

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Енергоефективність застосування інфрачервоних обігрівачів
в системах опалення**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТмз-61

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<u>Ільчук Б.І.</u>
	<u>Лавренюк А.С.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Тарасенко М.Г.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мовчан Л.Т.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В.П.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Микитишин А.Г.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультетприкладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедраелектричної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступенямагістр

за спеціальністю141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

студентуІльчук Богдан Ігорович

1. Тема роботиЕнергоефективність застосування інфрачервоних обігрівачів в системах опалення

Керівник роботи

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

Затверджені наказом ректора від «10» жовтня 2024 року № 4/7-982

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.12.2024

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

[illegible]

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Ільчук Б.І.
(прізвище та ініціали)

Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультетприкладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедраелектричної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)(прізвище та ініціали)

« »2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступенямагістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студентуЛавренюку Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботиЕнергоефективність застосування інфрачервоних обігрівачів

в системах опалення

Керівник роботи

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» жовтня 2024 року № 4/7-982

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.12.2024

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 10.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Лавренюк А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 68 сторінок. В роботі міститься 27 рисунків, 39 формул і 12 таблиць.

В умовах війни економія енергетичних ресурсів є першочерговим завданням для країни. В умовах воєнних дій спостерігається попит на більш локальні системи обігріву та теплопостачання. Головними перевагами таких систем є їх мобільність, низька енергоємність та довговічність роботи.

Однією із таких перспективних систем можна вважати електричні інфрачервоні випромінювачі.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз енергетичної ефективності застосування електричних інфрачервоних випромінювачів та розробка окремих параметрів системи формування мікроклімату в приміщеннях, які обігріваються за допомогою таких випромінювачів.

Об'єктом дослідження є електричні інфрачервоні випромінювачі.

Предметом дослідження є особливості теплообміну в електричних інфрачервоних випромінювачах особливості конструкції та принципу їх роботи.

Перелік ключових слів:

ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, СПЕКТР, ІНФРАЧЕРВОНИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ, ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, МЕТОДИКА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

с.

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Спектр електромагнітного випромінювання	8
1.2 Закони теплового випромінювання	10
1.3 Класифікація сучасних інфрачервоних випромінювачів.....	14
1.4 Електричні інфрачервоні випромінювачі.....	15
1.4.1 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні менше 60 °С	15
1.4.2 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні 60 – 100 °С.....	17
1.4.3 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні 101 – 280 °С.....	19
1.4.4 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні більше 300 °С.....	20
1.5 Висновки до розділу 1	24
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	26
2.1 Тепловий режим та температура приміщення.....	26
2.2 Моделювання теплового режиму приміщення при використанні інфрачервоних випромінювачів	31
2.3 Висновки до розділу 2	39

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....40

3.1 Оцінка енергетичної ефективності застосування електричних інфрачервоних випромінювачів40

3.2 Ефективність застосування газових інфрачервоних випромінювачів.....43

3.3 Енергетична ефективність, та методика розрахунку електричних інфрачервоних випромінювачів48

3.3.1 Ефективність електричних інфрачервоних випромінювачів.....48

3.3.2 Методика розрахунку встановленої потужності електричних інфрачервоних випромінювачів для типових житлових приміщень.....50

3.4 Висновки до розділу 357

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....58

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при будівництві та експлуатації електричних інфрачервоних систем обігріву58

4.2 Розрахунок захисного занулення електричних систем обігріву59

4.3 Організація безпеки на енергетичних об'єктах в умовах надзвичайних ситуацій62

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....66

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....67

ВСТУП

Актуальність теми. Електричні інфрачервоні випромінювачі є досить новим і перспективним видом обігріву всіх видів приміщень. Вони мають низку переваг перед класичними методами обігріву, а також є дуже економними та практичними при експлуатації та монтажі.

В процесі роботи система інфрачервоного обігріву нагріває поверхню (підлогу, стіну чи меблі) в зоні нагріву. Інфрачервоний нагрів є також одним із прогресивних способів термічної обробки матеріалів і дає високу продуктивність обробки матеріалів та хорошу якість обробки виробів.

Більш детально про переваги і недоліки систем інфрачервоного випромінювання розглянуті В.Н. Богословським. Так, в монографії «Строительная теплофизика» приведені основні залежності і дані про інфрачервоний обігрів та розподіл тепла на поверхнях огорожуючих конструкцій.

Існує багато формул і графіків для розрахунку параметрів системи інфрачервоного обігріву в певних умовах і для поверхонь, що беруть участь в процесі теплообміну.

Все це необхідно знати при виборі для детальному аналізу енергетичної ефективності інфрачервоних випромінювачів.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз енергетичної ефективності застосування електричних інфрачервоних випромінювачів та розробка окремих параметрів системи формування мікроклімату в приміщеннях, які обігріваються за допомогою таких випромінювачів.

Об'єктом дослідження є електричні інфрачервоні випромінювачі.

Предметом дослідження є особливості теплообміну в електричних інфрачервоних випромінювачах особливості конструкції та принципу їх роботи.

Апробація роботи. Зуб А.С. Аналіз енергетичної ефективності застосування для обігріву електричних інфрачервоних випромінювачів. // М.Г.

Тарасенко, В.І. Гетманюк, А.С. Зуб // Збірник тез доповідей. Матеріали XII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 6 - 7 грудня 2023р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2023.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (21 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 68 сторінок, 12 таблиць і 27 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Спектр електромагнітного випромінювання

Англійський учений В. Гершель у 1800 році відкрив інфрачервоне випромінювання (ІЧ).

Схема розщеплення білого світла на спектр показана на рис.1.1., а його частотний діапазон представлений у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Частотний діапазон електромагнітного випромінювання

Назва діапазону		Довжина хвилі, λ	Частота, f
Радіохвилі	Наддовгі	> 10 км	< 30 кГц
	Довгі	10 км – 1 км	30 кГц – 300 кГц
	Середні	1 км – 100 м	$3,7$
	Короткі	100 м – 10 м	300 кГц – 3 ГГц
	Ультракороткі (УКВ)	< 10 м	30 МГц – 300 МГц
Мікрохвилі	Дециметрові	1 м – 10 см	300 МГц – 3 ГГц
	Сантиметрові	10 см – 1 см	3 ГГц – 30 ГГц
	Міліметрові	1 см – 1 мм	30 ГГц – 300 ГГц
	Дециміліметрові	1 мм – $0,1$ мм	300 ГГц – 3 ТГц
Оптичне випромінювання	Інфрачервоне (теплове)	1 мм – 760 нм	300 ГГц – 400 ТГц
	Видиме (видиме світло)	760 нм – 380 нм	400 ТГц – 800 ТГц
	Ультрафіолетове	380 нм – 3 нм	800 ТГц – 100 ПГц
Жорсткі промені	Рентгенівське	10 нм – 1 пм	30 ПГц – 300 ЭГц
	Гамма	≤ 10 пм	≥ 300 ЭГц

Через століття після Гершелемового відкриття ІЧ у Радянському Союзі було відкрито радіохвилі в діапазоні ІЧ (80 мкм).

Інфрачервоні хвилі розташовуються в діапазоні між червоним кінцем видимого спектру з довжиною хвилі $7,4 \times 10^{-7}$ м і короткими радіохвилями 2×10^{-3} м.

Видима область в електромагнітному спектрі займає вузьку ділянку в межах $\lambda = 0,4 - 0,77$ мкм.

Довжиною хвилі λ називається встань між сусідніми піками максимуму або мінімуму хвилі. Частотою ν називається число коливань в секунду.

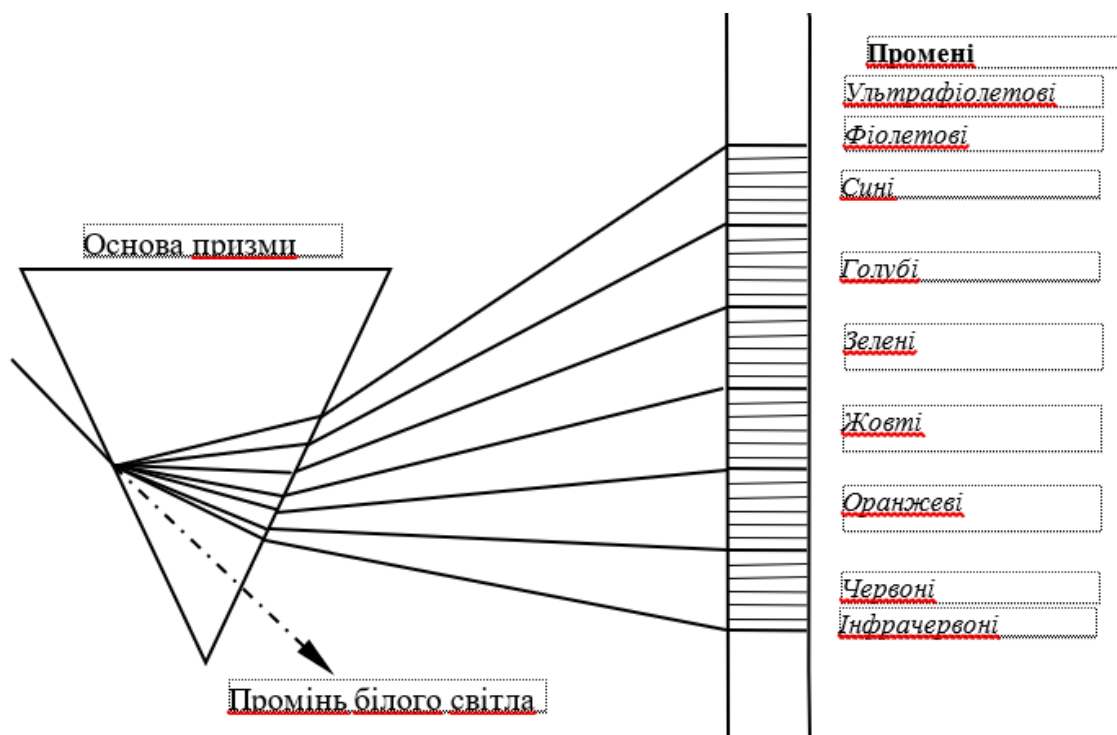


Рисунок 1.1 – Схема розщеплення білого світла на спектр

Періодом хвилі T називається час за який відбувається одне коливання.

Між цими величинами існує дуже проста залежність[4]:

$$\lambda_u = \frac{\lambda}{T} = u, \quad (1.1)$$

де u – швидкість поширення коливань.

Поширення електромагнітної хвилі в просторі супроводжується перенесенням енергії за напрямком руху хвилі, така енергія отримала назву променева енергія.

Зараз весь діапазон інфрачервоного випромінювання розділяють на три складові:

- короткохвильова область: $l = 0,74 - 2,5 \text{ мкм}$;
- середньохвильова область: $l = 2,5 - 50 \text{ мкм}$;
- довгохвильова область: $l = 50 - 2000 \text{ мкм}$.

1.2 Закони теплового випромінювання

Процес перетворення теплової енергії тіла в променеву називається тепловим випромінюванням.

Будь-яке тіло, що має $T = ^\circ\text{C}$ вищу за абсолютний нуль, безперервно випромінює променеву енергію. В залежності від температури і стану поверхні тіла воно віддає той чи інший вид випромінювання. Велика частка цього випромінювання лежить в інфрачервоній області [4,8].

Так, наприклад, якщо прийняти всю енергію, що випромінюється вакуумною лампою при температурі вольфрамової нитки $T = 2500^\circ\text{C}$, за 100 %, то лише 7-12 % припадає на випромінювання у видимій області спектру, а решта енергії, за винятком невеликих втрат в тримачах нитки розжарення, припадає на інфрачервоне.

Якщо температура тіла перевищує $T \geq 825^\circ\text{C}$ то в спектрі випромінюваної енергії містяться, видимі неозброєним оком, промені, а при $T \leq 825^\circ\text{C}$ промені стають невидимими [4]. Зміна кольору тіла обумовлюється його тепловим випромінюванням в залежності від температури таблиця. 1.2.

