 42] розглядає застосування чисельно-аналітичного методу послідовних двосторонніх наближень для вирішення ряду прикладних задач радіаційного-кондуктивного теплообміну.

#### 1.4 Інженерні методи проектування систем променевого опалення

Метою проектування систем променевого опалення являється визначення потужності інфрачервоних випромінювачів, їх кількості (а отже і одиничної потужності) і місця їх установки. Сумарну потужність ІЧВ визначають за методикою, викладеною в нормативних документах [110, 111, 113, 117], а місце їх установки знаходять графічно. Для цього будують епюри опромінення таким чином, щоб крайні промені від ІЧВ перетиналися на висоті робочої (обслуговується зони). Застосовуючи такий інженерний метод, отримують кількість випромінювачів, їх одиничну потужність, враховуючи коефіцієнт запасу [140]. Інженерний метод розрахунку систем променевого



опалення є досить наближеним і не враховує принципові особливості теплообміну при променистому опаленні і особливості створення оптимальних мікроклімату при цьому способі опалення.

Автори Стандарту [107] вводять поправку на розрахунок сумарної необхідної потужності випромінювачів в залежності від кратності повітрообміну і розмірів приміщення, а кількість випромінювачів вибирають, виходячи з одиничної потужності, прийнятої, очевидно, за даними виробників ІЧВ з урахуванням опалювальної площі під одним випромінювачем.

Болотських М.М. в своїх працях [71, 72] для розрахунку систем променевого опалення становить систему балансових рівнянь приміщення з урахуванням рівняння тепловідчуття людини. Рівняння тепловідчуття людини базується на емпіричному співвідношенні, отриманому фірмою «Шванк» і відрізняється від запропонованих у літературі [2, 12, 16, 17, 18, 22, 25, 28, 102] рівнянь комфортності.

Автори статті [172], розуміючи необхідність врахування конструктивних особливостей через одержувачів при формуванні опромінення поверхонь, визначають кутові коефіцієнти в системі «випромінювач - відбивач». Також в статті [172] показано, наскільки зменшення діаметра пальникової гілки, зменшення висоти відбивача і відстані між пальником і йде гілками впливає на кутові коефіцієнти в зазначеній системі тіл.

Автори статті [164] розрахунок систем променевого опалення ведуть за методикою, запропонованою в [107], доповнюючи цю методику блоком аеродинамічного розрахунку газоповітряної суміші, що рухається.

У статті [137] розроблено математичну модель тепломасообміну в виробничих приміщеннях при наявності підвищеної вологості, запиленості та загазованості. Математичне моделювання ґрунтується на чисельному рішенні рівнянь турбулентного перенесення еліптичного типу для температури, компонента швидкості і концентрації крапель. Дана модель може бути

отримана при розрахунку систем вентиляції без урахування перенесення теплоти випромінюванням.

### 1.5 Висновки та постановка задачі дослідження

В даний час потреба в установці енергоефективних систем променевого опалення в громадських і промислових будівлях зростає. Не існує єдиної класифікації інфрачервоних випромінювачів, що ускладнює вибір ІЧВ і виконання економічної оцінки ефективності систем променевого опалення.

Для розрахунку систем променевого опалення, як правило, застосовують інтегральні (балансові) методи. Єдиної нормативної методики розрахунку параметрів системи опалення для закритих приміщень і відкритих майданчиків з інфрачервоними випромінювачами немає.

Інфрачервоне випромінювання в залежності від спектру випромінювання (температури поверхні випромінювача) може бути небезпечним для здоров'я людини. Тому при проектуванні систем опалення обладнаних і електричними, і газовими інфрачервоними випромінювачами необхідно в розрахунках враховувати обмеження на величину падаючого радіаційного теплового потоку, його зміна по висоті людини і асиметрію опромінення.

В результаті проведеного аналізу використання ІЧ- випромінювання для обігріву приміщень встановлено:

1. ІЧ- випромінювання впливає на організм людини. Біологічна дія енергії випромінювання залежить від спектрального діапазону електромагнітних хвиль, інтенсивності і часу дії випромінювання.

2. Проаналізовано роботу променевих систем опалення приміщень. Виявлені їх переваги та недоліки.

3. Розглянуті інженерні методи проектування систем променевого опалення. Показано, що метою проектування систем променевого опалення являється визначення потужності інфрачервоних випромінювачів, їх

кількості (а отже і одиничної потужності) і місця їх установки.

Зважаючи на все, вище наведене задачами даного дослідження є:

- прийняти до розрахунку «темний» U-подібний трубний випромінювач;
- розрахувати кутові коефіцієнти при опалюванні «темними» U-подібними трубними випромінювачами з однаковими діаметрами;
- дослідити вплив діаметру випромінювача і його висоти відбивача на ефективність променевого опалення
- оцінити температуру поверхні відбивача U-подібного «темного» трубного випромінювача з однаковими діаметрами.

## 2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

Перевагою обладнання систем промінювального випромінювання є підвищення комфорту при їх застосуванні, завдяки однорідності температури на всій поверхні, що обігривається. Також забезпечується висока селективність обігріву приміщення, що веде к додатковому зниженню експлуатаційних витрат.

Важливу роль вирає розташування горілочного агрегату у приміщенні, теплова потужність та його геометричні параметри. Тому виникає необхідність розробки методики розрахунку раціональних параметрів випромінювача, які можуть забезпечити комфортні умови праці на робочому місці.

2.1 Методика розрахунку кутових коефіцієнтів при опалюванні «темними» U-подібними трубними випромінювачами з однаковими діаметрами

Конструктивно U-подібний трубний випромінювач виконується найчастіше таким чином (див. рис.2.1 та рис. 2.2.).



Рисунок 2.1 - «Темний» U-подібний трубний

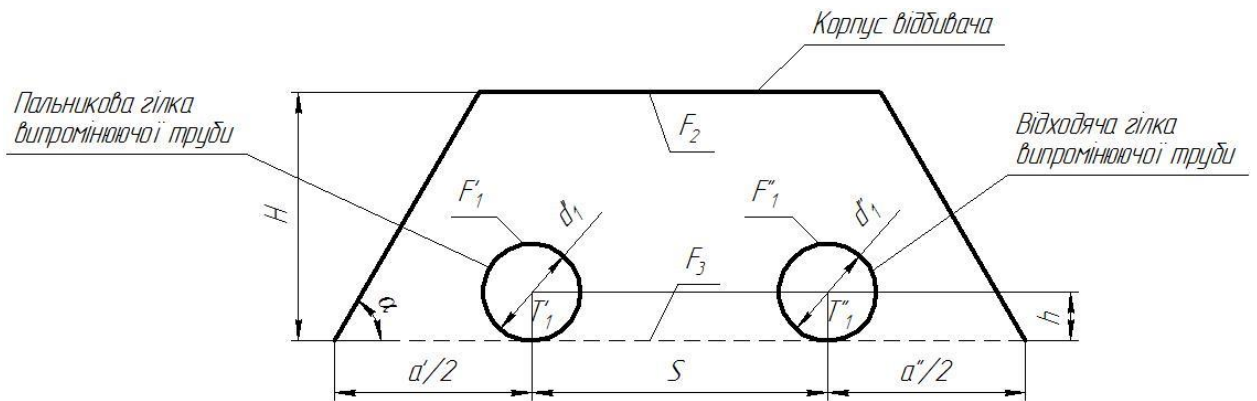


Рисунок 2.2 - Конструктивна схема U-подібного трубного випромінювача (поперечний переріз) з однаковими діаметрами

Конструкція U-подібного трубного випромінювача включає гілку пальника і гілку, що відходить, випромінюючої труби діаметрами  $d_1'$  і  $d_1''$  з поверхнями  $F_1'$  і  $F_1''$ , розташованими усередині корпусу відбивача прямокутної або трапецієвидної форми поверхнею  $F_2$ . Позначимо, відстань між вісями симетрії гілок  $S$ , відстань по вертикалі від вісей гілок до нижньої кромки відбивача  $h$ , висота відбивача  $H$ , кут нахилу бічних стінок до горизонту  $\alpha$ .

Робота U-подібного трубного випромінювача здійснюється таким чином. Заздалегідь підготовлена в спеціальному пальнику газоповітряна суміш згорає в гілці пальника, рухаючись уздовж, при цьому відбувається нагрів її внутрішньої поверхні. В кінці гілки пальника продукти згоряння змінюють свій напрям на  $180^\circ$  і по гілці, що відходить, рухаються у зворотному напрямі. З кінця гілки, що відходить, випромінюючої труби продукти згоряння віддаляються по димовому каналу за межі цеху. Температури зовнішніх поверхонь гілок пальника і гілки, що відходить змінні по довжині унаслідок зміни температури продуктів згоряння. Для спрощення аналізу променистого теплообміну приймемо температури зовнішніх поверхонь гілок пальника і гілки, що відходить, постійними і відповідно рівними  $T_1'$  і  $T_1''$ , де  $T_1' > T_1''$ .

Гілки 1' та 1'' труби беруть участь в променистому теплообміні з внутрішньою поверхнею відбивача  $F_2$ , поверхнею приміщення, а також між

собою. Поверхня відбивача  $F_2$  бере участь в теплообміні із зовнішніми поверхнями гілок пальника та гілки, що відходить, а також з поверхнею приміщення. Оскільки весь променистий потік з поверхонь  $F_1'$ ,  $F_1''$  і  $F_2$  на поверхню приміщення «проходить» через нижню підставу відбивача, приймемо умовно як розрахункову поверхню приміщення поверхню  $F_3$ , рівну поверхні підстави відбивача.

Кожна з вказаних поверхонь  $F_1'$ ,  $F_1''$  і  $F_2$   $F_3$  бере участь в променистому теплообміні зі всіма іншими. Доля променистої енергії, падаюча з однієї поверхні (i) на іншу (j) оцінюється кутовим коефіцієнтом. Відповідно можна назвати 12 кутових коефіцієнтів. Крім того, має місце самоопромінення внутрішньої поверхні відбивача. При симетричному розташуванні гілок пальника та гілки, що відходить, однакового діаметру відносно вісі симетрії випромінювача відповідні кутові коефіцієнти попарно рівні ( $\varphi_{1'1''} = \varphi_{1''1'}$ ;  $\varphi_{1'2} = \varphi_{1''2}$ ;  $\varphi_{21'} = \varphi_{21''}$ ;  $\varphi_{31'} = \varphi_{31''}$ ;  $\varphi_{1'3} = \varphi_{1''3}$ ) і, отже, необхідно визначити 8 кутових коефіцієнтів:  $\varphi_{1'3}$ ,  $\varphi_{1''3}$ ,  $\varphi_{1'2}$ ,  $\varphi_{21'}$ ,  $\varphi_{23}$ ,  $\varphi_{22}$ ,  $\varphi_{31'}$ ,  $\varphi_{32}$ .

Використовуючи чисельні значення вказаних кутових коефіцієнтів можна зробити аналіз променистого теплообміну при роботі U-подібних симетричних трубних випромінювачів. Визначимо всі кутові коефіцієнти.

1. Кутовий коефіцієнт з поверхні гілки пальника на умовну (розрахункову) поверхню  $F_3$  визначуваний на підставі міри повного потоку [1], підсумовуючи кутові коефіцієнти на симетричну та несиметричну частини поверхні  $F_3$ . Симетрична частина  $F_3^{\text{сим}}$  дорівнює  $(\frac{\alpha}{2} \cdot 2)$ . Несиметрична частина  $F_3^{\text{несим}}$  залежить від розташування випромінюючої труби у відбивачі відносно його підстави, тобто від відстані  $h$  (рис.2.2):

- при  $h = d/2$   $F_3^{\text{несим}} = (S - \alpha/2)$ ;
- при  $h > d/2$   $F_3^{\text{несим}} = S$ .

Кутовий коефіцієнт на симетричну частину поверхні  $F_3$

$$\varphi_{1'3}^{\text{симм}} = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{a}{2h}. \quad (2.1)$$

Кутовий коефіцієнт на несиметричну частину поверхні  $F_3$  шириною  $(S - a/2)$  при  $h = d/2$

$$\varphi_{1'3}^{\text{несимм}} = \frac{1}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{S}{h} - \operatorname{arctg} \frac{a}{2h} \right). \quad (2.2)$$

Кутовий коефіцієнт на несиметричну частину шириною  $S$  при  $h > d/2$

$$\varphi_{1'3}^{\text{несимм}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{S + \frac{a}{2}}{h} \right) - \operatorname{arctg} \frac{a}{2h} \right]. \quad (2.3)$$

Таким чином, загальний кутовий коефіцієнт з поверхні  $F_1$  гілки пальника на умовну поверхню  $F_3$  визначимо підсумовуванням відповідних кутових коефіцієнтів при  $h = \frac{d}{2}$  и при  $h > \frac{d}{2}$

$$\varphi_{1'3} = \varphi_{1'3}^{\text{симм}} + \varphi_{1'3}^{\text{несимм}}. \quad (2.4)$$

2. Кутовий коефіцієнт випромінювання з поверхні  $F_1'$  гілки пальника на поверхню  $F_1''$  гілки, що відходить, визначимо, використовуючи відоме рішення для двох безконечних паралельних труб однакового діаметру [1]

$$\varphi_{1'1''} = \frac{1}{\pi} \left( \sqrt{\left( \frac{S}{d} \right)^2 - 1} + \arcsin \frac{d - S}{S} \right). \quad (2.5)$$

3. Кутовий коефіцієнт з поверхні  $F_1'$  гілки пальника на внутрішню поверхню відбивача  $F_2$  визначимо, застосовуючи властивість замикаємості