Випромінювання тіл із зростанням температури різко зростає, при чому змінюється і спектр випромінюваних хвиль. Разом із зростанням щільності потоку випромінювання зміщується в область коротших довжин хвиль (залежність відома як закон Віна). Таким чином, підвищується величина випромінюваної енергії при коротких хвилях.

З цієї причини, при високих температурах, випромінювання домінує над конвекцією і провідністю.

При низьких температурах спостерігається зворотне явище. В самому випромінюванні беруть участь лише дуже тонкі шари на поверхні тіла. Тепло поширюване випромінюванням, відрізняється від тепла поширюваного конвекцією і кондукцією, по своїх параметрах і тепловій дії наближається до властивостей природного сонячного випромінювання.

Випромінювання тіла, називають монохроматичним, якщо воно досягає інтервалу довжин хвилі від λ до $\lambda + d\lambda$ і інтегральним (повним), якщо воно відповідає інтегралу довжин хвиль від $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$ [4-7].

При попаданні променевого потоку на поверхню тіла, одна його частина відбивається (дзеркально або дифузно), інша проходить крізь тіло і в залежності від коефіцієнту заломлення змінює свій напрямок, а третя частина цілком поглинається тілом.

Таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 – Колір випромінюючого тіла в залежності від його температури

Колір випромінюючого тіла	Орієнтовна температура тіла	
	° C	° K
Видимий - червоний	550	823
Тьмяно - червоний	700	973
Вишнево - червоний	900	1173
Оранжевий	1100	1373
Білий	≤ 1400	≤ 1673

Відбиваюча здатність тіла (коефіцієнт відбивання) характеризується відношенням відбитої тілом променевої енергії $E_{від}$ до падаючої енергії $E_{над}$:

$$r = \frac{E_{від}}{E_{над}}, \quad (1.2)$$

Пропускаюча здатність тіла (коефіцієнт пропускання) характеризується відношенням пропущеної тілом променистої енергії до падаючої енергії:

$$d = \frac{E_{проп}}{E_{над}}, \quad (1.3)$$

Поглинаюча здатність тіла (коефіцієнт поглинання) характеризується відношенням поглинутої тілом променевої енергії до падаючої енергії:

$$a = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{над}}}, \quad (1.4)$$

Отже між a , d і r існує залежність:

$$a + d + r = 1, \quad (1.5)$$

Відбивання падаючого потоку може бути дзеркальним або дифузним (розсіяним). Дзеркальне відбивання дають дзеркальні поверхні, причому величина коефіцієнта відбивання r залежить від ступеня дзеркальності поверхні. Коефіцієнти пропускання і поглинання залежать від хімічної будови і структури речовини, а також від товщини шару опромінюваної речовини. Для рідких і газоподібних речовин величина цих коефіцієнтів характеризується розмірами і кількістю окремих складових. Якщо $d = 1, \text{ or } a = 0$ в цьому випадку променева енергія, падаюча на тіло, проходить через нього.

Тому співвідношення між a , d і r залежать від виду тіл, характеру їх поверхні і температури.

Зокрема, відбивання променевої енергії від поверхні тіла залежить від властивостей поверхні тіла. Якщо нерівномірність поверхні тіла значно менше ніж довжина хвилі, таке тіло можна вважати дзеркальним з максимальними властивостями і навпаки.

В таблиці 1.3 приведені величини a , d і r для деяких матеріалів при опроміненні світлом і близькими до нього інфрачервоними променями.

В основу теплотехнічних розрахунків при променевому випромінюванні покладено ряд універсальних законів абсолютно чорного тіла, що поглинає випромінювання будь-якої довжини хвилі [4].

Таблиця 1.3 – Величина a , d і r для деяких матеріалів при опроміненні світлом і близькими до нього інфрачервоними променями

Матеріали	Коефіцієнти в %			Товщина матеріалу, мм
	a	d	r	
Прозоре скло	1-3	89-91	8	1-3
Матове скло	3-16	72-85	12-15	1,8-4,4
Молочне густе скло	4-28	10-66	30-76	1,3-6,2
Мармур	27-47	3-6	50-61	8,1-3,3
Гіпс	11-16	33-47	43-53	-
Білий пергамент	10-15	35-55	40-50	-
Світлий папір	13-20	42-50	33-40	-
Темний папір	17-23	30-45	40-50	-
Світлий шовк	5	60	35	-
Біле покриття	33-20	-	67-80	-
Чорна тканина	98,8	-	1,2	-

Променевий теплообмін полягає в тому, що всі тіла випромінюють (поглинають) енергію пропорційно температурі в 4-му степені – закон Стефана-Больцмана [5-8]. Кількість випромінюваної енергії визначається рівнянням:

$$dQ = \varepsilon \times \sigma (T_1 + 273)^4 \times dA \quad (1.6)$$

Теплообмін випромінювання між двома поверхнями визначається рівнянням:

$$dQ = \varepsilon \times \sigma (T_1 + 273)^4 - (T_2 + 273)^4 \times dA \quad (1.7)$$

де dA - площа поверхні, m^2 ;

ε - ступінь чорноти;

σ - постійна Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,669 \times 10^{-9}$, Вт /($m^2 \times ^\circ C$);

T_1 - температура випромінюючої поверхні $^\circ C$;

T_2 - температура поглинаючої поверхні $^\circ C$.

Між довжиною хвилі максимуму випромінювання і температурою (в градусах Кельвіна) існує суворозалежність – закон Віна.

Методи розрахунку променевого опалення приводяться в довіднику Л.Д. Богуславського та інженерному довіднику. Для спрощення розрахунків запропоновані допоміжні матеріали (таблиці, графіки). Проте ці методи дуже складні і розроблені для певних типів інфрачервоних випромінювачів та параметрів теплоносія. Тому використовувати їх для практичних розрахунків неможливо.

1.3 Класифікація сучасних інфрачервоних випромінювачів

Опалювальна система повинна задовольняти широким комплексним вимогам, які характеризуються:

1. Енергетичними вимогами;
2. Економічною ефективністю;
3. Екологією.

Опалювальні системи розподіляють згідно:

а) джерел тепла на:

- центральні (котельні на тверде, рідке, газове паливо);
- децентралізовані;

б) способу нагріву:

- водяні (з гарячою водою, теплою водою, низькотемпературні);
- парові (середнього тиску, низького тиску);
- теплоповітряні;

с) передачі тепла та виду випромінювання:

- конвекційні (опалювальні елементи, теплоповітряні пристрої, провітрюючі пристрої);
- променеві.

З точки зору виду випромінювання – довжини хвилі, залежності від температури поверхні, а також кольору поверхні – інфрачервоні випромінювачі поділяються на світлі і темні [12].

Кожна з груп інфрачервоних випромінювачів призначена для вирішення своїх завдань.

Серед багатьох типів обладнання, що використовується для повітряного опалення, найбільший інтерес представляють системи з верхньою подачею тепла. Що стосується інфрачервоного опалення, з фізичної точки зору лише світлі випромінювачі повною мірою реалізують такий теплообмін, інтенсивність якого відповідає закону Стефана-Больцмана.

Темні випромінювачі, використовують довжину хвилі випромінювання понад 10 м, поряд з променевою складовою в них істотне місце займає і конвективний теплообмін, що, з одного боку, дозволяє до певної міри уникнути недоліків, а, з іншого боку, приводить до погіршення умов обігріву [14-20].

З проведеного аналізу відомо, що енергоносіями для інфрачервоних систем опалення можуть бути:

- електроенергія;
- природний газ;
- рідке (дизельне) паливо.

Принцип роботи інфрачервоних систем опалення незалежно від виду використовуваного енергоносія залишається незмінним, а економічні показники істотно відрізняються на користь природного газу.

1.4 Електричні інфрачервоні випромінювачі

1.4.1 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні менше 60 °С

До цієї групи відносяться інфрачервоні випромінювачі, що здійснюють нагрів до температури 50°C, спектр випромінювання яких лежить в діапазоні 9,2–9,5мкм. Такі випромінювачі пропонує, наприклад, фірма «АЕЛІМП». Це універсальні настінні опалювальні панелі, їх ще називають «Електронагреватели инфракрасные мягкой теплоты».

Скляні випромінювачі серії Safir фірми NOBO ELEKTRO AS (Норвегія) показані на рис.1.2, виробник не позиціонує як інфрачервоні прилади, що досить дивно - до якого ж ще типу віднести плоский скляний обігрівач з температурою поверхні до 60 °С?

Обігрівач складається з двох з'єднаних між собою пластин товщиною по 4 мм,. На поверхню задньої пластини нанесений невидимий електропровідний шар, який при проходженні по ньому струму виділяє тепло. Передня пластина відіграє роль електричного і механічного захисту. Температура по всій поверхні електрообігрівача рівномірна.

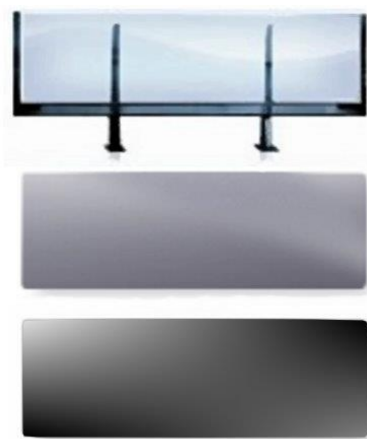


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд обігрівача серії Safir модель G14 V/H 072-040

Потужність безпосередньо залежить від розмірів. Прилади забезпечені нескладним в керуванні біметалічним або електронним термостатом. При виникненні аварійної ситуації автоматично відключаються. Випускаються як для встановлення паралельно підлозі (серія Н) так і для вертикального встановлення (серія V).

В табл. 1.4. представлені технічні характеристики випромінювачів SAFIR фірми NOBO.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики електричних випромінювачів SAFIR фірми NOBO.

Модель скляного	Потужність, Вт	Габаритні розміри	Ціна, €
G14 V/H 072-040	750	1400 × 400 × 9	504
G14 V/H 092-050	900	1400 × 500 × 9	556
G14 V/H 112-060	1100	1400 × 600 × 9	611

1.4.2 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні 60 – 100 °С

В цій групі слід виділити випромінювачі Ecofilm рис.1.3, що випускаються фірмою FENIX TRADING (Чехія).

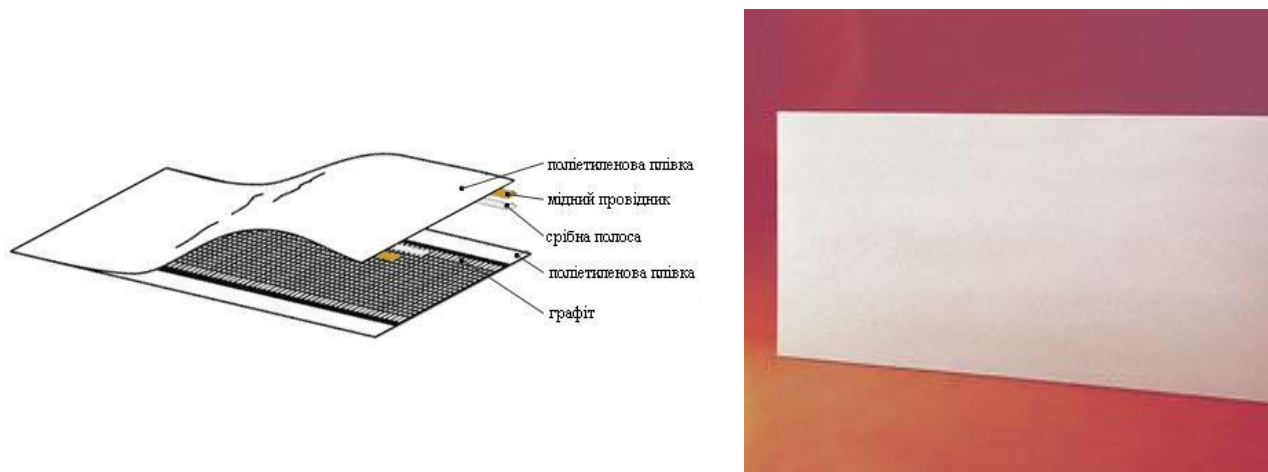


Рисунок 1.3 - Низькотемпературний інфрачервоний випромінювач фірми FENIX TRADING

Їх температура коливається в межах 55-70 °С. В якості нагрівача тут використовується плівка, обігрівач складається з двох шарів полімерної плівки з «затиснутим» між ними шаром вугільно - графітового порошку. Коефіцієнт перетворення в такого відбивача дорівнює 99,8 %. Фірма FENIX TRADING також випускає і високотемпературні інфрачервоні випромінювачі.

До цієї групи слід віднести карбонові нагрівачі рис.1.4, джерелом ІЧ - випромінювання тут, по суті, є кварцова ІЧ-ЛАМПА, тільки у вакуумній кварцовій трубці «світиться» карбонове (вуглецеве) волокно.

Температура поверхні нагрівального елемента не перевищує 90°С. Термін його служби, за заявою виробника, необмежений. Сам прилад складається з сталевого конусу в якому вирізаний сегмент в 60°. Нагрівальний елемент розташований вертикально, що виключає осідання на ньому пилу і, відповідно, його згорання. Встановлений на підлозі обігрівач може повертатися на 180°, що дає можливість опалювати площу до 20 м² при споживаній потужності всього 900 Вт



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд карбонового випромінювача

Основним недоліком такого обігрівача є – квар-цова трубка яка може розбитися при сильному ударі або падінні з висоти.

Замикають цю групу випромінюючі - панелі або, як їх ще називають, стельові касети. Фірма FRICO (Швеція) пропонує дві їх модифікації: рис 1.5, і з монтажними скобами для кріплення до стелі.

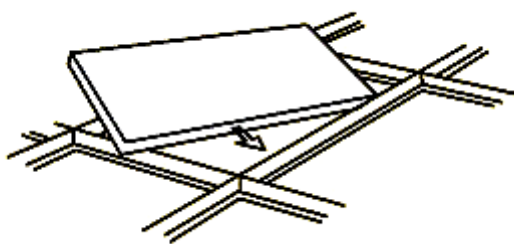


Рисунок 1.5 – Інфрачервоні випромінювачі фірми FRICO

В свою чергу, касети з монтажними скобами пропонуються в двох виконаннях. Їх будова дуже схожа до будови плівкового нагрівача, єдина відмінність лише в тому, що корпус має спец покриття: з внутрішньої сторони

Termoquartz, з зовнішньої - Termocrystal. Ще два виробники випускають такі панелі, - ENERGOTECH (Швеція, серія EnergoCasset), технічні характеристики інфрачервоних випромінювачів різних виробників відображено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики електричних випромінювачів різного виробництва.

Фірма	FRICO	FENIX	PIROX	ENERGOTECH	«Энерго-Стандарт»
Країна	Швеція	Чехія	Норвегія	Швеція	
Напруга, В	220	220	220	220 або 380	220 або 380
Потужність,	600-1500	900-3600	400-1200	400-4200	700-4000
Ціна, €	110 -181	112-240	120-185	109-345	74-106

1.4.3 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні 101 – 280 °С

Відкривають цю групу ІЧ - випромінювачі Termoplus рис.1.6, призначені для встановлення над вікнами які випускаються фірмою FRICO. Розміщені над вікном рис.1.7.



Рисунок 1.6 - Загальний вигляд обігрівача Termoplus серії ECVT



Рисунок 1.7 – Розміщення інфрачервоного випромінювача Termoplus

Вони створюють надійний захист від холоду і протягів. Нагрівач - сталевий ТЕН. Передня панель виконана з алюмінію з емалевим покриттям підвищеної міцності. В задній частині корпусу є отвори для циркуляції повітря, що дозволяє обігрівачу працювати не лише в ІЧ-режимі, але і в режимі конвектора. Температура випромінюючої поверхні – 200 °С. Напруга мережі -

220 або 380 В. Виготовляються в трьох виконаннях :

- ЕС - для сухих приміщень. Керуються зовнішнім термостатом або селектор-ром потужності.
- ECVT - для приміщень з підвищеною вологістю. Мають вбудований термостат і шнуровий вимикач.
- ECV - для вологих приміщень.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики електричних випромінювачів Termoplus (FRICO).

Серія	ЕС	ECVT	ECV
Потужність, Вт	450, 600, 750, 900	300, 550, 700	300, 550, 700
Довжина, мм	1076, 1505, 1810, 2140	870, 1505, 1810	870, 1505, 1810
Ціна, €	113-204	171-267	130-175

Ще один вид ІЧ - обігрівача, що належить до цієї групи, - одно панельний обігрівач для монтажу на висоті від 2,5 до 4 м. Температура випромінюючої поверхні – 250 °С (в деяких фірм 280 °С). Випромінювачі встановлюється горизонтально під стелею на монтажних скобах, або на тросах. За допомогою додаткових монтаж-них скоб може кріпитися до стіни.

Виготовляють такі панелі відразу декілька фірм: FRICO, FENIX - серія Ecosun E, PIROX (Норвегія) - серія Hiat Line Komfort, TCT (Росія, торговельна марка «Еколайн»), ENERGOTECH - серія Energo Strip.

1.4.4 Електричні інфрачервоні випромінювачі з температурою поверхні більше 300 °С

Фірма Energotech пропонує комплексний обігрівач для відкритих майданчиків EnergoInfra. На його основі випускається серія «спарених» Energoinfra Industri. Ці випромінювачі володіють значно більшою потужністю і призначені в основному для виробничих приміщень або вуличного монтажу. Схожу серію HiatLine IntraRed випускає фірма PIROX.

А фірма FRICO пропонує три серії високотемпературних приладів:

➤ Elztrip EZF 32/42 - призначені для приміщень з висотою стелі від 3 до 15 м. Можуть також використовуватися на відкритих і напіввідкритих площадках рис.2.7, 2,8.

➤ Comfortinfra CIR - використовуються в основному для обігріву зимових садів, терас, балконів, відкритих веранд, але можуть встановлюватися також в житлових і офісних приміщеннях (при великій висоті підвісу) і навіть на вулиці. Суцільна випромінююча поверхня захищена спеціальними решітками з нержавіючої сталі.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд випромінювача Elztrip EZF 32/42



Рисунок 1.9 – Розміщення випромінювача Elztrip Elztrip EZF 32/42

Випромінювачі для обігріву повинні бути розташовані як показано на рис. 1.10 і 1.11.

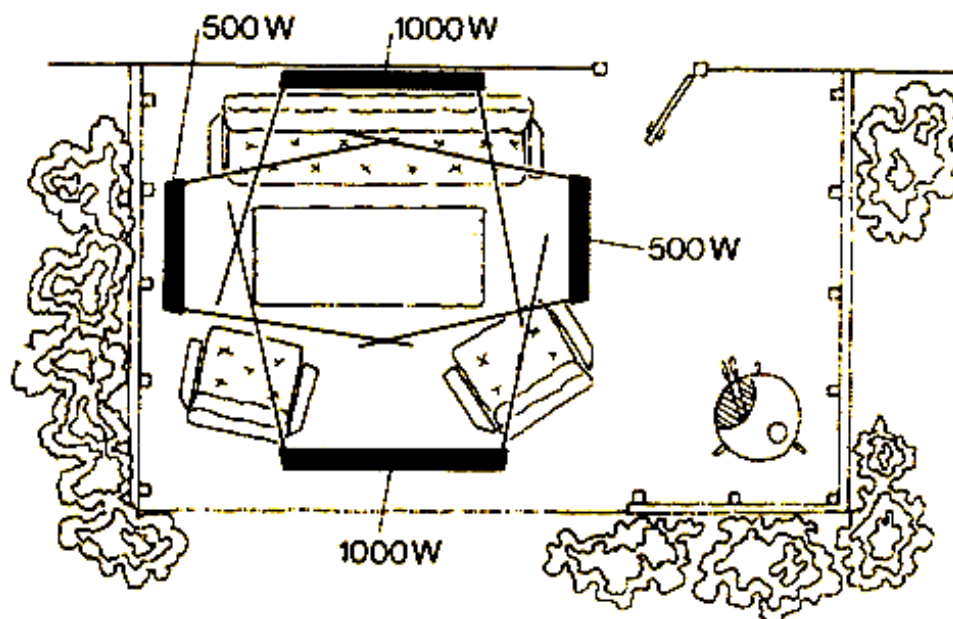


Рисунок 1.10 – Типове розміщення випромінювачів Comfortinfra CIR, для забезпечення оптимально комфортного випромінювання 1000Вт/м^2

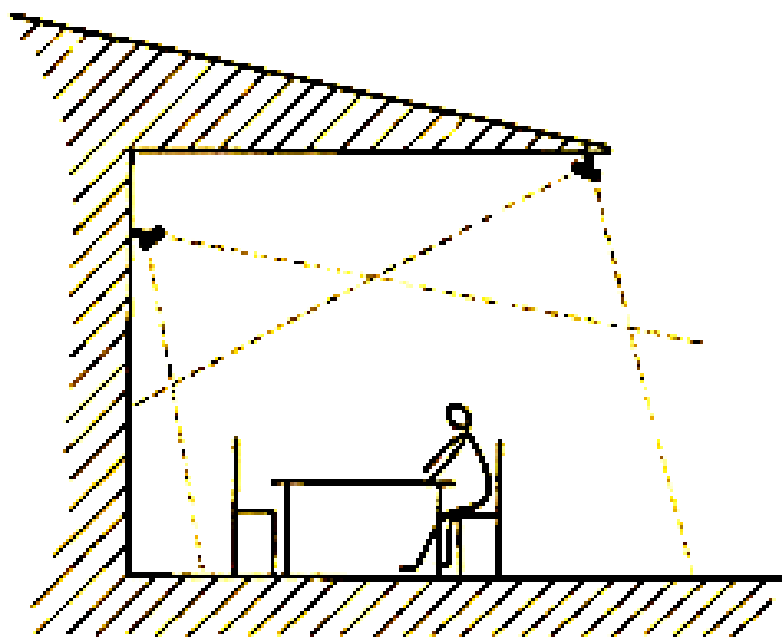


Рисунок 1.11 – Схема оптимального розміщення випромінювачів

➤ ІЧ-випромінювач IR - використовується для обігріву приміщень з висотою стелі від 4,5 до 20 м (цехи, спортзали, склади). Також успішно застосовується для вирішення технологічних завдань (розігрівання матеріалів, сушка).

Говорячи про високотемпературні інфрачервоні випромінювачі, потрібно зупинитись на моделях, в яких джерелом випромінювання є галогенова лампа рис. 1.12.

Основна перевага цих випромінювачів в тому, що тепло починає відчуватися практично миттєво після їх ввімкнення. Призначені вони або для обігріву великих нежитлових приміщень, або для організації тимчасового обігріву або створення комфортних умов на відкритих майданчиках (вуличні кафе, літні веранди, альтан-ки).



Рисунок 1.12 – Загальний вигляд обігрівача 4500 Вт IRCF фірми FRICO

Скажімо, фірма FRICO випускає випромінювачі IRCF, оснащені галогеновою лампою типу HeLeN і відбивачем з дзеркального анодованого алюмінію. Пропонуються три моделі: з однією (IRCF15-1500 Вт), двома (IRCF30-3000 Вт) і трьома (IRCF45- 4500 Вт) лампами рис. 1.13.