променистих потоків, згідно якому сума кутових коефіцієнтів випромінювання з поверхні даного тіла зі всіма іншими дорівнює одиниці. Отже

$$\varphi_{1'2} = 1 - \varphi_{1'3} - \varphi_{1'1'}. \quad (2.6)$$

4. Кутовий коефіцієнт випромінювання з внутрішньої поверхні відбивача  $F_2$  на поверхню гілки пальника  $F_1'$  визначимо, використовуючи властивість взаємності променистих потоків [1]

$$\varphi_{21'} = \frac{F_1' \varphi_{1'2}}{F_2^{ef}}, \quad (2.7)$$

де  $F_2^{ef}$  ефективна, видима з гілки пальника поверхня  $F_2$

$$F_2^{ef} = \left(\frac{H}{\sin \alpha}\right) + \left(\frac{a}{2} - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha\right) + S + \left(\frac{a}{2} - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha\right) + \left(\frac{H}{\sin \alpha} - \frac{d}{\sin \alpha}\right). \quad (2.8)$$

5. Кутовий коефіцієнт випромінювача з умовної поверхні  $F_3$  на ефективну поверхню гілки пальника  $F_1'^{ef}$  визначимо, використовуючи властивість взаємності променистих потоків

$$\varphi_{31'} = \frac{F_1'^{ef} \varphi_{1'3}}{F_3^{ef}}. \quad (2.9)$$

Величина ефективної поверхні гілки пальника  $F_1'^{ef}$  видима з  $F_3^{ef}$  визначається, в першому наближенні, з геометричних вистав окремо для лівої і правої частин периметра труби гілки пальника

$$F_1'^{ef} = r \left( \arccos \frac{r}{\sqrt{h^2 + S^2}} + \operatorname{arctg} \frac{S}{h} \right) + r \left( \arccos \frac{r}{\sqrt{h^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}} + \operatorname{arctg} \frac{a}{2h} \right). \quad (2.10)$$



$F_3^{e\phi}$  - величина ефективної поверхні  $F_3$ , що бере участь в променистому теплообміні з ефективною поверхнею гілки пальника:

$$\text{при } h=d/2 \quad F_3^{\hat{a}\hat{o}} = a/2 + S, \quad (2.11)$$

$$\text{при } h>d/2 \quad F_3^{\hat{a}\hat{o}} = a/2 + S + a/2. \quad (2.12)$$

Проведені чисельні розрахунки кутових коефіцієнтів для п'яти варіантів вихідних даних. Конструктивні розміри випромінювача по варіантах наведено в таблиці 2.1. Схема розташування темних випромінювачів представлена на рисунку 2.3.

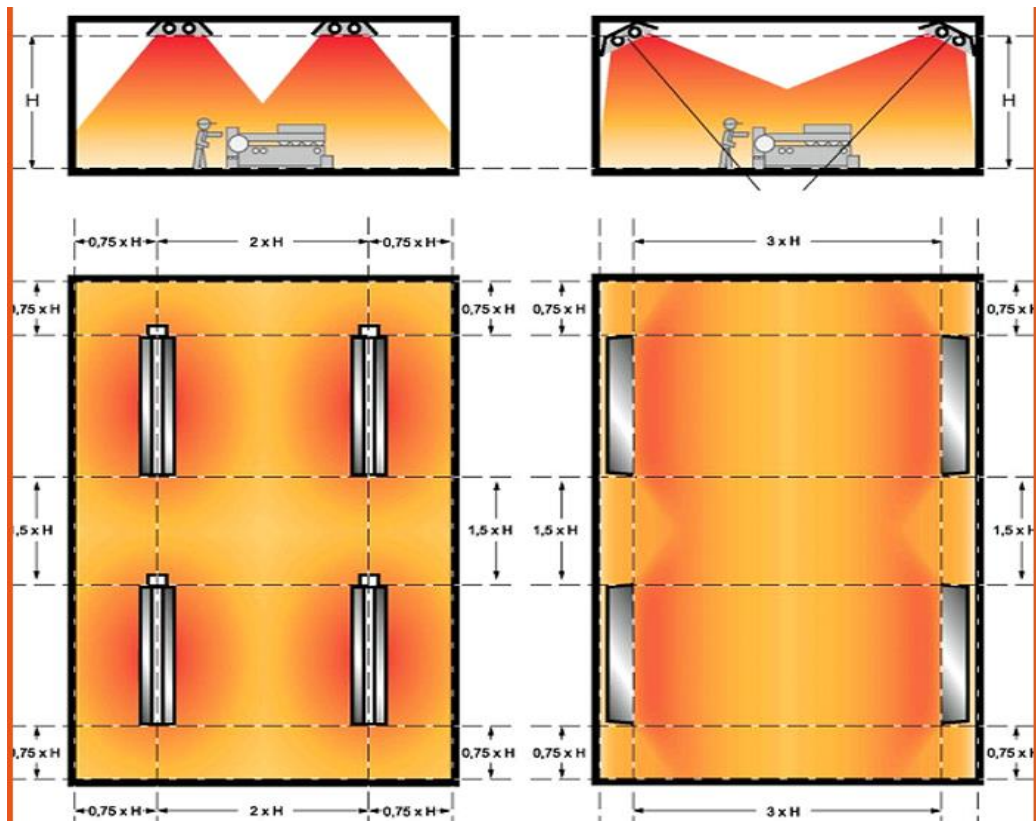


Рисунок 2.3 - . Схема розташування темних випромінювачів

Як базовий (основний) прийнятий варіант №1. У інших варіювали наступні геометричні розміри:

- у варіанті № 2 зменшили діаметр  $d'$  до 0,08 м і  $h = d/2 = 0,04$  м;
- у варіанті № 3 зменшили висоту відбивача  $H$  до 0,15 м;
- у варіанті № 4 зменшили відстань  $S$  до 0,2 м;

- у варіанті № 5 збільшили відстань  $h$  до 0,1 м.

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1- Вихідні дані для розрахунку

№ варіанту	Параметри відбивача						
	$d'$ , м	$d''$ , м	$S$ ,м	$H$ ,м	$h$ , м	$\alpha$ ,град	$a/2$ , м
1	0,1	0,1	0,3	0,18	0,05	60	0,15
2	0,08	0,08	0,3	0,18	0,04	60	0,15
3	0,1	0,1	0,3	0,15	0,05	60	0,15
4	0,1	0,1	0,2	0,18	0,05	60	0,15
5	0,1	0,1	0,3	0,18	0,1	60	0,15

Таблиця 2.2 - Розрахункові значення кутових коефіцієнтів по варіантах

№ варіанту	Розрахункові значення кутових коефіцієнтів									
	$\varphi_{1'3}^{сим}$	$\varphi_{1'3}^{несим}$	$\varphi_{1'3}$	$\varphi_{1'1''}$	$\varphi_{1'2}$	$\varphi_{21'}$	$\varphi_{31'}$	$\varphi_{32}$	$\varphi_{23}$	$\varphi_{22}$
1	0,397	0,024	0,421	0,053	0,526	0,240	0,251	0,498	0,371	0,149
2	0,416	0,020	0,436	0,042	0,522	0,184	0,215	0,570	0,425	0,207
3	0,397	0,024	0,421	0,053	0,526	0,252	0,251	0,498	0,388	0,108
4	0,397	0,012	0,409	0,081	0,510	0,273	0,308	0,384	0,273	0,181
5	0,312	0,058	0,370	0,053	0,577	0,263	0,202	0,596	0,444	0,03

З результатів розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Зменшення  $d_1'$  - діаметру гілки пальника трохи збільшує  $\varphi_{1'3}$  - долю променистої енергії з її поверхні на розрахункову поверхню  $F_3$  з 0,421 до 0,436; при цьому зменшується  $\varphi_{1'1''}$  - доля променистої енергії від гілки пальника на гілки, що відходить і збільшується  $\varphi_{23}$ - доля променистої енергії від відбивача на розрахункову поверхню  $F_3$  від 0,371 до 0,425. Усі 3 фактори є позитивними. Одночасно збільшується  $\varphi_{22}$  - доля променистої енергії, випромінюваною

поверхнею відбивача «самого на себе» від 0,149 до 0,207, що є негативним фактором.

2. Зменшення  $H$  - висоти відбивача (варіанти 1 і 3) від 0,18 м до 0,15 м наводить до зменшення поверхні  $F_2$ ; при цьому зменшується  $\varphi_{22}$  від 0,149 до 0,108 (тобто приблизно на 30 %) і збільшується  $\varphi_{23}$  від 0,371 до 0,388 (приблизно на 5 %); таким чином, зменшення  $H$  дозволяє отримати позитивні результати. Оскільки зменшення  $H$  дозволяє скоротити витрату метала на виготовлення відбивача, можна передбачити, що зменшення висоти відбивача є доцільним в практиці проектування таких випромінювачів.

3. Зменшення  $S$  - відстані між вісями гілок (варіанти 1 і 4) пальника та гілки, що відходить, від 0,3 м до 0,2 м наводить до зменшення поверхні відбивача  $F_2$ , при цьому зменшуються долі променистої енергії, падаючої від гілки пальника на поверхню підлоги приміщення від 0,421 до 0,409, і  $\varphi_{1'2}$  - на внутрішню поверхню відбивача від 0,526 до 0,510; одночасно збільшується  $\varphi_{1'1''}$  - доля променистої енергії, падаючої з гілки пальника на ту, що відходить від 0,053 до 0,081. Зменшення поверхні відбивача  $F_2$  за рахунок зменшення  $S$  наводить до зменшення  $\varphi_{23}$  - долі променистої енергії, падаючої від його внутрішньої поверхні на поверхню підлоги приміщення від 0,371 до 0,273, тобто на 25%, що є негативним чинником. Отже, зменшувати  $S$  потрібно в кожному конкретному випадку обґрунтовано. Остаточний варіант може бути прийнято після зіставлення матеріальних витрат на виготовлення випромінювачів даних варіантів і чисельної оцінки результуючих теплових потоків випромінюванням від випромінюючої труби і відбивача на поверхню підлоги приміщення.

Слід звернути увагу, що проведений аналіз справедливий для геометричних кутових коефіцієнтів, що характеризують долю променистої енергії, падаючої з випромінюючої поверхні (перший індекс при  $\varphi$ ) на променевосприймаючу поверхню (другий індекс при  $\varphi$ ).

Проведений аналіз є попереднім. Точніші результати можуть бути отримані при аналізі променистого теплообміну між даними поверхнями з врахуванням реальних температур випромінюючих труб і поверхні відбивача.

## 2.2 Розрахункова оцінка температури поверхні відбивача U-подібного «темного» трубного випромінювача з однаковими діаметрами

Променисте опалювання будівель і споруд великого об'єму «темними» випромінювачами останніми роками успішно застосовується в Україні та за кордоном [27]. При проектуванні системи опалювання виникає необхідність розрахунку теплової енергії, що випромінюється на поверхню підлоги приміщення. Це можливо, якщо відомі, разом з іншими параметрами, температури поверхонь тіл, що беруть участь в променистому теплообміні.

Наступне завдання полягає в розрахунковому визначенні температури внутрішньої поверхні відбивача U-подібного трубного випромінювача, яка необхідна для оцінки потужності променистого потоку на поверхню підлоги приміщення.

Для оцінки температури відбивача  $T_2$  прийнято наступні припущення. Поверхні  $F_1'$ ,  $F_1''$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  ізотермічні і необмежено протяжні в напрямі, перпендикулярно площини рисунка. Ці поверхні - сірі, їх випромінювання дифузне і підкоряється закону Ламберта. Всі вони розділені промінепрозорим середовищем.

Для будь-яких двох поверхонь, що беруть участь в променистому теплообміні можна визначити потужність результуючого потоку випромінювання  $Q$ , Вт по відомій залежності [1] [32].

$$Q_{ij} = C_{ij}^{36} \varphi_{ij} F_i (T_i^4 - T_j^4), \quad (2.13)$$

де  $C_{ij}^{36}$  - зведений коефіцієнт випромінювання системи двох поверхонь  $F_i$  і  $F_j$ ;

$\varphi_{ij}$ - кутовий коефіцієнт випромінювання між поверхнями  $F_i$  і  $F_j$ ;

$F_i$ - величина площі випромінюючої поверхні,  $m^2$ ;

$T_i, T_j$ - температури поверхонь  $F_i$  і  $F_j$ , К.

$C_{ij}^{36}$  визначається по формулі (2.14)

$$C_{ij}^{36} = \frac{C_0}{100^4 \left[ 1 + \varphi_{ij} \left( \frac{1}{A_i} - 1 \right) + \varphi_{ji} \left( \frac{1}{A_j} - 1 \right) \right]}. \quad (2.14)$$

Чисельні значення  $\varphi_{ij}$  і  $\varphi_{ji}$  розраховуються з відомих формул визначення кутових коефіцієнтів системи двох поверхонь, що беруть участь в променистому теплообміні.

На підставі (2.13) і (2.14) можна записати наступні формули для визначення потужності потоків результуючого випромінювання в системі поверхонь  $F_1', F_1'', F_2, F_3$

$$Q_{r2} = C_{r2}^{\zeta a} \varphi_{r2} F_2 (T_r^4 - T_2^4), \quad (2.15)$$

$$Q_{r2} = C_{r2}^{\zeta a} \varphi_{r2} F_2 (T_r^4 - T_2^4), \quad (2.16)$$

$$Q_{23} = C_{23}^{\zeta a} \varphi_{23} F_2 (T_2^4 - T_3^4). \quad (2.17)$$

Для подальшого аналізу прийняті відомими температури  $T_1'$  і  $T_1''$  - гілок пальника та гілки, що відходить від випромінюючої труби й  $T_3$  - рівній температурі реальної променесприймаючої поверхні підлоги приміщення.

При визначенні температури  $T_2$  врахуємо теплові втрати  $Q_2$  через стінки відбивача, що мають місце в реальних умовах:

$$(Q_{r2} + Q_{r2}) - Q_{23} = Q_2. \quad (2.18)$$

З рівняння (2.18) виходить

$$Q_{23} = (Q_{1'2} + Q_{1''2})(1 - K), \quad (2.19)$$

де  $K = \frac{Q_{1'2}}{Q_{1'2} + Q_{1''2}}$  - коефіцієнт, що враховує втрати теплоти через стінки

відбивача.

Граничні значення  $K$  рівні  $0 \div 1$ . Значення  $K=0$  відповідає випадку, коли  $Q_{1'2} + Q_{1''2} = Q_{23}$  (тобто теплові втрати відсутні).