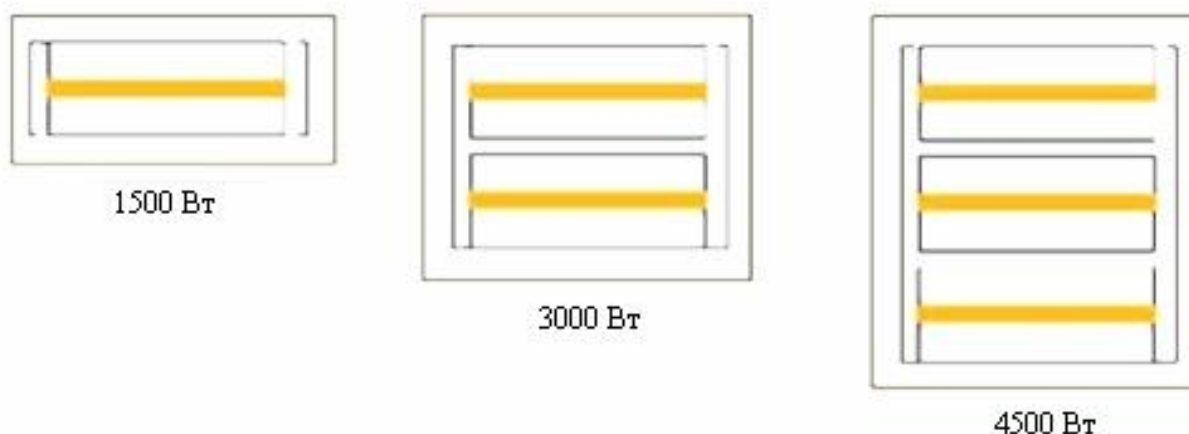


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд випромінювачів IRCF фірми FRICO

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики високотемпературних інфрачервоних випромінювачів різних виробників

Фірма	Energotech	Energotech	PIROX	FRICO	FRICO	FRICO
Серія	Energoinfra	Energoinfra Industri	HiatLine IntraRed	Elztrip EZF 32-42	Comfortinfra CIR	IR
Висота підвісу, м	$\leq 2,5$	≤ 6	від 3 до 15	від 3 до 15	2,5-3,5	від 4,5 до 20
Потужність, Вт	500, 1000, 1500	від 3000 до 6000	від 400 до 1200	від 3200 до 4200	від 500 до 2000	3000, 4500, 6000
Напруга, В	220	380	380	220/380	220/380	380
Ціна, €	від 61 до 94	від 315 до 411	від 345 до 445	від 128 до 203	від 55 до 92	342, 368, 406

1.5 Висновки до розділу 1

Будь-яке шаблонне рішення несе в собі загрозу отримання результатів, що відрізняються від очікуваних, відсутність теплового комфорту, порушення гігієнічних вимог і, як наслідок, дискредитацію самої ідеї інфрачервоного обігріву і, тим самим, відмови від нього. Не завжди можливе використання різних типів випромінювачів на одному і тому ж об'єкті. Конструкція і параметри зумовлюють сфери їх застосування. Як результат порівняння різних

випромінювачів можна констатувати, що кожен тип приміщення вимагає свого способу обігріву (свого типу обігрівача) можна зробити наступні висновки:

1. Кожна з груп інфрачервоних випромінювачів призначена для вирішення своїх завдань.

2. Інтегральна щільність випромінювання в «світлих» випромінювачів у всьому діапазоні випромінювання приблизно в 15-20 разів вище, ніж в «темних», але при оцінці випромінювачів за таким принципом: важлива спільна кількість променевої енергії, а не щільність енергії, що припадає на одиницю площі випромінювача, спільна кількість променевої енергії в обох типів близька по величині, отже параметр інтенсивності випромінювання є не головною, а допоміжною величиною. Параметр інтенсивності опромінення нормується по максимальному значенню і не може перевищувати певного рівня за певних умов.

3. Обігрів інфрачервоними випромінювачами - домінантним променистим тепловим потоком вимагає дуже уважного ставлення до розміщення приладів в опалювальному просторі, якості монтажу і т.п. Досягнути теплового комфорту можна лише рівномірним розподілом опромінення по всій робочій зоні. При розміщенні випромінювачів необхідно дотримуватися правил монтажу для забезпечення ефективної передачі тепла.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Тепловий режим та температура приміщення

В будь-кому опалюваному приміщенні чи будівлі необхідно створити та підтримувати тепловий режим в залежності від його призначення і санітарно-гігієнічних вимог. Тепловим режимом будівлі називають його загальний тепловий стан протягом опалювального сезону, який розглядається як сукупність теплових умов. Тепловий режим може бути рівномірним, в будівлях з постійним перебуванням людей, мати добові, тижневі і інші змінні цикли, пов'язані з періодичною діяльністю людей чи використанням будівлі.

Тепловим комфортом можна назвати комфортні, приємні відчуття людини в опалювальному просторі.

На відчуття людини і, тим самим, на комфорт, впливає декілька чинників, найважливішими з яких є:

- температура повітря всередині приміщення;
- температура стін;
- швидкість переміщення повітря в приміщенні;
- тепловий опір одягу;
- рівень активності людини;
- відносна вологість повітря;
- різниця між температурою «відчуття» і температурою повітря;
- розподіл температури по висоті будівлі.

Температура повітря в приміщенні відноситься до первинних критеріїв оцінки комфортності опалювального приміщення. Швидкість переміщення повітря разом з його температурою визначають конвективну передачу тепла між людиною і середовищем. Ідеальне опалення повинно забезпечувати такий вертикальний розподіл температури повітря в приміщенні, при якому температура на рівні висоти голови людини (приблизно 1,7 м над підлогою) була б приблизно на 2 °C нижче, ніж на відстані 10 см від підлоги. Значний

вплив на тепловий комфорт людини має температура стін обмежуючих приміщення. Їх температура (стіни, підлоги, стелі і т.п.), що безпосередньо впливає на тепловий комфорт людини, повинна забезпечувати абсолютне значення різниці температури навколишнього середовища і температури повітря не більше 5 °С в стані спокою людини і не більше 7 °С в процесі інтенсивної роботи.

Якщо вологість повітря в приміщенні не виходить за межі 35-70 %, вона не впливає на відчуття теплового комфорту, оскільки до такої кількості вологи в повітрі людина звична і інтенсивність випаровування вологи з людського тіла за цих умов відповідає нормі.

Решта чинників, що впливають на тепловий комфорт всередині приміщення, належить до ширшого набору мікрокліматичних умов, такі умови необхідно враховувати:

- вміст частинок пилу в повітрі;
- вміст мікроорганізмів або бактерій;
- вміст газів і випарів різного типу;
- вміст іонів в повітрі.

Теплові умови в приміщеннях створюються при взаємодії поверхонь: нагрітих чи охолоджених стін, матеріалів, приладів та устаткування, нагрітого чи холодного об'єму повітря. Між поверхнями приладів, матеріалів, устаткування і повітрям відбувається теплообмін, в якому беруть участь люди, що знаходяться в приміщенні.

Температурний градієнт (збільшення температури на одиницю висоти) рис.2.1- дуже низький при використанні інфрачервоних приладів: приблизно 0,3 °С/м, при опаленні конвективними системами опалення градієнти - 2,5 і 1,7 °С/м відповідно.

Відомо, що організм людини безперервно виділяє тепло в навколишнє середовище, причому прагне зберігати постійну температуру (36,6 °С). Кількість теплоти, що виробляється, різна і залежить від віку, індивідуальних особливостей, стану людини та інтенсивності роботи, а також теплозахисних

властивостей одягу. В спокійному стані організм дорослої людини віддає в навколишнє середовище близько 120 Дж/с (100 ккал/год.), при важкій роботі теплопродуктивність людини зростає до 500 Дж/с і більше.

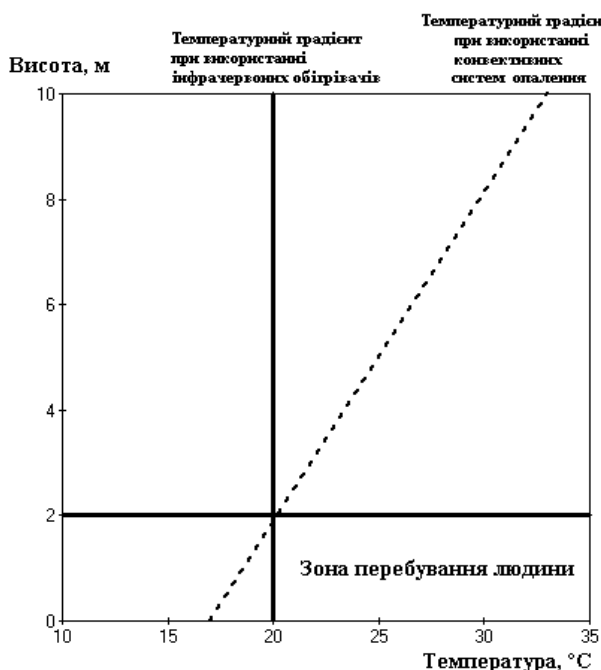


Рисунок 2.1 – Температурні градієнти інфрачервоних та конвективних систем обігріву

Тепловіддача з поверхні тіла людини відбувається конвекцією, випромінюванням і при виділенні поту. Так, наприклад, при нормальному русі та вологості повітря у людини, при температурі приміщення плюс 20 °C, доля тепловіддачі конвекцією складає приблизно 30 %, випромінюванням - 50 %, при вищій температурі повітря зростає тепловіддача з виділення вологи з організму.

Організм має систему терморегуляції, що дозволяє людині пристосовуватися до зміни теплових умов. Проте ця здатність організму обмежена невеликим інтервалом температури. При низькій або високій температурі навколишнього середовища нормальний тепловий стан людини порушується - організм переохолоджується .

Використовуючи традиційні конвективні системи, ми стикаємося з тим, що температура повітря змінюється по висоті - система має високий

температурний градієнт. При $t_g = 18^\circ\text{C}$ в зоні 1м від підлоги температура на висоті 10 метрів t_g буде біля 40°C .

Комфортні для людини теплові умови визначаються головним чином температура повітря t_g і середньою температурою поверхонь в приміщенні, t_{cp} , оскільки рухливість і вологість повітря мають зазвичай незначні коливання.

Середня температура внутрішніх поверхонь приміщення визначається:

$$t = \frac{\sum F_i t_i}{\sum F_i} \quad (2.1)$$

де F_i і t_i - площа і температура внутрішньої поверхні кожної з огорожуючої поверхні в приміщенні.

При однаковій температурі повітря (наприклад, 20°C) теплові відчуття людини в залежності від температури t_{cp} можуть бути різними. Ці відчуття можуть характеризуватися оцінками «холодно» при зниженій t_{cp} (якщо, наприклад, $t_{cp} = 16^\circ\text{C} \leq 16^\circ\text{C}$ при $t_g = 20^\circ\text{C}$), «нормально» (якщо $t_{cp} = 16 - 25^\circ\text{C}$ при $t_g = 20^\circ\text{C}$) і «жарко» при підвищеній $t_{cp} \geq$ (вище 25°C в наведеному прикладі). Зона комфортного поєднання температури повітря t_g і середньої температури поверхонь в приміщенні t_{cp} показані на рис.2.2.

На рисунку виділені області конвективного опалення (зліва вгорі над пунктирною лінією), основною характеристикою якого є перевищення температури повітря в приміщенні ($t_g \geq t_{cp}$), інфрачервоного опалення (справа внизу), коли середня температура поверхонь вища за температуру повітря ($t_{cp} \geq t_g$). Найприйнятнішою характеристикою для самопочуття людей є поєднання t_g і t_{cp} при інфрачервоному опаленні.

Поліпшення самопочуття людей при цьому пояснюється фізіологічно сприятливим скороченням долі променевого теплообміну і зростанням конвективного теплообміну при пониженні температури навколишнього

середовища (наприклад, до 15 °С).

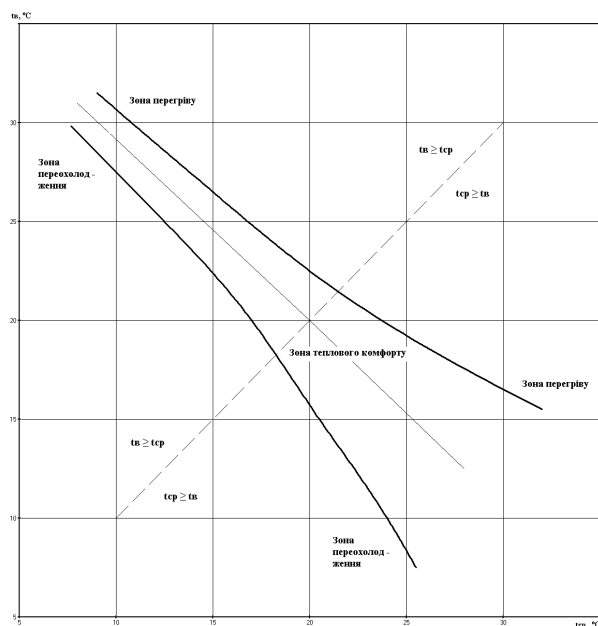


Рисунок 2.2 – Області теплових умов для людини

При використанні інфрачервоних випромінювачів ми можемо дозволити собі зниження температури на декілька градусів, за рахунок променевої добавки інфрачервоного випромінювання, яка компенсує зниження температури повітря. Її величина залежить від типу обігрівача, висоти підвісу і кроку встановлення. Таким чином ми можемо знижувати температуру в приміщенні без зниження комфортності, зниження температури на 10 °С дає до 5 % економії. При використанні інфрачервоних випромінювачів в різних зонах одного приміщення можуть підтримуватися різні температури. Приміщення в цілому не обов'язково повинно мати однакову температуру.

Інфрачервоне опалення можна порівняти з освітленням, правильно розподіливши джерела світла, можна створити рівномірне і комфортне освітлення, за тим же принципом розподіляються і випромінювачі. Потужність випромінювачів підбирається в залежності від типу приміщення і висоти стелі. Розрахувавши спочатку сумарну потужність необхідну для обігріву приміщення в цілому, можна потім знайти потужність випромінювачів, необхідну для рівномірного розподілу тепла в приміщенні.

2.2 Моделювання теплового режиму приміщення при використанні інфрачервоних випромінювачів

Рішення питання енергозбереження в системах опалення пов'язане перш за все з раціональним вибором таких систем. Потрібно проектувати системи, які могли б забезпечити тепловий комфорт в приміщенні з найменшими приведеними втратами. Для цього необхідно порівняння капітальних витрат на створення системи опалення і експлуатаційних витрат, основною складовою яких є втрати теплоти. Але порівняння цих величин має сенс, якщо вони забезпечують однаковий тепловий комфорт в приміщенні. Інженерна методика, яка дозволяла б робити таке порівняння, сьогодні відсутня. Щоб задовольнити вимоги по підтримці комфорту з найменшими тепловтратами, потрібно створити по можливості локальний тепловий комфорт.

При інфрачервоному опаленні умови в приміщенні відрізняються від умов при конвективному опаленні, тому необхідно змінити підхід до оцінки комфортності. При отриманні променевої теплоти безпосередньо від інфрачервоного приладу відбувається зміна терморегуляції людини в порівнянні з конвективним опаленням, тому використання норм, розроблених для конвективного опалення, призведе до похибок в оцінці комфортності. В питанні теплового стану людини також доцільно відокремити теплові потоки від людини в приміщення та від випромінювача до людини. Тому скористаємося деякими результатами розробок П. Фангера, як найбільш об'єктивними і незалежними. Поставимо мету - забезпечення комфортного теплового стану людини.

Введемо рівняння, в лівій частині якого будуть уявні тепловтрати через шкіру людини; в правій - теплопродуктивність людини, від якої відняли приховані теплові втрати.

Рівняння комфортного стану людини буде мати наступний вигляд:

$$K_k = H - Q_{\text{яд}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{д}} - Q_{\text{п}} \quad (2.2)$$

В розгорнутому вигляді рівняння (2.2) буде мати наступний вигляд:

$$K_k = 10,69 + M(0,53519 \cdot (1 - \eta) - 0,1664) + \\ + p_b(0,41 + 0,0027M) + t_b \cdot 0,0041M \quad (2.3)$$

Для збереження комфортного стану температура одягу людини повинна бути рівною:

$$t_{\text{од}} = t_{\text{люд}} - 0,153 \cdot K_k R_{\text{од}} \quad (2.4)$$

Особливість інфрачервоного опалення полягає в тому, що крім забезпечення оптимального теплового балансу людини тому необхідною умовою є дотримання додаткових критеріїв комфортності, при розрахунках необхідно враховувати наступне:

- 1) опромінення голови не повинно перевищувати максимально допустимих меж;
- 2) асиметрія опромінення людини повинна відповідати векторній температурі не більше 10 °С;
- 3) нерівномірність температури по висоті тіла обмежена 4 °С.

Як вже згадувалось В.Н. Богословський стверджує, що променева тепло-віддача голови має бути не менше 11,6 Вт/м². Тоді максимально допустима опоро-мінність голови визначається за формулою:

$$q_{\text{гол}} = \alpha_p(t_{\text{гол}} - t_p) - 11,6 \quad (2.5)$$

Забезпечення додаткових умов комфортності призводить до обмеження потужності інфрачервоного опалення або висоти розташування опалювальних

приладів. Був проведений аналіз впливу дотримання додаткових умов комфорт-ності на параметри системи опалення при наступних схемах розташування: одно - і дворядне розташування, горизонтальне і вертикальне (похиле).

Для аналізу теплового режиму в приміщенні розроблена математична модель, яка дає досить точні результати і враховує всі особливості формування теплового режиму при інфрачервоному обігріві. При створенні математичної моделі необхідно врахувати всі теплові потоки, що постійно діють, в приміщенні (рис. 2.3).

Особливості, які необхідно врахувати при інфрачервоному обігріві:

- напрямок теплового потоку від опалювального приладу до внутрішніх поверхонь стін, а від них - до повітря в приміщенні за рахунок конвекції і в зворотному порядку за рахунок теплопровідності цих конструкцій;
- пряме попадання випромінювання на людину від обігрівача і поверхонь приміщення;
- наявність вентиляції.

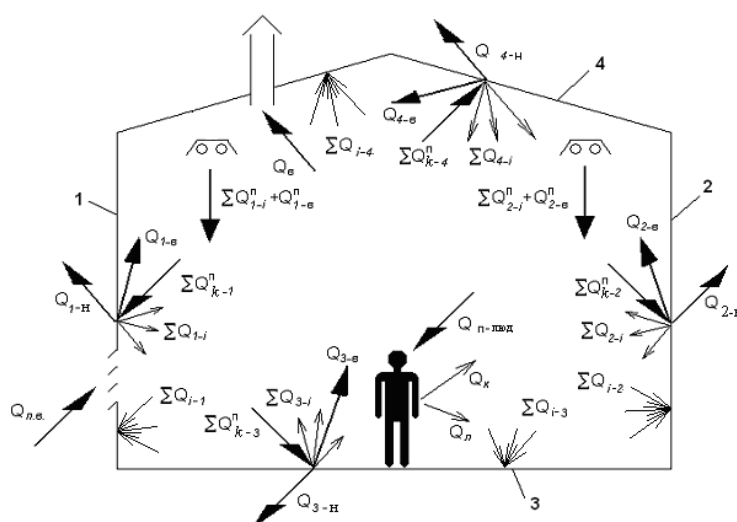


Рисунок 2.3 – Теплові потоки приміщення Q : $i = 1, 2, 3, 4$ - поверхні зовнішньої стіни, внутрішньої стіни, підлоги і стелі відповідно; Q_k, Q_l - тепловіддача людини при конвективному і інфрачервоному обігріві.

Рівняння теплового балансу першої внутрішньої поверхні має наступний вигляд:

$$\sum_{i=2}^n Q_{1-i} + Q_{1-в} + Q_{в-1} = \sum_{i=2}^n Q_{i-1} + \sum_{k=1}^m Q_{k-1}^n + Q_{л.тп.1}, \text{ Вт} \quad (2.4)$$

Інфрачервоний потік від поверхні 1 на i -ту поверхню по законам теплопередачі дорівнює:

$$Q_{1-i} = C_o \cdot \varepsilon_{np} \cdot b \cdot F_1 \cdot \phi_{1-i} \cdot (t_1 - t_i) \quad (2.5)$$

Конвективний тепловий потік від 1 поверхні до внутрішнього повітря рівний:

$$Q_{1-в} = \alpha_1 \cdot F_1 \cdot (t_1 - t_{в}) \quad (2.6)$$

Тепловий потік від 1 поверхні до зовнішнього повітря рівний:

$$Q_{1-н} = k'_1 F_1 (t_1 - t_{н}) \quad (2.7)$$

де k' - неповний коефіцієнт теплопередачі огорожуючих конструкцій:

$$k' = \frac{1}{\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{н}}} \quad (2.8)$$

Теплота, яка надходить від k -того обігрівача до першої поверхні розраховується по залежності:

$$Q_{k-1}^{\pi} = C_o \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot F_k^{\pi} \cdot \phi_{k-1}^{\pi} \cdot \left(\left(\frac{T_{\pi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right) \quad (2.9)$$

Променевий потік від i -ї поверхні на поверхню 1 рівний:

$$Q_{i-1} = C_o \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot b \cdot F_i \cdot \phi_{i-1} \cdot (t_i - t_1) \quad (2.10)$$

Випромінювання від додаткових джерел тепла до i -ї поверхні розраховується рівнянням, аналогічно рівнянню 2.9.

Враховуючи вирази 2.5-2.10 рівняння 2.4 теплового балансу першої поверхні буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=2}^n C_o \cdot \varepsilon \cdot b \cdot F_1 \cdot \phi_{1-i} (t_1 - t_i) + \alpha_1 F_1 (t_1 - t_b) + k_1' F_1 (t_1 - t_n) = \\ = \sum_{k=1}^m C_o \cdot \varepsilon \cdot F_k^{\pi} \cdot \phi_{k-1}^{\pi} \cdot \left(\left(\frac{T_{\pi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right) + \sum_{i=2}^n C_o \cdot \varepsilon \cdot b \cdot F_i \cdot \phi_{i-1} (t_i - t_1) + Q_{\text{л.тп.1}}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Аналогічно рівнянням 2.4 та 2.11, в математичну модель необхідно вставити рівняння теплового балансу для кожної внутрішньої поверхні всіх огорожуючих конструкцій. Всього в математичну модель входить n рівнянь теплового балансу внутрішніх поверхонь (стін).

Рівняння теплового балансу повітря в середині приміщення має наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^n Q_{i-b} + \sum_{k=1}^m Q_{k-b}^{\pi} - Q_{\text{п.в}} + Q_{\text{к.тп}} = 0 \quad (2.12)$$

В кінцевому результаті математична модель теплового режиму буде складатись з n рівнянь теплового балансу внутрішніх поверхонь конструкцій:

температуру внутрішнього повітря t_b і температуру обігрівача системи опалення t_n : всього $n+2$ невідомих. Кількість рівнянь і кількість невідомих однакові.

В результаті розрахунків цієї системи можна знайти всі невідомі температури, а потім – потужність системи інфрачервоного опалення, використовуючи рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{ГЛО}} = \sum_{i=1}^n C_o \cdot \varepsilon \cdot F^n \phi_{n-i} \left(\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right) + \alpha_n \cdot F_n (t_n - t_b) \quad (2.16)$$

Коефіцієнт опромінення поверхні 1 поверхнею 2 не залежить від температури поверхні і розраховується за формулою:

$$\phi_{1-2} = \frac{1}{F_1} \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_1 dF_2 \quad (2.17)$$

Ступінь чорноти ε кожної з поверхонь в робочому діапазоні температур майже не залежить від температури і приймається з довідкової літератури в залежності від матеріалу конструкції і діапазону робочих температур.

Ступінь чорноти для інфрачервоних випромінювачів, детально було описано в першому розділі магістерської роботи, приймається по довідниках або по паспорту обігрівача.

Температурний коефіцієнт b має незначну залежність від температури і розраховується згідно формули:

$$b = 0,81 + 0,01 \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.18)$$

Таким чином, розглянуті рівняння є нелінійними. Для рівнянь 2.11- 2.12 всі степені при невідомих можна замінити на першу степінь, застосувавши систему поправок. Для розв'язку поправок необхідно задатися початковими температурами. Після розрахунку поправок отримуємо систему рівнянь першого ступеня, що розв'язується методом Гауса.