Вирішуючи рівняння (2.19) відносно  $T_2$  з врахуванням (2.15), (2.16), (2.17) отримуємо розрахункову температуру поверхні відбивача при опалюванні приміщень  $U$  - подібними «темними» трубними відбивачами

$$T_2 = \sqrt[4]{\frac{C_{1'2} \epsilon_a \varphi_{1'2} F_1 T_1^4 (1 - K) + C_{1''2} \epsilon_a \varphi_{1''2} F_1 T_1^4 (1 - K) + C_{23} \epsilon_a \varphi_{23} F_2 T_3^4}{C_{1'2} \epsilon_a \varphi_{1'2} F_1 (1 - K) + C_{1''2} \epsilon_a \varphi_{1''2} F_1 (1 - K) + C_{23} \epsilon_a \varphi_{23} F_2}}. \quad (2.20)$$

Проведена розрахункова оцінка  $T_2$  при різних значеннях коефіцієнта  $K$ , що враховує теплові втрати через стінки відбивача. Геометричні параметри випромінювача по варіантах наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Вихідні дані для розрахунку

№ варіанта	Параметри випромінювача						
	d', м	d'', м	S, м	H, м	h, м	α, град	a/2, м
1	0,1	0,1	0,3	0,18	0,05	60	0,15
2	0,08	0,08	0,3	0,18	0,04	60	0,15
3	0,1	0,1	0,3	0,15	0,05	60	0,15
4	0,1	0,1	0,2	0,18	0,05	60	0,15
5	0,1	0,1	0,3	0,18	0,1	60	0,15
6	0,1	0,1	0,3	0,18	0,05	60	0,15

У варіантах 1...5 прийняті  $A_{1'} = A_{1''} = 0,8$ ,  $A_2 = 0,1$ ,  $A_3 = 0,9$ ,  $T_{1'} = 700$  К,  $T_{1''} = 500$  К,  $T_3 = 290$  К. У варіанті 6 прийнято  $A_2 = 0,8$ . Останні вихідні дані ті ж.

Результати розрахунків температур відбивача наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахункові температури  $T_2$  внутрішньої поверхні відбивача, К

№ варіанта	K=0	K=0,2	K=0,4	K=0,6	K=0,8	K=1
1	552,00	539,896	522,84	496,106	446,55	290
2	547,185	534,591	516,813	489,452	440,187	290
3	536,349	522,827	504,049	475,806	426,731	290
4	556,894	545,300	527,990	502,407	453,532	290
5	562,341	539,364	522,067	495,162	446,016	290
6	534,017	520,298	501,368	473,291	424,001	290

Аналізуючи розрахунки по варіантах, робимо висновки, що температура внутрішньої поверхні відбивача зменшується із збільшенням теплових втрат. При зміні геометричних параметрів ( $d = 0,08 \dots 0,1$  м,  $h = 0,04 \dots 0,1$  м,  $H = 0,15 \dots 0,18$  м,  $S = 0,2 \dots 0,3$  м) температура відбивача змінюється не більш, ніж на 5%.

При  $K=1$ , коли все тепло від поверхні відбивача відходить в довкілля, температура відбивача не змінюється і дорівнює температурі розрахункової поверхні  $T_3$ .

Таким чином, на підставі проведеного розрахункового аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Отримана залежність, що дозволяє оцінювати температуру внутрішньої поверхні відбивача U-подібного трубного випромінювача при відомих температурах гілок пальника та гілки, що відходить випромінюючої труби.

2. Температура внутрішньої поверхні відбивача залежить, в основному, від величини теплових втрат з його зовнішньої поверхні (зменшується з їх збільшенням).

3. Розрахункове значення величини  $T_2$  дозволить оцінювати потужність променистого потоку від U-подібного випромінювача на поверхню підлоги приміщення.

2.3 Корисна промениста потужність U-подібного «темного» трубного випромінювача з однаковими діаметрами гілки пальника та гілки, що відходить

При проектуванні випромінювальних систем опалювання виникає необхідність чисельної оцінки корисної променистої потужності від випромінювачів на поверхню підлоги, стін і устаткування.

При оцінці корисної променистої потужності U- подібного випромінювача використаємо ті ж самі геометричні параметри та прийmemo ті ж самі припущення, як і при оцінці температури відбивача.

При проведенні розрахунків величина S варіюються від 0,2 м до 0,4 м, з кроком 0,05 м; Н варіюється від 0,12 м до 0,24 м, з кроком 0,03 м; h варіюється від 0,05 м до 0,125 м, з кроком 0,025; кут  $\alpha$  варіюється від 50 ° до 90 °, з кроком 10 °. Користуючись формулами (2.13-2.20) проведено аналіз впливу геометричних параметрів випромінювача на результуючі теплові потоки. Результати розрахунків представлено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Розрахункові значення теплових потоків при різних геометричних параметрах відбивача ( $K=0$ )

№ варіанта	$Q_{r3}$ , Вт/м	$Q_{r'3}$ , Вт/м	$Q_{r'2}$ , Вт/м	$Q_{r2}$ , Вт/м	$Q_{23}$ , Вт/м	$Q_{r3} + Q_{r'3} + Q_{23}$ , Вт/м
1	1542,704	366,943	418,812	-86,303	332,090	2241,737
2	1276,989	303,741	401,408	-72,420	328,976	1909,706
3	1542,639	366,927	324,848	-41,804	283,123	2192,689
4	1493,644	355,232	364,546	-85,314	279,354	2128,23
5	1377,656	327,685	409,653	-109,649	373,752	2079,093
6	1542,704	366,943	1247,659	-147,921	1100,852	3010,500

З результатів розрахунків виходить:

1. Зміна діаметрів гілок пальника та гілки, що випромінює, від 0,1 до 0,08 м (варіанти 1 і 2) приводить до зменшення  $Q_{r3}$  і  $Q_{r'3}$ , відповідно від 1542,704



до 1276,989 Вт/м і від 366,943 до 3003,741 Вт/м. Отже, зменшується корисна промениста потужність  $Q_{1'3} + Q_{r3} + Q_{23}$  випромінювача на підлогу приміщення і довколишніх стінках від 2241,737 до 1909,706 Вт/м.

2. Зменшення  $H$  - висоти корпусу відбивача 0,18 до 0,15 м (варіанти 1 і 3) приводить до неістотних змін всіх аналізованих потоків.

3. Зменшення  $S$  - відстані між осями симетрії гілок випромінюючої труби (і, отже, ширина основи корпусу випромінювача) від 0,3 до 0,2 м (варіанти 1 і 4) приводить до незначних зменшень аналізованих променистих потоків (і, отже, корисній потужності). Зменшення  $S$  зменшує витрату матеріалу для виготовлення корпусу відбивача, що є позитивним чинником.

4. Збільшення  $h$  - відстані від осей симетрії гілок пальника і вирушаючої гілки відбивача від 0,05 до 0,1 м (варіанти 1 і 5) приводить до зменшення загальної корисної променистої потужності випромінювача від 2241,737 до 2079,093 Вт/м.

5. Збільшення  $A_2$  - поглинальній здатності внутрішньої поверхні відбивача від 0,1 до 0,8 (варіанти 1 і 6) приводить до значного збільшення корисної потужності випромінювача від 2241,737 до 3010,500 Вт/м, тому є бажаним в практиці проектування «темних» U-подібних випромінювачів.

Представляє інтерес проведення аналізу впливу теплових втрат від зовнішньої поверхні корпусу відбивача на корисну променисту потужність випромінювача.

У таблиці 2.6 представлені розрахункові значення потужностей результуючих теплових потоків при  $K=0,2$ .

Порівнюючи результати розрахунків (табл.2.5 і 2.6) при одних і тих же вихідних даних по відповідних варіантах робимо висновок, що значення  $Q_{1'3}$  і  $Q_{r3}$  не змінюються при  $K=0$  і  $K=0,2$ .

При  $K=0,2$ , потужність теплового потоку  $Q_{1'2}$  і  $Q_{r2}$  з гілок пальника та гілки, що відходить на внутрішню поверхню відбивача трохи зростає в порівнянні із значеннями при  $K=0$ . Це відбувається унаслідок збільшення

різниці температур між зовнішніми поверхнями  $F_1'$  та  $F_1''$  гілок пальника і вирушаючої випромінюючої труби і внутрішньою поверхнею відбивача: при постійних значеннях  $T_1'$  і  $T_1''$ , значення  $T_2$  зменшується за наявності теплових втрат.  $Q_{23}$ , при  $K=0,2$  зменшується порівняно із значенням при  $K=0$ . Причиною цього є обставина, вказана вище: при  $K=0,2$   $T_2$  менше, ніж  $T_2$  при  $K=0$ , а  $T_3$  є постійною величиною.

Таблиця 2.6- Розрахункові значення теплових потоків при різних геометричних параметрах ( $K=0,2$ )

№ варіанта	$Q_{1'3}$ , Вт/м	$Q_{1'3}$ , Вт/м	$Q_{1'2}$ , Вт/м	$Q_{1'2}$ , Вт/м	$Q_{23}$ , Вт/м	$Q_{1'3} + Q_{1'3} + Q_{23}$ , Вт/м
1	1542,704	366,943	441,203	-63,890	301,520	2211,167
2	1276,989	303,741	422,679	-51,157	297,213	1877,943
3	1542,639	366,927	341,346	-25,220	253,065	2162,631
4	1493,644	355,232	384,209	-65,650	255,08	2103,894
5	1377,656	327,685	454,592	-64,710	311,937	2017,278
6	1542,704	366,943	1310,840	-84,739	981,645	2891,292

Сумарний ( $Q_{1'3} + Q_{1'3} + Q_{23}$ ) результуючий тепловий потік (корисна промениста потужність випромінювача) на поверхню  $F_3$  (підлоги приміщення) від гілки пальника ( $Q_{1'2}$ ) і гілки, що відходить ( $Q_{1'2}$ ) випромінюючої труби, а від внутрішньої поверхні відбивача ( $Q_{23}$ ) при  $K=0$  більше, ніж при  $K=0,2$ . Це пояснюється втратами кількості теплоти (20 %) від ( $Q_{1'2} + Q_{1'2}$ ) із зовнішньої поверхні відбивача в довкілля.

На рисунках 2.4 - 5.7 представлені графіки залежності теплотехнічних характеристик U-образного "темного" трубного випромінювача від  $H$  - загальної висоти відбивача.

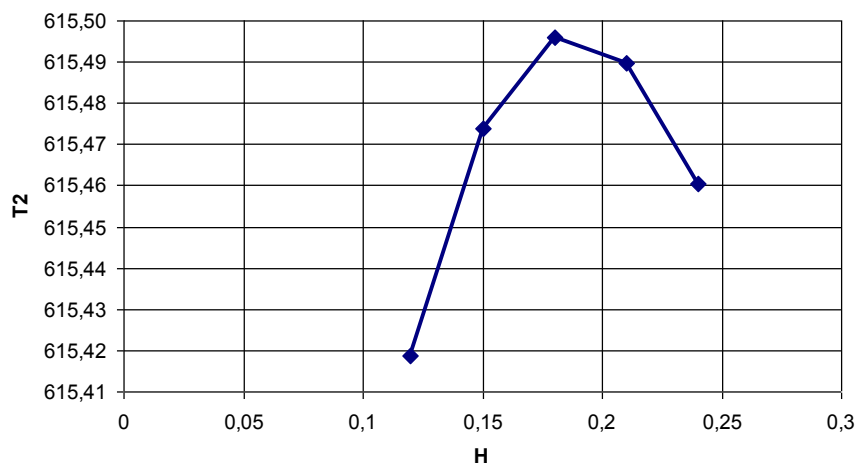


Рисунок 2.4 – Температура відбивача при зміні висоти корпусу відбивача

З рисунка 2.4 випливає, що температура відбивача залишається практично постійною при всіх значеннях  $H$ , сумарний тепловий потік від пальної і відхідної гілок на відбивач ( $Q1'2 + Q1''2$ ) збільшується від 493 до 562 Вт / м, що становить близько 14 % (див. рис. 2.5).

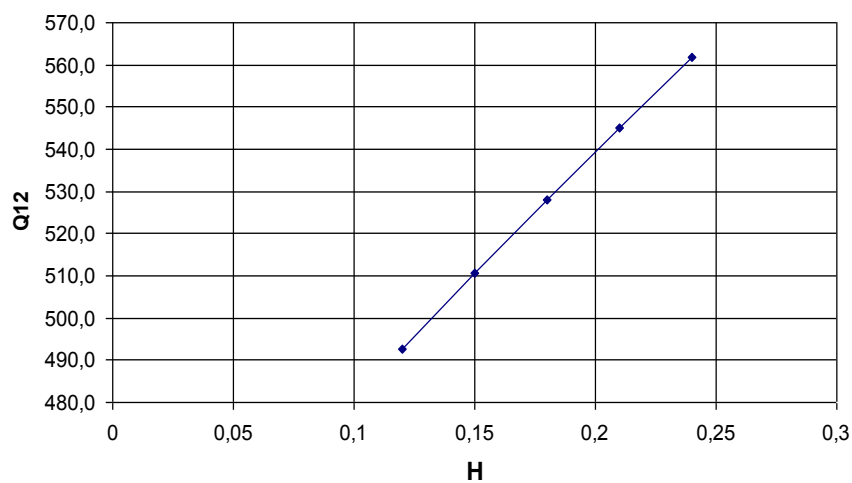


Рисунок 2.5 - Сумарний тепловий потік при зміні висоти корпусу відбивача

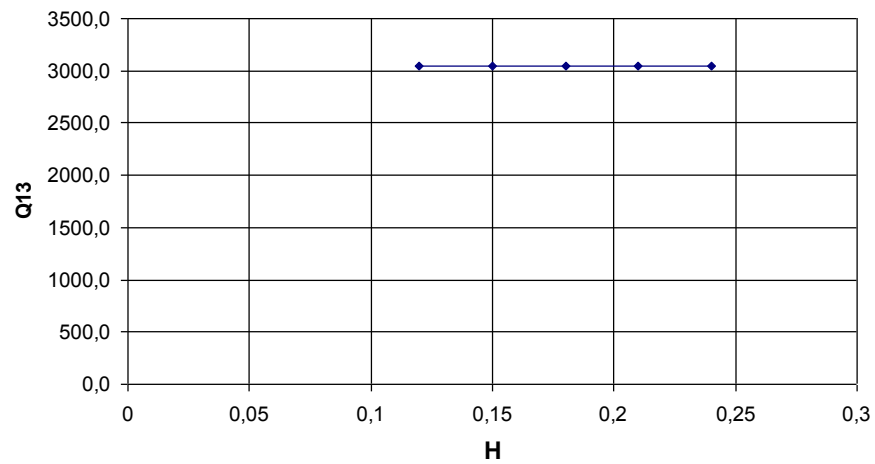


Рисунок 2.6 – Результуючий тепловий потік від пальникової гілки при зміні висоти корпусу відбивача

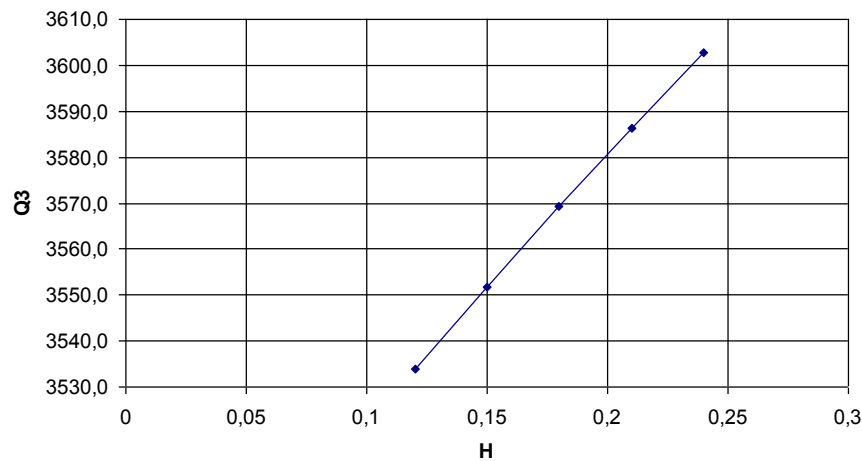


Рисунок 2.7 - Результуючий тепловий потік від відхідної гілки при зміні висоти корпусу відбивача

Результуючі теплові потоки від пальникової і відхідної гілок на поверхню підлоги приміщення залишаються постійними (див. рис. 2.6). Сумарна величина результуючого теплового потоку збільшується з 3534 до 3603 Вт/м, тобто приблизно на 2 % (див. рис. 2.7).

Таким чином, при значному збільшенні висоти відбивача (від 120 мм до 240 мм), що пов'язано з витратою дорогого матеріалу, збільшення променевого теплового потоку відбувається лише на 2 %, тому цей шлях збільшення променевого потоку малоефективний.

На рисунках 2.8 – 2.11 представлені графіки залежності теплотехнічних характеристик U- образного "темного" трубного випромінювача від  $\alpha$  - кута

нахилу бічних стінок відбивача до горизонту. При його зміні відбувається збільшення площі поверхні відбивача. Тому результати розрахунків при варіюванні аналогічні результатам розрахунків при варіюванні  $H$ .

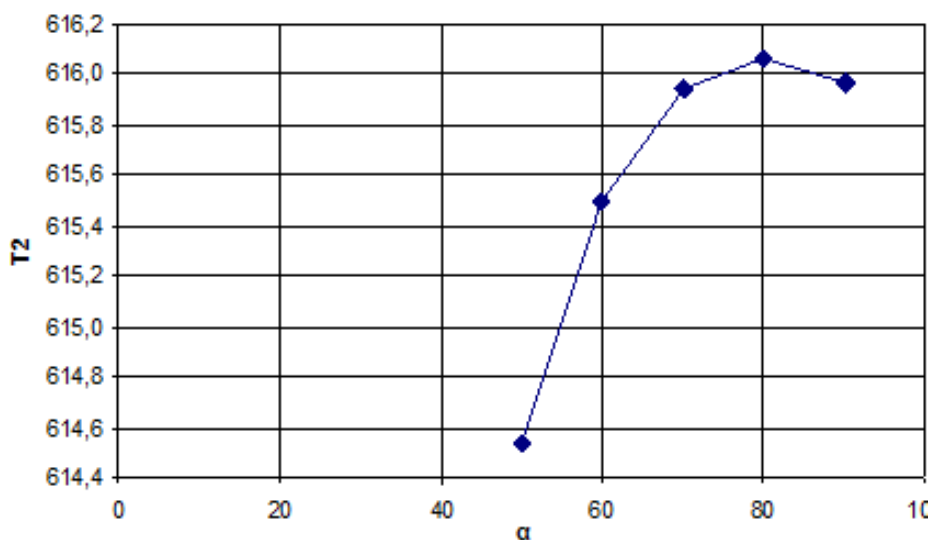


Рисунок 2.8 – Температура відбивача при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

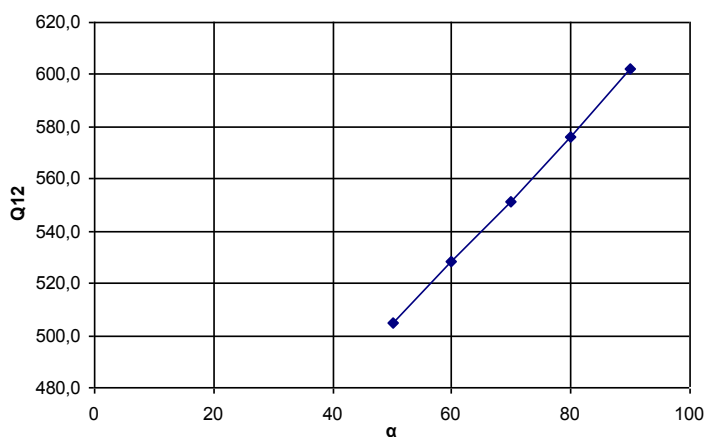


Рисунок 2.9 - Сумарний тепловий потік при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

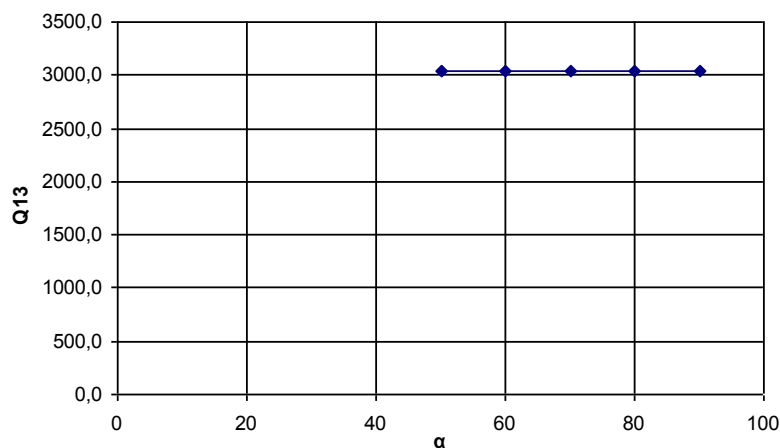


Рисунок 2.10 – Результовий тепловий потік від палинкової гілки при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

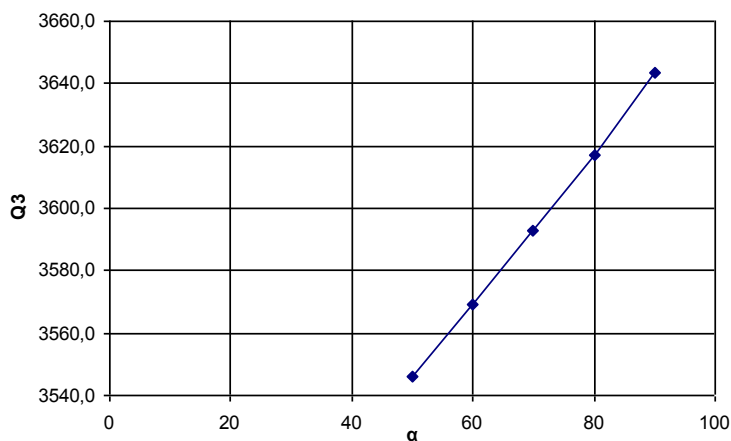


Рисунок 2.11 - Результовий тепловий потік від відхідної гілки при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

Бачимо, що при значному збільшенні  $\alpha$  (на  $40^\circ$ ) підвищення променистого теплового потоку відбувається лише на 2,8%. Слід, що можна рекомендувати максимальне значення  $\alpha$  на рівні  $50^\circ - 60^\circ$ .

На рисунках 2.12 – 2.15 представлені графіки залежності температури відбивача  $T_2$  і теплових потоків від палинкової і відхідної гілок на відбивач при зміні температури палинкової гілки ( $T_1'$ ) від 700 К до 850 К при постійному значенні  $T_1''$ .

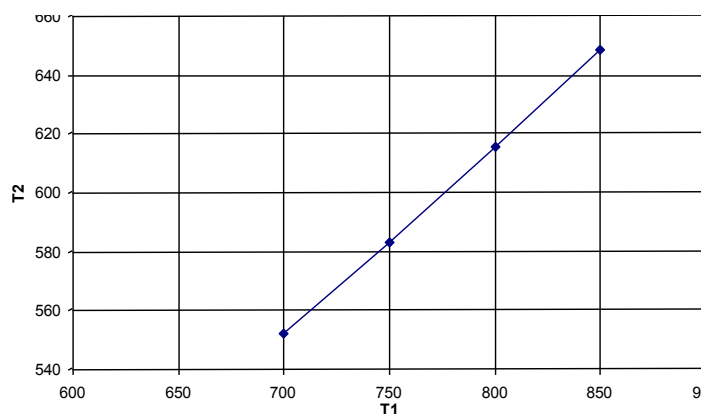


Рисунок 2.12 - Температура відбивача при зміні температури пальникової гілки

При зміні  $T_1'$  на 150 К,  $T_2$  збільшується від 550 К до 650 К, тобто на кожні 3 К зміни температури пальникової гілки відбувається збільшення температури відбивача на 2 К (див. рис. 2.12).

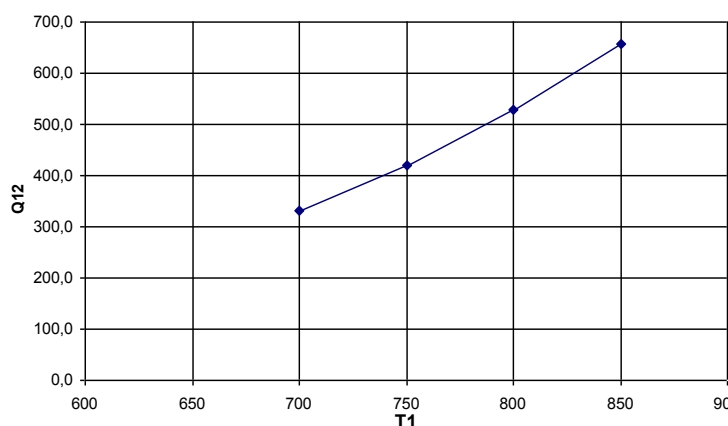


Рисунок 2.13 - Сумарний тепловий потік при зміні температури пальникової гілки

Зміна  $T_1'$  від 700 К до 850 К призводить до різкого збільшення  $Q_{12}'$  приблизно від 420 до 985 Вт/м і до значного збільшення теплового потоку від відбивача на відхідну гілку ( $Q_{12}''$  зменшується від -87 до -327 Вт/м). Сумарний тепловий потік ( $Q_{12}' + Q_{12}''$ ) зростає від 323 до 658 Вт/м, тобто у два рази (див. рис. 2.13). З останнього графіка випливає, що при збільшенні  $T_1'$  від 700 К до 850 К різко збільшується тепловий потік на поверхню підлоги приміщення ( $Q_{13}$  зростає від 1550 до 3420 Вт/м) (див. рис. 2.14), а загальний результуючий

потік зростає від 1920 до 3790 Вт/м ( див. рис. 2.15). Таким чином, для підвищення променистого теплового потоку на поверхню підлоги приміщення доцільно збільшувати температуру паливкової гілки до 850 К (577 °С). Подальше збільшення  $T_1'$  лімітується (обмежується) наявністю жароміцних матеріалів здатних працювати тривалий час при високих температурах.

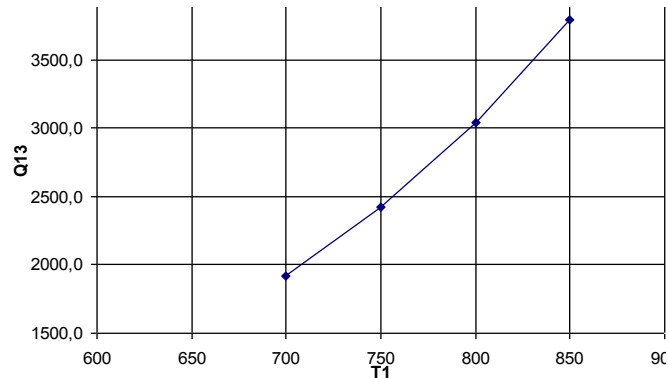


Рисунок 2.14 -Результуючий тепловий потік від паливкової гілки при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

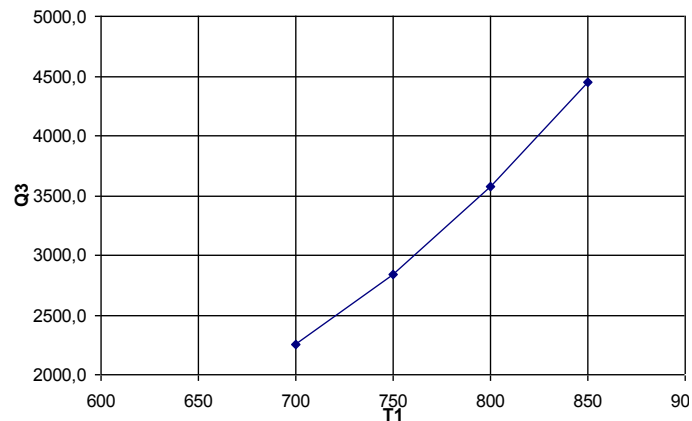


Рисунок 2.15 - Результуючий тепловий потік від відхідної гілки при зміні кута нахилу бічних стінок відбивача до горизонту

Збільшення ступеня чорноти відбивача ( $A_2$  збільшується від 0,1 до 0,9) знижує його температуру з 615 до 593 К (див. рис. 2.16), при цьому збільшується сумарний потік теплоти від обох труб на поверхню відбивача від 530 Вт/м до 1810 Вт/м (див. рис. 2.17).