З рівняння теплового балансу приміщення можна визначити температуру кожної точки розігрітої поверхні:

$$t_i = \frac{C_o \varepsilon \phi_{dF \rightarrow \varepsilon, \text{уч}} \left[\left(\frac{T_{\varepsilon, \text{уч}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] + k' t_n + \alpha t_b + C_o b \varepsilon t_o}{k' + \alpha + C_o b \varepsilon} \quad (2.19)$$

З допомогою рівняння 2.19 можна визначити температуру кожної ділянки опроміненої поверхні, якщо відомі температури випромінювача, повітря і внутрішньої площини, тобто після розрахунку теплового режиму приміщення за допомогою рівнянь 2.11-2.12.

Таким чином, при відомому тепловому режимі приміщення можна знайти розподіл температур на поверхні опроміненої площини, а потім - тепловіддачу людини в бік опроміненої площини:

$$Q_F = \int_F C_o \varepsilon b (t_{\text{чел}} - t_i) \frac{\cos \beta}{\pi R_1^2} F_{\text{чел}} f_{\varepsilon \phi} f_{\text{од}} f_p dF \quad (2.20)$$

В свою чергу, ця тепловіддача впливає на тепловий комфорт людини, а, отже, і на тепловий режим приміщення

З допомогою отриманої математичної моделі розглянуті особливості локального опалення приміщення з використанням інфрачервоних випромінювачів.

Прототипом цієї системи рівнянь є математична модель, запропонована А. Мачкаши. Запропонована в магістерській роботі модель, відрізняється лише

тим, що в ній вибрані інші критерії комфортності, які дають можливість розділити теплове випромінювання інфрачервоних приладів опалення від інших теплових потоків.

Дана модель універсальна з її допомогою можна розрахувати будь-яку систему інфрачервоного опалення для будь-якого приміщення.

2.3 Висновки до розділу 2

1. В будь-кому опалюваному приміщенні чи будівлі необхідно створити та підтримувати тепловий режим в залежності від його призначення і санітарно-гігієнічних вимог.

2. Температура, що безпосередньо впливає на тепловий комфорт людини, повинна забезпечувати абсолютне значення різниці температури навколишнього середовища і температури повітря не більше 5 °C в стані спокою людини і не більше 7 °C в процесі інтенсивної роботи.

3. Запропонований новий критерій комфортності, що враховує особливості інфрачервоного опалення.

4. Дослідження показали, що температура зовнішніх поверхонь огорожуючих конструкцій при використанні інфрачервоних випромінювачів нижча, ніж при традиційних система опалення.

5. Використання систем інфрачервоного опалення зменшує градієнт температури повітря по висоті приміщення в два рази, що дозволяє зменшити термічний опір конструкцій перекриття приблизно до рівня термічного опору стін.

6. Використання систем інфрачервоних випромінювачів дозволяє зменшити надлишковий нагрів повітря.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Оцінка енергетичної ефективності застосування електричних інфрачервоних випромінювачів

Сьогодні велика увага приділяється проблемам енергозбереження і економії енергоресурсів. Значна частка споживаної енергії витрачається на опалення приміщень, тому ведуться активні пошуки найбільш економічних і ефективних способів опалення. До таких енергоефективних систем належать системи інфрачервоного опалення, в яких як опалювальні прилади використовують електричні або газові інфрачервоні випромінювачі структуру яких на ринку України показано на рис. 3.1.

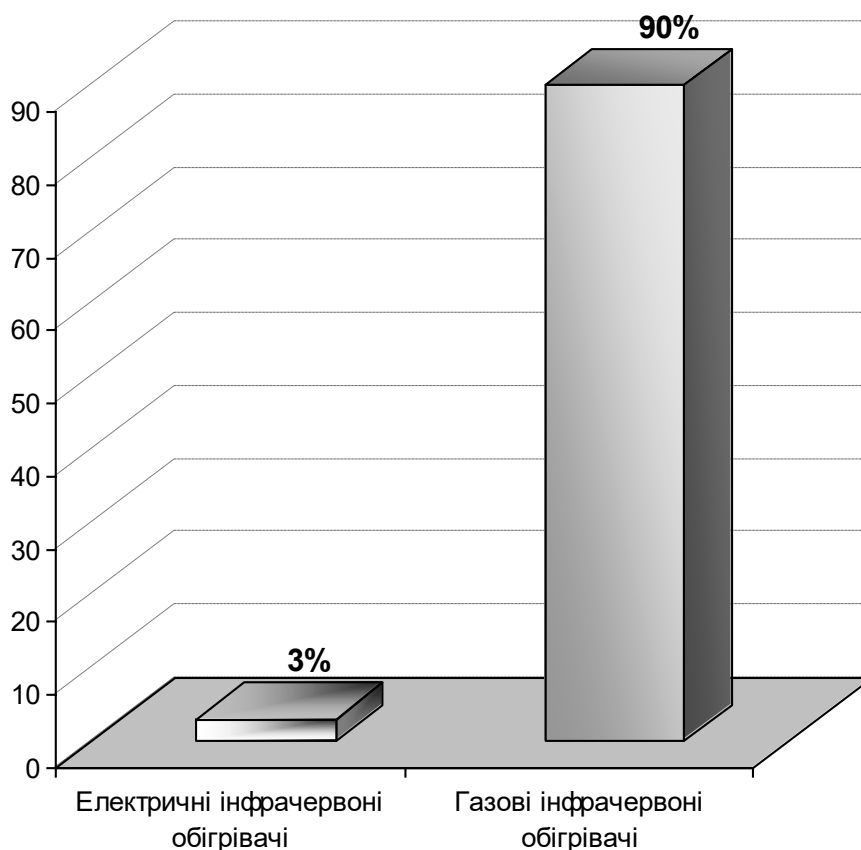


Рисунок 3.1 – Структура ринку інфрачервоних випромінювачів України

При прийнятті рішення про застосування інфрачервоних випромінювачів, потрібно враховувати, що вони особливо економно опалюють великі

приміщення, якщо їх висота більше 6 м, а ширина рівна або більша в три рази ніж висота, а також при локальному чи зональному опаленні.

В умовах України ефективне зональне опалення з дотриманням гігієнічних норм можливе, якщо площа зони опалення складає не менше 40 % від загальної площі приміщення, повною мірою переваги випромінювачів проявляються, коли коефіцієнт теплопровідності конструкції буде $\geq 1,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, це не означає, що при $\leq 1,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ інфрачервоне опалення буде неефективним, але підкреслює, що за таких умов як альтернативу можна розглядати децентралізоване тепло-повітряне або комбіноване променево - конвективне опалення. Особливо ефективним буває інфрачервоний спосіб опалення у добре ізольованих приміщеннях з коефіцієнтом тепловтрат від 1,16 до 2,3 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

При цьому необхідно відмітити, що незалежно від розмірів і об'єму приміщення застосування інфрачервоних випромінювачів, в порівнянні з іншими видами опалення, економічно вигідно. Виключенням можуть бути добре ізольовані приміщення, коли децентралізоване повітряне опалення здатне скласти конкуренцію інфрачервоному, особливо, якщо як вид палива використовується газ.

Економія при інфрачервоному опаленні може досягати до 70 % в порівнянні зтраційними опалювальними системами. Сьогодні вже є досвід проектування таких систем, який забезпечує повернення коштів від 2 до 3 років.

Природно, чим ближче до обігрівача, тим більший потік тепла і вища температура предметів. Причому виділення тепла відбувається лише в зоні його прямої дії, тобто обігрів носить локальний характер. Поверхня тепловіддачі від підлоги і предметів, нагрітих інфрачервоними обігрівачами, в житлових приміщеннях (будинок, дача, квартира) в середньому в 5-10 разів перевищує поверхню тепловіддачі традиційних систем опалення. Тому об'єм повітря в зоні перебування людей прогрівається до заданої температури швидше тим самим споживаючи менше енергії. Із збільшенням висоти підвісу інфрачервоних

випромінювачів (наприклад, в складських приміщеннях) поверхня тепловіддачі збільшується ще більше, тим самим збільшується економічність.

Існує цілий ряд переваг інфрачервоних випромінювачів перед іншими опалювальними приладами та системами.

По-перше, при використанні інфрачервоних випромінювачів практично відсутнє скупчення теплого повітря (при цьому тепле повітря в окремих випадках доводиться примусово повертати в низ, використовуючи для цього вентилятори) рис.3.2.

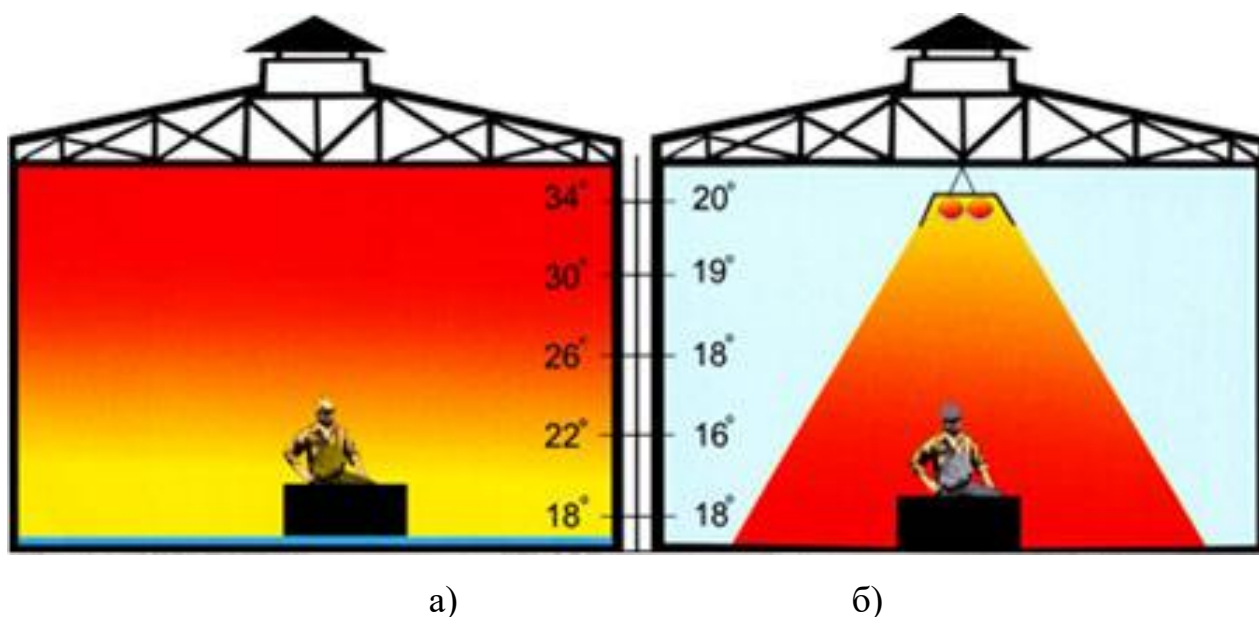


Рисунок 3.2 – Розподіл температури в приміщенні при конвективному (а), та інфрачервоному опаленні (б)

Як показує практика, при використанні інфрачервоних випромінювачів для опалення будинку, дачі, офісу, гаража і інших приміщень з висотою стелі до 3, 5 м, економія електроенергії складає 30-50 %. При опаленні приміщень з висотою стель від 3,5 до 10 м (цех, завод, склад і ін.) економія складає 70 %.

Сьогодні використання інфрачервоних випромінювачів особливо ефективно в офісах, цехах, складах, магазинах, кафе, ресторанах, держустановах, лікарнях, дитячих садах і інших закладах, де вдається не лише створювати локальні зони обігріву, але і економити енергію, особливо у нічний час коли в приміщенні може підтримуватися нижча температура.

Інша перевага інфрачервоних випромінювачів як джерела тепла полягає в тому, що робочий об'єм приміщення може використовуватися повною мірою, оскільки такі випромінювачі підвішуються до стелі. Вони можуть бути змонтовані прямо на стелі, на монтажній арматурі систем освітлення, можуть підвішуватися на горизонтальних тросах або мати маятникову підвіску.

3.2 Ефективність застосування газових інфрачервоних випромінювачів

Потрібно відмітити, що спочатку газові інфрачервоні випромінювачі були призначені для промислового використання і лише згодом набули популярності, як ефективний опалювальний прилад для побуту. Звичайно, що є істотні відмінності вимог до приладів промислового чи суспільно-побутового призначення, тому сьогодні спостерігається виправлення тенденції використання газових випромінювачів для цілей первинного призначення, тобто для вирішення технологічних завдань сушки і розморожування різних матеріалів, іншими словами для сфер застосування, де присутність людини обмежена.