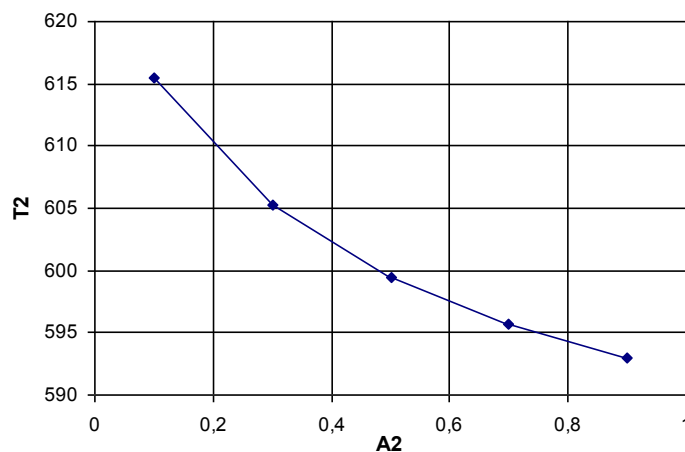


Рисунок 2.16 - Температура відбивача при зміні ступеня чорноти відбивача

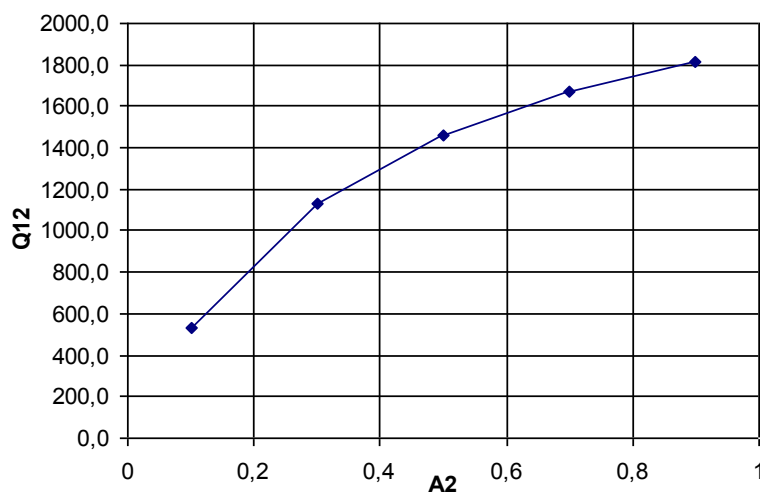


Рисунок 2.17 - Сумарний тепловий потік при зміні ступеня чорноти відбивача

Отже, від 530 В/м до 1810 В/м збільшується потік теплоти від відбивача на поверхню підлоги приміщення. Тепловий потік від випромінюючих труб не залежить від ступеня чорноти відбивача (рис. 2.17). Сумарний променистий тепловий потік теплоти на поверхню підлоги від обох труб і відбивача збільшується від 3570 до 4850 Вт/м ( див. рис. 2.19).

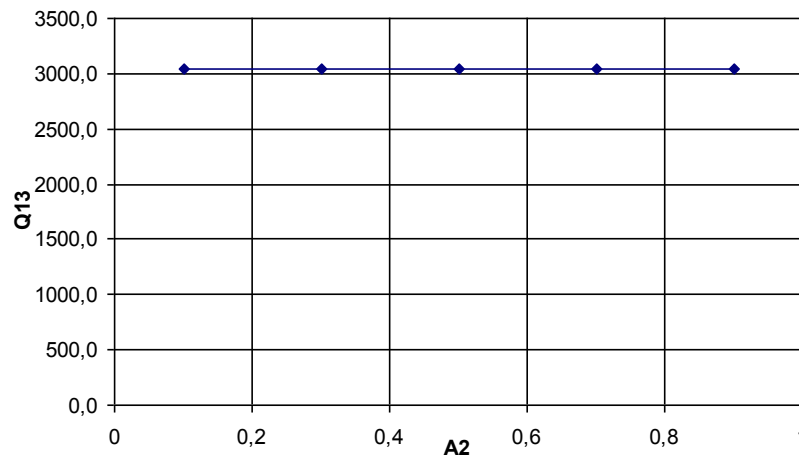


Рисунок 2.18 - Результуючий тепловий потік при зміні ступеня чорноти відбивача

Оскільки цей метод не пов'язаний зі збільшенням металоємності, можна вважати його перспективним і ефективним. Крім того, показується можливість застосування для відбивача листового металу зі звичайних вуглецевих сталей замість дорогого листового металу нержавіючих сталей або алюмінієвого листа.

Слід звернути увагу, що всі отримані результати справедливі для одновимірної моделі променистого теплообміну, тобто не враховується перенесення теплоти випромінюванням уздовж U-подібного випромінювача. Це є її недоліком. Позитивною стороною одновимірної моделі є те, що вона проста і дозволяє розкрити основні закономірності променистого теплообміну усередині U-подібного випромінювача і намітити дороги розробки ефективних випромінювачів і систем опалювання.

#### 2.4. Висновки за розділом

Для систем з однаковими діаметрами гілки пальника та відхідної гілки, отримано такі результати:

1. Зменшення  $d_1'$  - діаметру гілки пальника трохи збільшує  $\phi_{1'3}$  - долю променистої енергії з її поверхні на розрахункову поверхню  $F_3$ , зменшує  $\phi_{1'1''}$  - долю променистої енергії від гілки пальника на гілки, що відходить і

збільшує  $\varphi_{23}$ - долю променистої енергії від відбивача на розрахункову поверхню  $F_3$ . Усі 3 фактори є позитивними.

2. Зменшення  $H$  - висоти відбивача приводить до зменшення поверхні  $F_2$ ; при цьому зменшується  $\varphi_{22}$ . Оскільки зменшення  $H$  дозволяє скоротити витрату метала на виготовлення відбивача, можна передбачити, що зменшення висоти відбивача є доцільним в практиці проектування таких випромінювачів.

3. Зменшення  $S$  - відстані між всіяма гілок пальника та гілки, що відходить приводить до зменшення поверхні відбивача  $F_2$ ; при цьому зменшуються  $\varphi_{1'3}$  - долі променистої енергії, падаючої від гілки пальника на поверхню підлоги приміщення і  $\varphi_{1'2}$  - на внутрішню поверхню відбивача, одночасно збільшується  $\varphi_{1'1''}$  - доля променистої енергії, падаючої з відхідної гілк. Зменшення поверхні відбивача  $F_2$  за рахунок зменшення  $S$  приводить до зменшення  $\varphi_{23}$  - долі променистої енергії, падаючої від його внутрішньої поверхні на поверхню підлоги приміщення, що є негативним чинником. Отже, зменшувати  $S$  потрібно в кожному конкретному випадку обґрунтовано.

4. Проведено розрахункову оцінку  $T_2$  при різних значеннях коефіцієнта  $K$ , що враховує теплові втрати через стінки відбивача. Аналізуючи розрахунки, можна зробити висновки:

- температура внутрішньої поверхні відбивача зменшується із збільшенням теплових втрат;
- при зміні геометричних параметрів температура відбивача змінюється не більш, ніж на 5%.

Розрахункове значення величини  $T_2$  дозволить оцінювати потужність променистого потоку від U-подібного випромінювача на поверхню підлоги приміщення.

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Процес обігріву за допомогою інфрачервоного випромінювання відбувається за рахунок його фізичних властивостей. В основному таких, як відбивна здатність, здатність поглинання різними поверхнями і речовинами, пропускання, розсіювання і т.д. Повітря складається з молекул азоту і кисню, майже не поглинає, а розсіює частково і легко пропускає таке випромінювання. Людське ж тіло, як і будь-які об'єкти приміщення, здебільшого поглинає з цієї частини спектра електромагнітні хвилі, лише частково їх відбиваючи.

ІЧ-випромінювання широко використовується в медицині. Але застосування ІЧ-випромінювань з широким спектром дії може призвести до перегріву організму і почервоніння шкіри. Разом з тим, довгохвильове випромінювання не робить негативного впливу, тому в побуті та медицині більш поширені довгохвильові прилади або випромінювачі з селективною довжиною хвилі.

Впливом довгохвильових ІЧ-променів сприяє наступним процесам в організмі:

- нормалізація артеріального тиску за рахунок стимуляції кровообігу;
- поліпшення мозкового кровообігу і пам'яті;
- очищення організму від токсинів, солей важких металів;
- нормалізація гормонального фону;
- припинення поширення шкідливих мікробів і грибків;
- відновлення водно-сольового балансу;
- знеболювання і протизапальний ефект;
- зміцнення імунної системи.

Потрібно врахувати існуючі протипоказання, перш ніж в лікувальних цілях використовувати інфрачервоні промені. Шкода від їх застосування може бути в таких випадках:

- гострі гнійні захворювання;
- кровотечі;
- гострі запальні захворювання, що призвели до декомпенсації органів і систем;
- системні захворювання крові;
- злоякісні новоутворення.

Надмірне опромінення широким спектром ІЧ-променів призводить до сильного почервоніння шкіри і може викликати опік. Відомо про випадки появи пухлини на обличчі у робітників-металургів в результаті тривалого впливу цього виду випромінювання. Також відзначені випадки появи дерматиту, виникнення теплового удару.

Інфрачервоні промені, особливо в інтервалі (0,76...1,5) мкм (короткохвильова область) становлять небезпеку для очей. Тривалий вплив випромінювання загрожує розвитком катаракти, світлобоязні та інших порушень зору. З цієї причини небажано довго перебувати під впливом короткохвильових обігрівачів. Чим ближче до такого обігрівача знаходиться людина, тим менше має бути час, який вона проводить біля цього приладу. Потрібно відзначити, що цей тип обігрівачів призначений для вуличного або локального обігріву. Для опалення житлових і виробничих приміщень, призначених для тривалого перебування людей, використовуються довгохвильові ІЧ-обігрівачі.

### 3.2 Виробнича санітарія

При проведенні гігієнічної оцінки повітряно-теплового режиму у приміщеннях слід враховувати: площу приміщення на 1 студента, об'єм, коефіцієнт аерації, тривалість провітрювання приміщень, систему вентиляції,

режим її роботи і технічне обслуговування, режим прибирання приміщень, заходи щодо запобігання заносу пилу в аудиторії.

При лабораторних дослідженнях необхідно: проводити вимірювання температури повітря у приміщеннях (з урахуванням зовнішньої), відносної вологості, швидкості руху повітря, радіаційної температури, концентрації CO<sub>2</sub>, CO, формальдегіду та інших хімічних речовин (відповідно до будівельних матеріалів, які використані). Також необхідно визначати вміст пилу і бактеріальне забруднення.

У приміщеннях вищих навчальних закладах (ВНЗ) відносна вологість повітря має бути (40-60) %; температура повітря кабінетах (17-20) °С.

Критеріями нормування повітряного обміну приміщень ВНЗ слід приймати динаміку температури, відносної вологості повітря, рівня його бактеріального забруднення, кількості пилу, концентрацію CO<sub>2</sub>, константу зникнення від'ємних іонів.

У навчальних приміщеннях необхідно організовувати широку аерацію та повітряний обмін через системи вентиляційних каналів.

При проектуванні у будівлі припливно-витяжної системи слід передбачати автоматичне управління системами безпосередньо у приміщеннях, для забезпечення у робочий час розрахункових рівнів температури і відносної вологості повітря.

У позаурочний час в приміщенні повинна підтримуватись температура не нижче 15 °С. Температура опалювального приладу у робочий час повинна бути не вищою 40 °С. Рециркуляція повітря у системах повітряного опалювання навчальних приміщень не допускається.

Опалювальні прилади в навчальних приміщеннях слід закривати легкою дерев'яною або металевою решіткою. Не допускається використання дерев'яно-стружкових та дерев'яно-волокнистих плит. При розміщенні опалювальних приладів у стінах, підлозі температура стін повинні бути (33...38) °С, підлоги – (18,5...28) °С, підвіконня – (40...45) °С,

стелі – (29...32) °С при температурі повітря у приміщенні 21 °С і вище. Найбільш раціональне розміщення опалювальних приладів у стелі та підлозі.

Усі навчальні приміщення ВНЗ повинні мати природне освітлення. Незалежно від розміщення вікон (збоку, зверху) в навчальних приміщеннях світло повинно падати на робочі місця зліва. Оптимальний рівень природного освітлення забезпечується при верхньому і боковому освітленні приміщень. Забороняється облаштовувати навчальні приміщення так, щоб світловий потік був спрямований праворуч, спереду від студентів.

Орієнтація вікон навчальних приміщень повинна відповідати вимогам ДБН В.2.2-3-97. В умовах світлового поясу України (53 град. північної широти) - найбільш високий рівень природного освітлення, і тому максимальну кількість приміщень школи необхідно орієнтувати на цей бік горизонту. Забороняється орієнтувати навчальні приміщення на північ.

При стрічковому заскленні, а також орієнтації на південь-схід, південь-захід, захід обов'язкове облаштування сонцезахисними засобами (штори із тканини з достатніми світлопропускними можливостями - поплін, штапель, підйомно-поворотні жалюзі тощо). При відсутності прямого попадання сонячного променя на робочі місця учнів штори повинні знаходитись в міжвіконних простінках і не закривати вікна. Ламбрікени не повинні сягати нижче верхньої частини віконної рами. Для забезпечення оптимального природного освітлення навчальних приміщень необхідно мити вікна не менше 2-х разів протягом навчального року.

Природне освітлення повинно бути рівномірним і не створювати блиску. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) в навчальних приміщеннях повинен дорівнювати 2,5 % на робочих місцях 3-го ряду парт (1 м від внутрішньої стіни). При двобічному освітленні мінімальне значення КПО визначається на другому ряді парт. Рівномірність освітлення на робочому місці (відношення мінімального рівня освітлення до максимального) повинна складати не більше 0,3.

В Україні необхідно підвищувати рівень освітлення навчальних приміщень за допомогою штучного освітлення. Для освітлення третього ряду парт слід у навчальних приміщеннях передбачати окреме включення другого від вікон ряду електроламп.

Рівень штучного освітлення і електротехнічне устаткування навчальних приміщень, освітлення території ВНЗ повинні відповідати СНІП П-4-79, ДБН В.2.2-3-97.

Штучне освітлення приміщень ВНЗ може бути забезпечено люмінесцентними лампами та лампами розжарювання з відповідною арматурою, яка повинна давати розсіяне світло, бути безпечною та надійною. Рівень штучного освітлення навчальних приміщень шкіл при використанні ламп розжарювання 150 лк і 300 лк при лампах люмінесцентних.

Люмінісцентні світильники повинні давати розсіяне світло, а для ламп розжарювання - повністю відбите світлорозповсюдження.

При штучному освітленні навчальних приміщень слід надавати перевагу люмінесцентним лампам (ЛТБ та інші), що мають позитивний висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи.

Із люмінесцентних світильників для навчальних приміщень можна використовувати серії ЛСО-02 (підвісний світильник розсіяного світла) і ЛПО-23 (стелевий для громадських приміщень

У навчальних приміщеннях світильники слід розміщувати в 2 ряди паралельно до лінії вікон на відстані 1,5 м від зовнішньої і внутрішньої стін, 1,2 м - від дошки, 1,6 м - від задньої стіни. Відстань між рядами світильників повинна бути (2,5...2,65) м.

Питома потужність люмінесцентного освітлення повинна бути (24-28) Вт/м<sup>2</sup>, при лампах розжарювання - 48 Вт/м<sup>2</sup>.



### 3.3 Електробезпека

Відповідно до Правил будови електроустановок, приміщення за небезпекою електротравм поділяються на три категорії: без підвищеної небезпеки; з підвищеною небезпекою; особливо небезпечні.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм. До чинників підвищеної небезпеки належать: температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35 °С; відносна вологість більше 75 %, але менше повного насичення (100 %); струмопровідна підлога - металева, бетонна, цегляна, земляна тощо; струмопровідний пил; можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

До чинників особливої небезпеки електротравм належать: відносна вологість близька до насичення (до 100 %); агресивне середовище, що пошкоджує ізоляцію. Якщо в приміщенні відсутні чинники підвищеної і особливої небезпеки, то воно належить до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм. За наявності одного з чинників підвищеної небезпеки, приміщення належить до приміщень підвищеної небезпеки електротравм.

За наявності одночасно двох чинників підвищеної небезпеки або одного чинника особливої небезпеки, приміщення вважається особливо небезпечним. Класифікація приміщень за небезпекою електротравм враховує тільки особливості цих приміщень, стан їхнього середовища і не враховує електротехнічних параметрів електроустановок. Категорія приміщень є одним з основних чинників, які визначають вимоги щодо виконання електроустановок, безпечної їх експлуатації, величини напруги, заземлення (занулення) електроустановок. Умови поза приміщеннями прирівнюються до особливо небезпечних.

До електротехнічного персоналу відносяться особи, які зайняті на

обслуговуванні та експлуатації електроустановок. Їх умовно поділяють на такі групи:

- адміністративно - технічний персонал (начальники служб, цехів, майстри);
- оперативний персонал (черговий персонал, який безпосередньо обслуговує електростанції);
- ремонтний персонал (працівники ремонтно-налагоджувальних служб з обслуговування електростанцій);
- ремонтно - оперативний персонал особи, які оперативно обслуговують електростанції, де немає чергового персоналу).

До роботи з електрикою допускаються особи відповідних кваліфікаційних груп з електробезпеки із оформленням наряду - допуску або розпорядженням, де визначаються: допуск до роботи; нагляд під час роботи; оформлення перерви в роботі; переведень на інші робочі місця і закінчення роботи.

Відповідальними за безпеку роботи є особи, які видають розпорядження або наряд-допуск.

Для забезпечення електробезпеки використовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби:

- захисне заземлення;
- занулення;
- вирівнювання потенціалів;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- огорожувальні пристрої;
- попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки;
- засоби захисту та запобіжні пристрої.

Для захисту людей від ураження електрострумом внаслідок пошкодження ізоляції і переході напруги на струмопровідні частини машин,

механізмів, інструментів застосовують захисне заземлення чи занулення.

Заземлення здійснюється за допомогою природних, штучних або змішаних заземлювачів.

Заземлення і занулення забезпечують спрацювання приладів захисту, швидке автоматичне вимикання пошкодженої установки від мережі.

Захисне заземлення і занулення виконують з метою: забезпечення нормальних режимів роботи установки; забезпечення безпеки людей при порушенні ізоляції мережі струмопрвідних частин; захисту електроустаткування від перенапруги; захисту людей від статичної електрики.

Захисне відімкнення використовується у тих випадках, коли інші захисні заходи (заземлення, занулення) ненадійні, їх важко здійснити ( в умовах вічної мерзлоти), багато коштують або у випадках, коли до безпеки обслуговування пред'являють підвищенні вимоги (в шахтах, кар'єрах), а також у пересувних електроустановках. Найбільше розповсюдження устрої захисного відімкнення знайшли в мережах до 1000 В. Захисне відімкнення обов'язкове для ручних електроінструментів.

Основні вимоги, яким повинні відповідати устрої захисного відімкнення: висока чутливість, малий час відімкнення, здатність здійснювати самоконтроль справності, надійність.

До захисту від дотику до частин, що знаходяться під напругою, використовується також подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції. Робоча ізоляція - ізоляція струмоведучих частин електроустановки. Додаткова ізоляція найбільш просто здійснюється виготовленням корпусу з ізоляційного матеріалу (електропобутові прилади).

Огороджувальні переносні засоби призначені для тимчасового огороження струмоведучих частин і запобігання помилкових операцій з комутаційною апаратурою. До них належать ізоляційні накладки, ковпаки, переносні заземлення (заземлювачі) та плакати, переносні щити, клітки.

Часто використовується звукова та світлова сигналізація, надписи,

плакати та інші засоби інформації, що попереджують про небезпеку.

Блокування застосовується в електроустановках напругою вище 220 В, в яких часто ведуться роботи на струмоведучих частинах, що огорожуються. Блокування забезпечує зняття напруги із струмоведучої частини електроустановки під час проникнення до них без зняття напруги. За принципом дії блокування поділяють на механічне, електричне та електромагнітне. Електричне блокування здійснює розрив мережі контактами, що встановлені на дверях огорожувальних пристроїв, кришках і дверцятах кожухів. Механічне блокування використовують в електричних апаратах (рубильниках, автоматах). В апаратурі автоматики, обчислювальних машинах використовують блочні схеми: коли блок видаляється зі свого місця, штепсельний роз'єм розмикається.

Вимоги до електрозахисних засобів наведені в Правилах експлуатації електрозахисних засобів НПАОП 40.1—1.07—01.

### 3.4 Пожежна безпека

Меблі і обладнання слід розміщати так, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до виходу з приміщення. Навпроти дверного прорізу необхідно залишити прохід, який повинен дорівнювати ширині дверей, але не менше 1,0 м.

Евакуаційні шляхи ( проходи, коридори, вестибулі, сходові марші тощо) й виходи слід постійно утримувати вільними, нічим не захащувати.

Забороняється:

- знімати з дверей пристрої для самозачинення, фіксувати такі двері у відчиненому положенні;
- зберігати, в тому числі тимчасово, інвентар та різні матеріали у тамбурах виходів, у шафах (нішах) для інженерних комунікацій.

Заряджання та перезаряджання вогнегасників повинно виконуватись

відповідно до інструкції з їх експлуатації. Перезаряджанню підлягають також вогнегасники із зірваними пломбами.

Зберігання матеріалів навалом та впритул до приладів і труб опалення не дозволяється.

Силове й освітлюване електроустаткування, електропроводка та інші споживачі електроенергії повинні виконуватись та експлуатуватися відповідно до ПБЕЕС та Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів ( ПТЕЕС).

Електропроводка, розподільні пристрої, апаратура, електрообладнання, вимірювальні прилади, а також запобіжні пристрої різного типу, рубильники та інші пускові апарати й пристрої слід монтувати на негорючих основах ( текстоліт, гетинакс та інші матеріали ).

Приєднання нових споживачів електричної енергії ( електродвигунів та іншого електрообладнання) повинно проводитися з відома відповідального за експлуатацію електрогосподарства в академії. Зіпсовані електроапарати та прилади, які можуть спричинити коротке замикання, слід терміново ремонтувати або замінити на інші.

Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням номінального струму вставки ( клеймо заводу-виробника або електричної лабораторії). Використання саморобних некаліброваних плавких вставок забороняється.

Настільні лампи, вентилятори, холодильники та інші електроприлади слід умикати в мережу тільки через справні штепсельні розетки й електрошнури.

Експлуатація тимчасових електромереж забороняється.

Заміри опору ізоляції в силових та освітлювальних мережах необхідно проводити не рідше одного разу на два роки.

Забороняється встановлення електропобутових приладів ( телевізорів, холодильників тощо ) в нішах меблів.

Під час експлуатації побутових кондиціонерів забороняється:

- використовувати як опорні конструкції горючі елементи рам ( у разі встановлення кондиціонера у віконному прорізі );
- кустарно (самотужки) переобладнувати кондиціонери;
- замінювати триполюсні штепсельні роз'єднувачі на двополюсні;
- встановлювати кондиціонери у внутрішніх протипожежних перегородках та стінах.

#### Заходи пожежної безпеки

Не застосовувати для гасіння електроустановок, дротів, що знаходяться під напругою, а також для гасіння речовин, утворюючих з водою горючі і вибухонебезпечні з'єднання і гази.

Для зручності і вмісту первинних засобів пожежегасіння встановлюються пожежні щити. На них кріпляться вогнегасники ( не менш 2-х штук), лопата, багор, кирка і поруч - ящик з піском.

Для локалізації невеликих вогнищ загоряння необхідно мати полотна з азбесту або грубошерстної тканини. Пожежні щити забарвлюються в біло-червоний колір і розташовуються на видному і доступному місці.

### 3.5 Розрахунок автоматичної установки газового пожежогасіння

Виконаємо розрахунок автоматичної установки газового пожежогасіння для будівлі, де встановлено інфрачервоні обігрівачі.

Розрахункова кількість вогнегасної речовини, кг, при об'ємному гасінні

$$q_p = k \cdot q_n \cdot V , \quad (3.1)$$

де  $k$  - коефіцієнт компенсації враховуються втрат вогнегасної речовини, що приймається для будівель і приміщень з прорізами 1,2;

$V$  - об'єм приміщення, що підлягає, м<sup>3</sup>;

$q_n$  - норма витрати вогнегасної речовини, що дорівнює 0,22 кг/м<sup>3</sup>.

$$q_p = 1,2 \cdot 346 \cdot 0,22 = 91,3.$$

Загальна кількість вогнегасної речовини, кг

$$q_{заг} = 1,1 \cdot q_p \cdot \left( 1 + \frac{k_2}{k} \right), \quad (3.2)$$

де 1,1 - коефіцієнт, що враховує залишок вогнегасної речовини в балонах;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує залишок вогнегасної речовини в трубопроводах, що приймається за таблицею СН- 75- 76 рівним 0,5;

$$q_{заг} = 1,1 \cdot 91,3 \cdot \left( 1 + \frac{0,5}{1,2} \right) = 142,2.$$

Розрахункова кількість балонів з вогнегасною речовиною, од

$$n = \frac{q_{заг}}{q_{бал}}, \quad (3.3)$$

де  $q_{бал}$  – кількість вогнегасної речовини, що заряджається в балон ємністю 40 л, прийняте для хладону 46 кг.

$$n = \frac{142,2}{46} = 3,09.$$

Фактична кількість вогнегасної речовини, кг

$$q_{ф} = n_{ф} \cdot q_{бал}. \quad (3.4)$$

де  $n_{ф}$  – фактично прийняте кількість балонів, шт.

$$q_{ф} = 3 \cdot 46 = 138.$$

Певні фактичні кількості вогнегасної речовини і балонів подвоюють, так як установка газового пожежогасіння повинна мати, крім розрахункового, 100% - ний резервний запас.

$$q_{\phi} = 2 \cdot 138 = 276 .$$

$$n_{\phi} = 2 \cdot 3 = 6 .$$

Діаметр умовного проходу магістрального проходу магістрального трубопроводу, мм

$$d_m = d_c \cdot \sqrt{n_{\phi}} , \quad (3.5)$$

де  $d_c$  – внутрішній діаметр сифонної трубки балона, рівний 10 мм.

$$d_m = 10 \cdot \sqrt{6} = 24,5 .$$

Розрахункова довжина магістрального трубопроводу, м

$$l_p = k_1 \cdot l , \quad (3.6)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт збільшення довжини трубопроводу для компенсації невраховуваних місцевих втрат, що приймається при  $d_m = 35$  мм рівним 1,2;

$l$  – фактична довжина трубопроводу за проектом, м.

$$l_p = 1.2 \cdot 100 = 120 .$$

Площа перетину вихідного отвору зрошувача, мм<sup>2</sup>

$$S_0 = \frac{S_m \cdot c}{n_0} , \quad (3.7)$$



де  $S_m$  - площа перерізу магістрального трубопроводу, мм<sup>2</sup>;

$n_0$  - кількість зрошувачів, шт;

$c$  – коефіцієнт, що враховує сумарну площу перетину зрошувачів залежно від виду вогнегасної речовини, що дорівнює 1,3.

$$S_0 = \frac{50,2 \cdot 1,3}{6} = 10,9.$$

Площа перетину розподільного трубопроводу, мм<sup>2</sup>

$$S_p = \frac{\sum S_0}{c}, \quad (3.8)$$

де  $\sum S_0$  - сума площ перетинів вихідних отворів зрошувачів на даному розподільчому трубопроводі, мм<sup>2</sup>.

$$S_p = \frac{66}{1,3} = 51.$$

Діаметр умовного проходу розподільного трубопроводу, мм

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}}, \quad (3.9)$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 51}{3,14}} = 65$$

Розрахунковий час подачі вогнегасної речовини, с

$$t = \frac{q_\delta}{60 \cdot q_c}, \quad (3.10)$$

де  $q_c$  – секундний витрата вогнегасної речовини, що дорівнює  $0,05 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  за додатком 1 до СН 75-76 [14].

$$t = \frac{276}{60 \cdot 0,05} = 92.$$

З усього вищесказаного можна зробити висновок, що на зазначеному об'єкті забезпечується пожежна безпека, завдяки впровадженню установки автоматичного газового пожежогасіння, де в якості вогнегасної речовини застосовується фреон 114В2.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень променевого теплообміну при опалюванні «темними» U-подібними трубними випромінювачами встановлено:

1. Перевагою обладнання систем промінистого випромінювання є підвищення комфорту при їх застосуванні, завдяки однорідності температури на всій поверхні, що обігривається. Також забезпечується висока селективність обігріву приміщення, що веде к додатковому зниженню експлуатаційних витрат.