Теплопостачання виробничих приміщень завжди вважалося важким завданням, тому, що вони створювались під конкретний технологічний процес і на відміну від адміністративних і побутових приміщень вражають своїми розмірами.

Основні чинники що визначають економію витрат при використанні газових інфрачервоних випромінювачів в порівнянні з конвективними системами опалення подані в табл. 3.1.

Як вже згадувалось в газових інфрачервоних системах може використовуватись природний газ, пропан, бутан або газові суміші. Завдяки повному згоранню газу газові інфрачервоні випромінювачі мають більшу ефективність в порівнянні з котлами і теплогенераторами на твердому або рідкому паливі.

Таблиця 3.1 – Основні чинники що визначають економію витрат при використанні газових інфрачервоних випромінювачів

Основні чинники	Економія
Підвищення середньої робочої температури в приміщенні	10 %
Зменшення скупчення теплого повітря під перекриття	5 %
Можливість зменшення нічної температури	10 %
Зниження середньої робочої температури за рахунок різниці температур (зниження температури на складах, сходових клітках і т.п.)	10 %
Втрати при тепла при транспортуванні	20 %

Ефективність споживання газу традиційною та інфрачервоною системами опалення показані на рис. 3.3.,

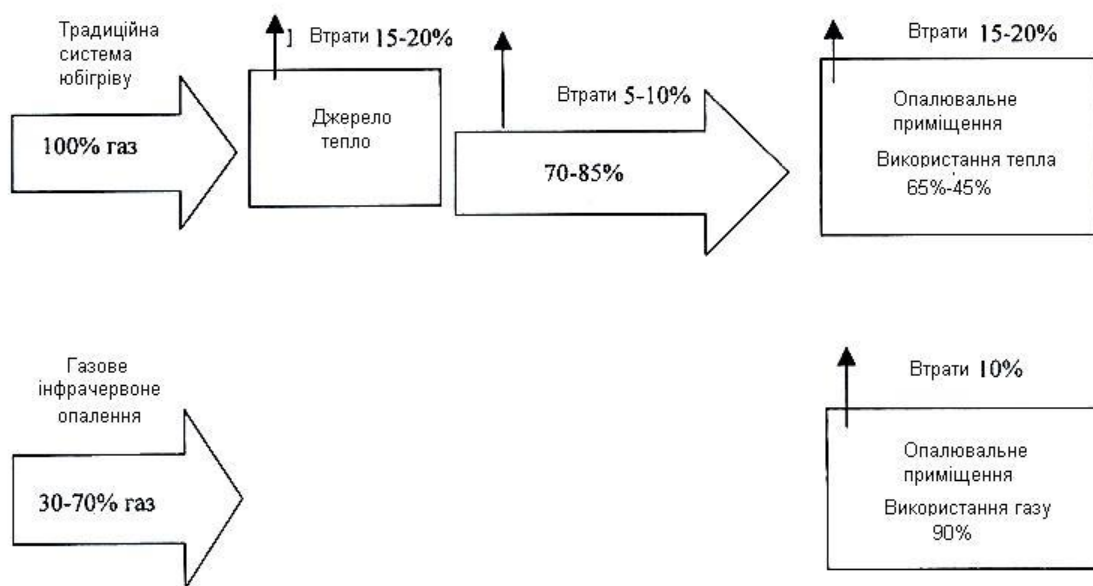


Рисунок 3.3 – Ефективність споживання газу традиційною та інфрачервоною системами опалення

де споживання газу для виробництва теплової енергії в котла становить 100 %, втрати в самому джерелі тепла 15 % (вода) і 20 % (пара) від всієї кількості

енергії, вісі інші втрати відбуваються в зовнішній мережі, яка в залежності від виду теплоносія втрачає приблизно 5 % (вода) і 10 % (пара). Перед подачею в опалювальне приміщення, втрати як ми бачимо складають 15 % або 20 % теплової енергії, причому ця енергія корисно не використовується.

Системи газового інфрачервоного опалення значно дешевші при будівництві та експлуатації, в табл.3.2., приведено порівняння витрат на встановлення і експлуатацію газових інфрачервоних випромінювачів і котельній на 1 МВт.

Промислові газові інфрачервоні випромінювачі поділяються на дві групи: «світлі» і «темні». Окрім конструктивних відмінностей, які були описані вище, основними ознаками тієї або іншої групи є температура поверхні випромінювача: в «світлого» випромінювача 800-1000 °С, в «темного» - 300-600 °С.

Таблиця 3.2 – Порівняння витрат на встановлення і експлуатацію газових інфрачервоних випромінювачів і котельній на 1 МВт

Вид робіт	Система газового інфрачервоного опалення на 1МВт	Котельня на 1МВт
Теплове обладнання (випромінювачі, котли)	33 000 €	30 000 €
Вартість «під ключ»	72 000 €	90 000 €
Витрати на експлуатацію (газ +	9 000 €	22 000 €
Всього	114 000 €	142 000 €

Світлі інфрачервоні випромінювачі найбільш ефективні для обігріву виробничих приміщень з висотою перекриття більше 6 м, а також таких об'єктів, як стадіони і інші відкриті майданчики. Темні інфрачервоні випромінювачі доцільно використовувати для обігріву приміщень меншої висоти. Структура ринку «світлих» і «темних» інфрачервоних випромінювачів показана на рис.3.4.

Теплова енергія, що генерується випромінювачем розподіляється на два

види: конвективну і променеву, відношення променевої енергії до теплової називається – променевою ефективністю випромінювача або променистим ККД. В залежності від конструкції темні випромінювачі мають ККД 45...65 %.

Деякі фірми постачальники світлих випромінювачів для аргументації ефективності світлих випромінювачів часто приводять значення променистої ефективності, навіть до 80-90 %.

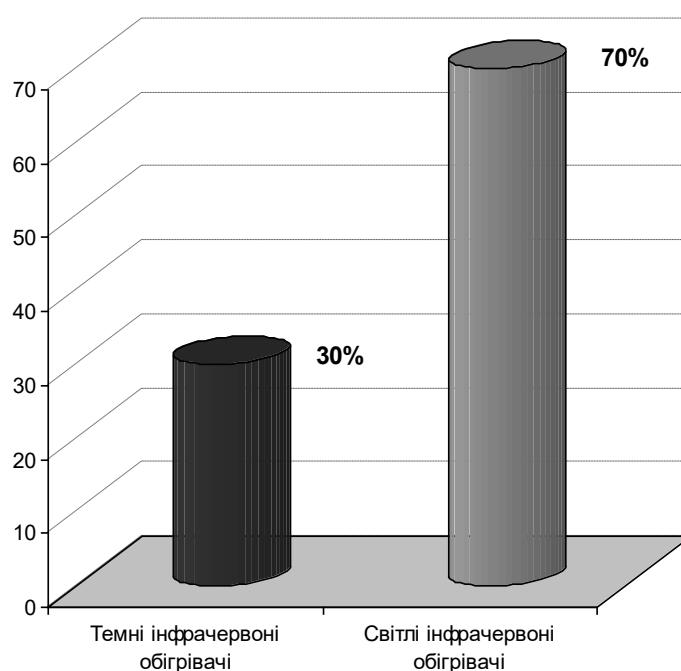


Рисунок 3.4 – Структура ринку «світлих» і «темних» інфрачервоних випромінювачів на ринку України

Це неправдива інформація, якщо враховувати, що при згоранні природного газу при атмосферному тиску, у полум'ї можна отримати температуру не більше $+2010^{\circ}\text{C}$ (при ідеальному співвідношенні повітря/газ $10:1 + 1$), то при коефіцієнті надлишку повітря 1,1 температура горіння дорівнюватиме приблизно 1890°C . При температурі повітря на рівні встановлення випромінювачів $+20^{\circ}\text{C}$, на поверхні керамічних пластин встановиться середня температура між температурою горіння і температурою повітря, а саме: $(1890 + 20) / 2 = 955^{\circ}\text{C}$.

Виходячи з цього, ми можемо розрахувати яка частка енергії використовується на конвективний обігрів (викиди димових газів) при спалюванні 1 м³ газу (теплотворна здатність 35 Мдж) виділяється приблизно 9,7 кВт енергії.

Це означає, що з кожних вироблених світлим випромінювачем 9,7 кВт енергії разом з димовими газами у вигляді конвективної складової втрачається 39 % енергії, променевий ККД світлих випромінювачів в даному випадку не може бути вищим 61 %. Реальний променевий ККД газових інфрачервоних випромінювачів знаходиться в межах 60-65 %.

Порівняння різних типів газових інфрачервоних випромінювачів відображені в табл.4.3.

В порівнянні з центральним паровим опаленням основними перевагами газо-вого інфрачервоного опалення полягає у відсутності теплоносіїв таких як пара або гаряча вода, теплотрас, тепловтрат при передачі тепла, скорочення обслуговуючого персоналу, зниження експлуатаційних і капітальних витрат.

Таблиця 3.3 – Порівняння газових інфрачервоних випромінювачів

Вид обігрівача	Променеве тепло робочої	Втрати з димовими газами	Конвекція	Абсорбція
Світлі	65 %	30 %	-	3-6 %
Темні	60 %	10-15 %	20 %	3-6 %
Супертемні	25-45 %	5-10 %	45-70 %	-

Недоліком такого виду опалення є відведення димових газів, монтаж і обслуговування газових труб, а також потрібна циркуляція свіжого повітря в приміщенні для дихання і згорання газу. Якщо це зима, то повітря входить холодним і його треба підігрівати. Кратність повітрообміну має бути вищою, ніж при водяному опаленні, через наявність газу.

Ще одним недоліком можна вважати жорсткий лімітований об'єм споживання магістрального газу - покупцям, що володіють лімітами на газ, незалежно від ціни доводиться використовувати весь його об'єм.

3.3 Енергетична ефективність, та методика розрахунку електричних інфрачервоних випромінювачів

3.3.1 Ефективність електричних інфрачервоних випромінювачів

На сьогоднішній день електричні інфрачервоні випромінювачі абсолютно безпідставно набули меншого розповсюдження ніж газові чи навіть їх найближчі «родичі» - електричні конвектори. Це насамперед пов'язано з браком досвіду з їх використання. Хоча використання електричного інфрачервоного устаткування передбачало грамотний розрахунок потужності системи і коректне проектування місця розташування приладів на стелі. Раніше, женучись за дешевизною, багато користувачів замість декількох апаратів купували один, потужність якого відповідала розрахунковій. В результаті деякі, в прямому сенсі обпеклися на цьому типі устаткування. Так, споживачі встановлювали в приміщенні інфрачервоні випромінювачі потужністю 3 кВт і отримували звичайний сонячний удар. Сьогодні компаніями, що працюють на ринку з інфрачервоними системами вже не один рік, накопичений відповідний досвід, проте деяка недовіра до інфрачервоних приладів у споживачів і фахівців все одно залишається.

Електричні інфрачервоні випромінювачі, як було описано у другому розділі поділяються на: високотемпературні (температура поверхні більше 300 °C), довго-хвильові (температура поверхні більше 100-200 °C) і низькотемпературні (температура поверхні більше 25-50 °C).

Високотемпературні випромінювачі, як і газові використовуються в основному в промисловості з високими стелями де перебування людини тимчасове.

Довгохвильові випромінювачі призначені для обігріву житлових приміщень. Хоча досить висока температура нагрівальної поверхні може призвести до випадкових опіків, при цьому людина в зоні таких випромінювачів відчуває дискомфорт, пов'язаний з перегрівом голови і

холодом в ногах, тому їх використання можливе при висоті стелі біля 3 м і вище.

Найбільш комфортними і екологічними серед електричних інфрачервоних випромінювачів є низькотемпературні з температурою поверхні, що не перевищує 50 °С . При такій температурі випромінювача досягається максимальна ефективність опалювання приміщень. Проте ефективність опалення пов'язана не з температурою повітря, в приміщенні а з тепловим комфортом людей які знаходяться в ньому.