2. Для систем з однаковими діаметрами гілки пальника та відхідної гілки, отримано такі результати:

- зменшення  $d_1'$  - діаметру гілки пальника трохи збільшує  $\varphi_{1'3}$  - долю променистої енергії з її поверхні на розрахункову поверхню  $F_3$ , зменшує  $\varphi_{1'1'}$  - долю променистої енергії від гілки пальника на гілки, що відходить і збільшує  $\varphi_{23}$  - долю променистої енергії від відбивача на розрахункову поверхню  $F_3$ . Усі 3 фактори є позитивними.

- зменшення  $H$  - висоти відбивача приводить до зменшення поверхні  $F_2$ ; при цьому зменшується  $\varphi_{22}$ . Оскільки зменшення  $H$  дозволяє скоротити витрату метала на виготовлення відбивача, можна передбачити, що зменшення висоти відбивача є доцільним в практиці проектування таких випромінювачів.

- зменшення  $S$  - відстані між вісями гілок пальника та гілки, що відходить приводить до зменшення поверхні відбивача  $F_2$ ; при цьому зменшуються  $\varphi_{1'3}$  - долі променистої енергії, падаючої від гілки пальника на поверхню підлоги приміщення і  $\varphi_{1'2}$  - на внутрішню поверхню відбивача, одночасно збільшується  $\varphi_{1'1''}$  - доля променистої енергії, падаючої з відхідної гілки.

- зменшення поверхні відбивача  $F_2$  за рахунок зменшення  $S$  приводить до зменшення  $\varphi_{23}$  - долі променистої енергії, падаючої від його внутрішньої

поверхні на поверхню підлоги приміщення, що є негативним чинником. Отже, зменшувати  $S$  потрібно в кожному конкретному випадку обґрунтовано.

3. Проведено розрахункову оцінку  $T_2$  при різних значеннях коефіцієнта  $K$ , що враховує теплові втрати через стінки відбивача. Розрахункове значення величини  $T_2$  дозволить оцінювати потужність променистого потоку від U-подібного випромінювача на поверхню підлоги приміщення.

4. Розглянуті основні небезпечні фактори у будівлі, де розташовані інфрачервоні обігрівачі та запропоновані заходи щодо їх усунення. Розраховано систему автоматичного пожежогасіння

Таким чином, проведені в магістерській роботі дослідження дозволяють спроектувати систему опалення з науково-обґрунтованими раціональними геометричними та технічними характеристиками «темного» U-подібного трубного випромінювача. Це надасть можливість створювати комфортні умови у приміщенні, зменшити металоємність конструкції та зменшити витрати природного газу. Все це є ефективними заходами енерго- та ресурсозбереження.

У розділі охорони праці розглянуті основні небезпечні фактори у будівлі, де розташовані інфрачервоні обігрівачі та запропоновані заходи щодо їх усунення. Розраховано систему автоматичного пожежогасіння.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Інфрачервоні випромінювачі [Текст] / Т. Бураковський, Е. Гізіньській, А. Саля. - Пер. з пол., Л.: Енергія, 1978. - 408 с.
2. Афонін О.В. Випромінювання в інфрачервоному діапазоні хвиль і їх вимірювання [Текст] / А.В. Афонін, А.І. Таджібаєв, В.В. Титков. - СПб.: ПЕШК, 2007. - 120 с.
3. Міссенар А. Променеve опалення та охолодження [Текст] / М.: Госстройиздат, 1961. - 299 с.
4. Левітін І.Б. Інфрачервона техніка [Текст] / І.Б. Левітін. - Л.: Енергія, 1973. - 158 с.
5. Москаленко Н.І. Моделювання переносу теплового випромінювання в високотемпературних середовищах [Текст] / Н.І. Москаленко, А.Г. Філімонов // Изв. вузів: Проблеми енергетики, Казань. - 2001, №11-12, с.27 - 41.
6. Борхерт Р. Техніка інфрачервоного нагріву [Текст] / Р. Борхерт, В. Юбіц // пров. з нім. під ред. І. Б. Левітіна. - М. - Л.: Госенергоиздат, 1963. - 278 с.
7. Батурин В.В. Основи промислової вентиляції [Текст] / В.В. Батурин. - М.: Профиздат, 1990. - 448 с.
8. Іціксон, Б.С. Інфрачервоні газові випромінювачі [Текст] / Б.С. Іціксон, Ю. Л. Денисов. - М.: Недра, 1969. - 277с.
9. Ширманом М.В. Розрахунок теплообміну випромінюванням в топках енергетичних котлів в Р5 - наближенні методу сферичних гармонік [Текст] / М.В. Ширманом // Автореферат дис ... канд. техн. наук, Казань, 2011. - 16 с.
10. Богословський В.І. Будівельна теплофізика [Текст] / В.М. Богословський. М.: Вища школа, 1982. - 415 с.
11. Родін А.К. Газове променисте опалення [Текст] / А.К. Родін. - Л.: Недра, 1987. - 191 с.

12. Родін А.К. Застосування випромінюючих пальників для опалення [Текст] / А.К. Родін. -Л .: Недра, 1976. - 117 с.
13. Богуславський Л.Д. Зниження витрати енергії при роботі систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря [Текст] / Л.Д. Богуславський. - М .: Стройиздат, 1982. - 256 с.
14. Богословський В.Н. Тепловий режим будівлі [Текст] / В.М. Богословський. - М .: Стройиздат., 1979. - 248 с.
15. Сканаві А.Н. Конструювання і розрахунок водяного і повітряного опалення будівель [Текст] / О.М. Сканаві / 2-е вид. - Перепр. і доп. - М.: Стройиздат, 1983. - 304 с.
16. Сканаві А.Н. Опалення [Текст] / О.М. Сканаві // Підручник для технікумів. - 2-е вид., Перепр. і доп. - М .: Стройиздат, 1988. - 416 с.
17. Довідник проектувальника. Внутрішні санітарно-технічні пристрої в трьох частинах. Частина перша. Опалення, водопровід, каналізація [Текст] // під. ред. І.Г. Староверова. Вид. 3-е, перепр. і доп. - М .: Стройиздат, 1975. - 429 с.
18. Рубцов В.В. Застосування методу послідовних двосторонніх наближень до вирішення стаціонарних завдань радіаційно-кондуктивного теплообміну [Текст] / В.В. Рубцов // Изв. ВНЗ. Чорна металургія, 2003 №7. - С. 49-53.
19. Сканаві А.Н. Опалення [Текст] / О.М. Сканаві, Л.М. Махов. - М.: АСВ, 2002. - 522 с.
20. Мачкаші А. Промєневе опалення [Текст] / А. Мачкаші, Л. Банхїді. - пер. з угорського В.М. Беляєва, під ред. В.Н. Богословського і Л.М. Махова. - М .: Стройиздат, 1985. - 464 с.
21. Банхїді Л. Тепловий мікроклїмат примїщень [Текст] / Л. Банхїді. - М .: Стройиздат, 1981.-241 с.
22. Бистрицький Г. Ф. Основи енергетики: Підручник [Текст] / Г. Ф. Бистрицький. - М .: ИНФРА - М, 2007. - 278 с.

23. Fänger P.O. Thermal comfort [Text] / P.O. Fänger. - Mc Grow Hill Book Co. New York, 244, p. 1 973.
24. Богословський В.Н. Опалення [Текст] / В.М. Богословський, А.Н. Сканаві. - М.: Стройиздат, 1991. - 735 с.
25. Табунників, Ю.А. Розрахунки температурного режиму приміщення і необхідної потужності для його опалення або охолодження [Текст] / Ю.А. Табунників. - М.: Стройиздат, 1981.-82 с.
26. Табунників Ю.А. Математичне моделювання та оптимізація теплової ефективності будівель [Текст] / Ю.А. Табунників, М.М. Бродач. - М.: АВОК-Пресс, 2002. - 194 с.
27. Табунників Ю.А. Розрахунок тепловтрат приміщення при роздільному обліку конвективного і променистого теплообміну [Текст] / Ю.А. Табунників. - АВОК. - 2007. - №8. - С.64-66.
28. Бродач М.М. Підвищення теплової ефективності будівель оптимізаційними методами [Текст] / М.М. Бродач // автореферат дис. канд. техн. наук. - М.: НИИСФ, 1998. - 23 с.
29. Сперроу Е.М. Теплообмін випромінюванням [Текст] / Е.М. Сперроу, Р.Д. Сесс. - М.: Енергія, 1971. - 282 с.
30. Ісаченко В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Ісаченко, В.А. Осипова, А.С. Суко- крейда. - М.: Енергоіздат, 1981.-416 с.
31. Мучник Г.Ф. Методи теорії теплообміну. Теплове випромінювання [Текст] / Г.Ф. Мучник, І.Б. Рубашов. - М.: Вища школа, 1974. - 272 с.
32. Зігель Р. Теплообмін випромінюванням [Текст] / Р. Зігель, Дж. Хауелл - пров. з англ., - М.: Світ, 1975.-934 с.
33. Кутателадзе С.С. Основи теорії теплообміну / С.С. Кутателадзе. - М. - Ленінград, Машгиз, 1962. - 456 с.
34. Гаряев А.Б. Енергозбереження в енергетиці та технологіях. Енергозбереження в низькотемпературних процесах і технологіях [Текст] /

А.Б. Гаряев, О.Л. Данилов, А.Л. Єфімов, І.В. Яковлєв // Навчальний посібник. - М.: Изд. МЕІ, 2002. - 60 с.

35. Ахмедов Р.Б. Раціональне використання газу в енергетичних установках [Текст] / Р.Б. Ахмедов, О.Н. Брюханов, А.С. Іссерлін і ін. // Довідник. - Л.: Недра, 1990. - 423 с.

36. 38. Латієв Л.Н. Випромінювальні властивості матеріалів [Текст] / Л.М. Латієв, В.А. Петров, В.Я. Чеховський, Е.Н. Шестаков. - М.: Енергія, 1974. - 470 с.

37. Агабабов С.Г. Вплив геометричних характеристик рельєфу поверхні твердого тіла на його радіаційні властивості [Текст] / С.Г. Агабабов, Л.І. Екслер // Теплофізика високих температур. - М.: Наука, 1971. - Т. 9, №3. - С. 522 - 524.

38. Рахімов Р.Х. Керамічні матеріали і їх застосування. Частина 2 [Текст] / Р.Х. Рахімов, М.М. Тихонова. - Ташкент, 2002. - 656 с.

39. Миколаїв Н.А. Ефективність систем променевого опалення в промисловості та енергетиці [Текст] / Н.А. Миколаїв, Б.М. Зиганшин // Праці Академенерго. - 2006. - №3 - С. 38 - 48.

40. Рубцов В.В. Радіаційно-кондуктивний теплообмін в системі плоско-паралельних теплопровідних пластин, розділених поглинаючим й розсіюючим середовищем [Текст] / В.В. Рубцов // Изв. ВНЗ. Чорна металургія, 2007. - М.: НІТУ «МІСіС», №1, с. 47-50.

41. Брюханов О.М. Радіаційний газовий нагрів [Текст] / О.М. Брюханов, Е.В. Крайній, Б.С. Мастрюков. - Л.: Недра, 1989. - 296 с.

42. Летавет А.А. Дослідження за радіаційним теплообміном з навколишнім середовищем [Текст] / А.А. Летавет, А.Е. Малишева // Гігієна і санітарія. - М.: Медицина, 1941. - №4, с. 25-33.

43. Пономарьова Н.К. Основні гігієнічні параметри систем променистого опалення [Текст] / М.К. Пономарьова // Водопостачання та санітарна техніка. - М.: Вид-во ВСТ, 1957. - №8. - С. 19-24.



44. Царюк Н.Б. Особливості теплообміну дітей в умовах високих температур приміщення [Текст] / Н.Б. Царюк // Гігієна і санітарія. - М.: Медицина, 1963. - №4, с.37-41.

45. Гвозденко Л.А. Обґрунтування допустимих нормативів опромінення інфрачервоним випромінюванням в залежності від його спектрального складу [Текст] / Л.А. Гвозденко // Медицина праці та промислова екологія. - М.: Установа РАМН НДІ медицини праці РАМН, 1999, №12.-С. 13-18.

46. Губернський Ю.Д. Біологічна дія інфрачервоної радіації і гігієнічне нормування мікроклімату при променистому обігріві житла [Текст] / Ю.Д. Губернський // Гігієна і санітарія. - М.: Медицина, 1965. - №4, с.81-85.

47. Ковальов А.Е. Розрахунок необхідного потоку на тіло людини при променистому обігріві [Текст] / А.Є. Ковальов, В.М. Шамарін // Гігієна праці та професійні захворювання. - М.: 1980. - №7, С. 6-7.

48. Бичков В.Я. Про вплив інфрачервоного випромінювання на організм людини та ефективності застосування індивідуальних засобів захисту [Текст] / В.Я. Бичков // Енергозберігаючі технології в промисловості.- М.: НІТУ «МИСиС», 2010. - С. 106 - 108.

49. Олексієнко О.О. Аналіз впливу інфрачервоного випромінювання з використанням інтегрального методу його оцінки [Текст] / Е.А. Алексієнко // Оптимізація виробничих процесів. - Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2000. Вип. 3. - С. 167-171.

50. Нічкова Л.А. Постановка енергетичного завдання по впливу інфрачервоного випромінювання на біологічні об'єкти з метою дозованого нормування [Текст] / Л.А. Нічкова, А.Е. Лук'янчук, В.Є. Кашірцев // Вісти. СевЕТУ.Сер. Автоматизація виробництв, процесів: Зб. науч. тр. - Севастополь, 2002. - Вип. 36 - С. 207 - 212.

51. Нічкова Л.А. Енергетична оцінка потоку інфрачервоного випромінювання незахищеного об'єкту при дозовому нормуванні [Текст] /

Л.А. Нічкова, А.Г. Лук'янчук, Л.В. Квасова // Вести. СевЕТУ.Сер. Механіка, енергетика, екологія: Зб. науч. тр. - Севастополь, 2002- Вип. 39, -С. 77-82.

52. Нічкова Л.А. Оцінка енергії інфрачервоного випромінювання захищеного об'єкта від декількох джерел при дозовому нормуванні [Текст] / Л.А. Нічкова, Л.В. Квасова, Е.Е. Стрежекуров // Вісник Совет. - Севастополь: Вид-во Совет, 2003. - Вип. 48: Механіка, енергетика, екологія. - С. 159-165.

53. Міллер К.Л. Вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання червоного та дальнього інфрачервоного діапазонів на кров [Текст] / К.Л. Міллер, І.В. Сергєєв, Д.П. Дворецький // Регіонарний кровообіг і мікроциркуляція. - СПб: ТОВ «СП Мінімакс», 2011. - №2. - С. 90-94.

54. Рахімов Р.Х. Тихонова М.М. Дальнє вузкоспектральне ІЧ-випромінювання – нові можливості в лікуванні захворювань / Р.Х. Рахімов, М.М. Тихонова // Сучасні наукові дослідження та інновації. - Жовтень, 2011. - [Електронний ресурс]. 1а: <http://web.snauka.ru/issues/2011/10/4845> (дата звернення 18.08.2009).

55. Язовцев В. В. Безпека систем газового променевого опалення [Текст] / В.В. Язовцев, В. А. Миридонов, В. А. Вершілович // АВОК. - М.: АВОК - ПРЕС, 2011. - №1. - С. 64 - 67.

56. Шивані В.В. Тепловий баланс приміщення з газовим променистим опаленням [Текст] / Л.М. Дискін, В.В. Шивані // Изв. вузів. Будівництво. - Новосибірськ: ЕОУ ВПО «НГАСУ (Сібстрін)», 2007. - №8. - С. 62-65.

57. Арутюнов В.А. Математичне моделювання теплової роботи промислових пічок [Текст] / В.А. Арутюнов, В.В. Бухміров, С.А. Крупенников. - М.: Металургія, 1990. - 364 с.

58. Низовцев М.І. Тепло- і масоперенос в енергоефективних огорожуючих конструкціях та кліматичному обладнанні будинків [Текст] / М.І. Низовцев // Автореферат дис. докт. техн. наук. - Новосибірськ: Інститут теплофізики ім. С.С. Кутателадзе, 2011. - 40 с.

59. Указ Президента України від 04.06.2008 року №889 «Про деякі заходи щодо підвищення енергетичної та екологічної ефективності

української економіки». - [Електронний ресурс]. Іде: <http://graph.document.ua/page.aspx7963479> .

60. Постанова Уряду України від 27.12.2010 року №2446-р «Енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності на період до 2020 року». - [Електронний ресурс]. Іде: <http://news.sfu-kras.ua/node/7289>.

61. Бухміров В.В. Теоретичні основи теплотехніки. Основи тепломасообміну [Текст] / В.В. Бухміров // ФГБОУ ВПО «Іванівський державний енергетичний університет імені В.І. Леніна », - Іваново, 2011. - 68 с.

62. Болотських М.М. Опромінення при інфрачервоному способі опалення виробничих приміщень [Текст] / М.М. Болотських // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. - вип.59. - С. 268-278.

63. Науменко А. В. Енергоефективні системи опалення [Текст] / А. В. Науменко, П. В. Кузнєцов, Ю. І. Толстова, Р. Н. Шумілова // навчальний посібник. - Єкатеринбург: ГОУ ВПО - УГТУ - УПІ. - 106 с.

64. Планування експерименту в дослідженні технологічних процесів [Текст] / за ред. Е. К. Лецьки. - М.: Світ, 1977. - 394 с.

65. Шипілов В. М. Планування теплофізичного експерименту [Текст] / В. М. Шипілов, Е. Н. Гнездов // Навчальний посібник. - Іваново ІвГУ, 1981. - 75 с.

66. Зиганшин Б. М. Зниження енергетичних витрат в системах опалення виробничих об'єктів радіаційними трубами [Текст] / Б.М. Зиганшин, дис. канд. техн. наук. - Казань, 2006. - 163 с.

67. Михайлова Л. Ю. Розробка методики розрахунку радіаційного опалення будівель виробничого призначення [Текст] / Л. Ю. Михайлова, дис. канд. техн. наук. - Тюмень, 2006, - 114 с.

68. Шивані В. В. Забезпечення теплового режиму виробничих приміщень системами газового променевого опалення [Текст] / В. В. Шивані, дис. канд. техн. наук. - Нижній Новгород, 2007. - 134 с.

69. Невський А. С. Променистий теплообмін в печах і топках [Текст] / А. С. Невський. - М.: Металургія, 1971. - 440 с.
70. Оцісік М. Н. Складний теплообмін [Текст] / М. Н. Оцісік. - М.: Світ, 1976. - 616 с.
71. Блох А. Г. Теплообмін випромінюванням [Текст] / А. Г. Блох, Ю.А. Журавльов, Л. М. Рижков // Довідник. - М.: Вища школа, 1991. - 432 с.
72. Детков С. П. Інженерні формули теплообміну в газових пічках [Текст] / С. П. Дітки // Вісник ОНУ: Чорна металургія, 1979, №8. - С. 112-117.
73. Бухміров В.В. Оцінка похибки спрощеного зонального методу розрахунку радіаційного теплообміну [Текст] / В.В. Бухміров, С.А. Крупенников // Изв. Вузів. Чорна металургія. - М., 1999, №4, С.75 - 76
74. Крупенников С.А. Модифікація зонального методу розрахунку радіаційного теплообміну [Текст] / С. А. Крупенников // Известия вузів. Чорна металургія, 1992, С. 102 - 103.
75. Крупенников С.А. Застосування модифікованого зонального методу для розрахунку складного теплообміну [Текст] / С. А. Крупенников // Изв. вузів. Чорна металургія, 1995, №5. - С.46 - 49.
76. Бухміров В.В. Зональні методи розрахунку радіаційного і складного теплообміну: Навчальний посібник [Текст] / В.В. Бухміров, Ю.С. Солнишкова // ФГБОУ ВПО «Іванівський державний енергетичний університет імені В. І. Леніна». - Іваново, 2012. - 96 с.
77. Малявіна Є.Г. Тепловтрати будівлі [Текст] / Є. Г. Малявіна // Довідкове посібник. - М.: АВОК - ПРЕС, 2007. - 133 с.
78. Довідник будівельника / Системи парового і променистого опалення. Системи променевого опалення. - [Електронний ресурс]. URL: <http://www.baurum.ua/library/?Cat=steam-radiant-heating&id=4047>.
79. Піжов В.К. Енергетичні системи забезпечення життя і діяльності людини: навчальний посібник [Текст] / В.К. Піжов // ГОУ ВПО ІГЕУ. - Іваново, 2008. - 496 с.

80. Соболев І.М. Метод Монте-Карло [Текст] / І.М.Соболев // 4-е вид., Перераб. і доп .. -М .: Наука, 1985.-80 с.
81. Крупенников С.А. Тепломасообмін: Радіаційний теплообмін: курс лекцій [Текст] / С.А.Крупенніков // МИСиС. - М .: «Навчання» МИСиС, 2001. - 56 с.
82. ГОСТ 25696-83. Пальники газові інфрачервоного випромінювання. Загальні технічні вимоги та приймання. - М .: Вид-во стандартів
83. СТО НП «АВОК» 4.1.5 - 2006. Системи опалення та обігріву з газовими інфрачервоними випромінювачами [Електронний ресурс]. URL: <http://www.gostrf.com/Basesdoc/49/49756/index.htm>.
84. Болотських М.М. Особливості променевого опалення учбових приміщень [Текст] / М.М. Болотських // Науковий вісник будівництва: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, вип. 57, 2010. - с. 320-328.
85. Идрисов А.З. Системи променевого обігріву з інфрачервоними випромінювачами [Текст] / А.З. Идрисов // АВОК. - М.: АВОК. - 1996. - №1. - С. 25-27.
86. Ковальов А.Е. Розрахунок потужності інфрачервоних опромінюючих установок [Текст] / А.Є. Ковальов // Водопостачання та санітарна техніка. М .: ТОВ «Видавництво ВСТ», 1983. - №2. - С. 27-28. '
87. Бухміров В.В. Експериментальне дослідження системи опалення з інфрачервоними випромінювачами [Текст] / В.В. Бухміров, Ю.С. Солнишкова, М.В. Пророкова // Вісник ІГЕУ. - 2011. - Вип.3. - С. 12-16.
88. Шумилов Р. Н. Особливості проектування систем променевого опалення з використанням газу [Електронний ресурс] / Р. Н. Шумилов, Ю.І. Толстова, А.А. Поммер // видання сік-онлайн, 2008. - №2.: <http://www.c-o-k.ru/showtext/7idM919> & Ггот = оп1те.
89. Беляев А. Застосування систем інфрачервоного опалення - ефективний засіб заощадження газу [Електронний ресурс] / А. Беляев,

В. Маркін // видання сік-онлайн, 2002. - №7. - Іль .: <http://www.c-o-k.ru/showtext/7idM63&ЛотщтНпе>.

90. Адрианов В. Н. Основы радиационного і складного теплообміну [Текст] / В. Н. Адрианов. - М .: Енергія, 1972. - 464 с.

91. Кувшинов Ю.А. Системи опалення з стельовими підвісними випромінюють панелями / Ю.А. Кувшинов, Ю.А. Табунників, А.В. Баранов, Н.В. Шилкин // Рекомендації АВОК Р НП «АВОК» 4.1.6 - 2009 [Електронний ресурс] // [погт-load.ru/SNiP/Datal/58/58496/index](http://погт-load.ru/SNiP/Datal/58/58496/index).

92. Алексеев Г.Ф. Методика розрахунку кутових коефіцієнтів при опаленні «темними» і - образними трубними випромінювачами [Текст] / Г.Ф. Алексеев, А.В. Яковлева // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. - Дніпропетровськ: Національна металургійна академія України, 2010. - Вип. 2. - С. 5 - 11.

93. СанПіН 2.2.4.548-96. Гігієнічні вимоги до мікроклімату учбових приміщень. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.tehbez.ua/Docum/DocumShow>.

94. НПБ 105-03 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Електронний ресурс]. URL: <http://best-stroy.ua/gost/r43>.

95. МУК 4.3.1895-04 Оцінка теплового стану людини з метою обґрунтування гігієнічних вимог до мікроклімату робочих місць і заходів профілактики охолодження та перегрівання [Текст] / методичні вказівки. - М .: Федеральний центр держсанепіднагляду МОЗ України, 2004. - 20 с. 109. СанПіН 2.2.4.548 - 96. Гігієнічні вимоги до мікроклімату учбових приміщень: Затв. Постановою Госкомсанепіднадзора України від 01.10.1996 №21. - М .: Изд-во стандартів, 1997. - 17 с.

96. СНіП 41-01-2003. Опалення, вентиляція і кондиціонування: Затв. Постановою Держбуду України від 26.06.2003 №115. - М .: Вид-во стандартів, 2004. - 25 с.

97. СНіП 23-02-2003. Тепловий захист будівель: Затв. Постановою Держбуду України від 26.06.2006 №113. - М.: Вид-во стандартів, 2004. - 25 с.
98. СНіП 23-01-99. Будівельна кліматологія: Затв. Постановою Держбуду України від 11.06.99 №45. - М.: Вид-во стандартів, 2000. - 57 с.
99. СНіП 21-01-97. Пожежна безпека будівель та споруд. [Електронний ресурс]. URL: <http://fireman.ua/bd/snip/snip21-01-97.htm>.
100. ГН 2.1.6.1338 - 03. Гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. [Електронний ресурс]. URL: <http://gost.oktvab.ua/Data1/44/44437/index.htm>.
101. ДБН 30494-96. Будівлі житлові і суспільні параметри мікроклімату в приміщеннях. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.proplex.ua/dealers/gost/gost-30494-96>.
102. ДБН 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.gosthelp.ua/gost/gost1583>.
103. СанПіН 2.1.2.1002. Санітарно-епідеміологічні вимоги до житлових будівель та приміщень. [Електронний ресурс]. URL: <http://tehbez.ua/Docum/DocumShow DocumID 328>.
104. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. (Зміни №1 20.06.2000). - М.: Вид-во стандартів, 1988. - 6 с.
105. ППБ 01 - 03. Правила пожежної безпеки в Україні. - [Електронний ресурс]. URL: <http://www.0-1.ua/law/showdoc.asp? Dp = ppb01-03>.