Електричні інфрачервоні випромінювачі вже на стадії проектування чи реконструкції дозволять вам економити гроші на будівельних матеріалах чи демонтажі старої системи опалення. Таким чином вирішуючи завдання оптимізації енергоефективності будівлі при проектуванні, визначають показники архітектурних і інженерних завдань, що забезпечують мінімізацію витрат енергії на створення мікроклімату в приміщеннях будівлі. Проте існуючі будівельні норми і правила (СНіП) і санітарно-гігієнічні норми орієнтовані на використання систем традиційного опалення з використанням водяних систем опалення.

Тому потрібно впроваджувати нові системи інфрачервоного електричного опалення які дозволяють підвищити енергоефективність будівлі з одночасним поліпшенням комфортності мікроклімату. Хоча, для більшості випадків впровадження в приватному, коттеджному або іншому замиському будівництві, де є необхідна потужність електричних мереж, потрібно лише розрахувати достатню потужність випромінювачів для конкретного приміщення, а інше - оптимізацію витрат енергії на створення і підтримку комфортного середовища, виконає ефективна система авторегулювання подачі тепла.

Такі системи, достатньо витратні і дорогі. Часто ми чуємо в рекламі, що електричне опалення є «екологічно чистим і зручним», оскільки воно не виділяє шкідливих продуктів згорання. І це так. Але водночас для вироблення 1 кВт · год., електро-енергії на тепловій електростанції потрібно майже 3 кВт · год., теплової енергії.

3.3.2 Методика розрахунку встановленої потужності електричних інфрачервоних випромінювачів для типових житлових приміщень

Нижче приведена методика розрахунку встановленої потужності електричних інфрачервоних випромінювачів для типових житлових приміщень з висотою стелі 2,5-3,0 м.

Вихідними даними для розрахунку є:

- температура в приміщенні: + 20 °С;
- зовнішня температура: -20 °С.

$P_{вст}$ - встановлена потужність електричних інфрачервоних випромінювачів яка рівна максимальним витратам тепла на опалення Q_h при максимальних морозах .

$$P_{вст} = P_з \cdot S \cdot K_{ст} \cdot K_{зст} \cdot K_{вк} \cdot K_{пов} \cdot K_{дв} \quad (3.1)$$

де $P_з$ - питома розрахункова потужність, кВт:

- для південних областей $P_з = 0,02$ кВт;
- для східних і центральних областей $P_з = 0,03$ кВт;
- для західних і північних областей $P_з = 0,04 - 0,05$ кВт.

S - площа опалюваного приміщення, м²;

$K_{ст}$ - коефіцієнт теплових втрат через стіни приміщення:

- стіни бетонні панельні, цегляні в 1,5 цегли $K_{ст} = 1,25-1,5$;
- стіни цегляні в 2,5 цегли $K_{ст} = 1,1$;
- стіни дерев'яні $K_{ст} = 1,25$;
- стіни пінобетонні з підвищеною теплоізоляцією $K_{ст} = 1$.

$K_{зст}$ - коефіцієнт, який враховує кількість зовнішніх стін приміщення:

- одна стіна $K_{зст} = 1$;
- дві стіни $K_{зст} = 1,15$;

– внутрішнє приміщення $K_{зст} = 0,1-0,3$.

$K_{вк}$ - коефіцієнт теплових втрат через вікна приміщення:

$$K_{вк} = 1 + \rho S_{вк} \quad (3.2)$$

де $S_{вк}$ - площа вікна, m^2 ;

$\rho = 0,2$ для звичайного двійного вікна;

$\rho = 0,1$ для вікна з одинарним склопакетом;

$\rho = 0,07$ для вікна з двійним склопакетом.

$K_{нов}$ - коефіцієнт який враховує теплові втрати 1-го і останнього поверху:

– перший або останній поверхи $K_{нов} = 1,3/1,1$;

– другий і вище поверхи $K_{нов} = 1$.

$K_{дв}$ - коефіцієнт тепловтрат через вхідні (балконні) двері:

– внутрішні або вхідні двері які межують з опалюваним приміщенням $K_{дв} = 1$;

– вхідні (балконні) двері, що виходять на вулицю $K_{дв} = 1,2-1,4$.

Виходячи з розрахункової встановленої потужності $P_{вст}$ розраховується споживання електроенергії за опалювальний період з врахуванням використання системи авторегулювання подачі тепла:

$$Q = 0,33 \cdot P_{вст} \cdot 24 \cdot 190 \quad (3.3)$$

де 0,33- показник який враховує середнє за опалювальний період 7 місяців (190 днів по 24 год.) споживання електричної енергії по відношенню до пікової.

Питома кількість тепла на опалювання за опалювальний період визначається за формулою, кВт / m^2 :

$$Q_h = Q / S \quad (3.4)$$

Необхідна кількість випромінюючих панелей визначається, виходячи з встановленої потужності $P_{вст}$ для даного приміщення, м²:

$$S_n = P_{вст} / 0,5 \quad (3.5)$$

де 0,5 - коефіцієнт який дорівнює питомій потужності теплового випромінювання, що становить 0,5 кВт на квадратний метр площі випромінювача.

В якості прикладу розрахуємо встановлену потужність та споживання електричної енергії для приміщень котеджного будинку загальною площею 104,6 м², який побудований в західних областях України. Розріз першого та другого поверхів будинку і їх загальна характеристика показані на рис.3.5,3.6.

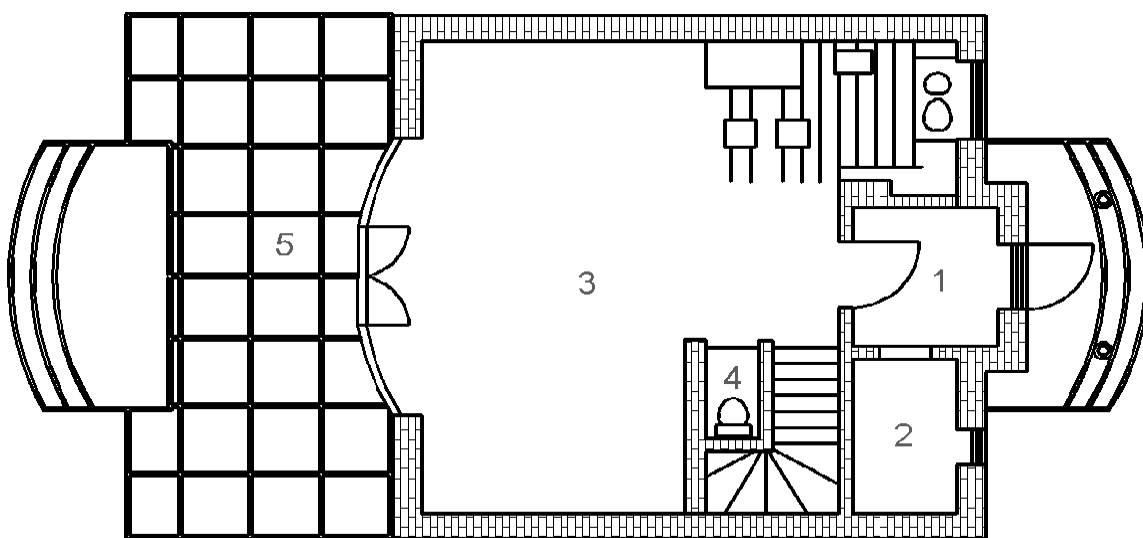


Рисунок 3.5 – Розріз першого поверху будинку

1- коридор - 4,2 м²; 2- господарське приміщення - 4,6 м²; 3- кімната + кухня - 19,4 м²; 4- вбиральня - 1,4 м²; 5- веранда - 10 м².

Враховуючи характеристику приміщень першого поверху встановлення інфрачервоних випромінювачів передбачається в коридорі (4,2 м²) та великій кімнаті спареній з кухнею (19,4 м²).

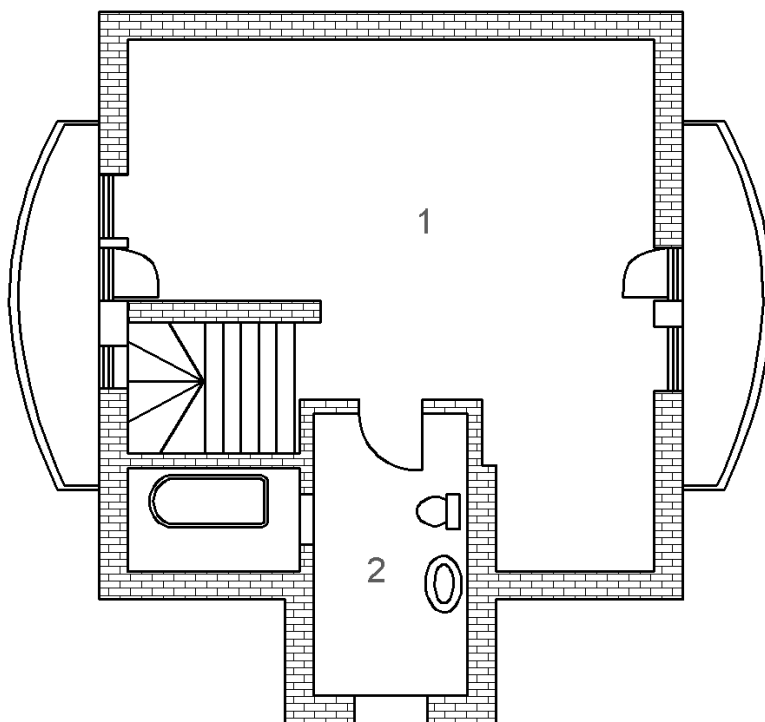


Рисунок 3.6 – Розріз другого поверху будинку

1- кімната - 24,3 м²; 2- вбиральня + ванна - 5,3 м²;

Характеристика другого поверху передбачає встановлення випромінювачів у великій кімнаті загальною площею 24,3 м².

Встановлена потужність опалення для коридору (4,2 м²):

$$P_{\text{вст}} = 0,04 \cdot 4,2 \cdot 1,25 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 0,33 \text{ кВт}$$

Розрахункове споживання електроенергії за опалювальний період:

$$Q = 0,33 \cdot 0,33 \cdot 24 \cdot 190 = 497 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

Питома кількість тепла на опалювання за опалювальний період

$$Q_h = 497 / 4,2 = 118 \text{ кВт} / \text{м}^2$$

Площа випромінюючих панелей для опалення коридору буде:

$$S_n = 0,33 / 0,5 = 0,7 \text{ м}^2$$

Виберемо електричний інфрачервоний випромінювач з існуючих сьогодні на ринку України табл.3.4.

Для обігріву коридору ми виберемо один обігрівач розміром 1960·360 мм площа і потужність якого відповідає розрахунковим, ціна обігрівача 5500 грн.

Встановлена потужність опалення для великої кімнати з кухнею (19,4 м²):

$$P_{\text{вст}} = 0,04 \cdot 19,4 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,22 \cdot 1,3 \cdot 1,4 = 2,5 \text{ кВт}$$

Розрахункове споживання електроенергії за опалювальний період:

$$Q = 0,33 \cdot 2,5 \cdot 24 \cdot 190 = 3762 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

Питома кількість тепла на опалювання за опалювальний період

$$Q_h = 3762 / 19,4 = 194 \text{ кВт} / \text{м}^2$$

Площа випромінюючих панелей для опалення кімнати та кухні буде:

$$S_n = 2,5 / 0,5 = 5 \text{ м}^2$$

Для обігріву великої кімнати і кухні ми виберемо три випромінювачі розміром 1960·560 мм, розмістимо два з них над вікнами тераси і один над вікном кухні, і два 1800·390 та 1800·590 мм, розмістивши їх на протилежних стінах кімнати, загальна вартість випромінювачів складає 27480 грн.

Встановлена потужність опалення для великої кімнати другого поверху (24,3 м²):

$$P_{\text{вст}} = 0,04 \cdot 24,3 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,17 \cdot 1,4 = 2,3 \text{ кВт}$$

Розрахункове споживання електроенергії за опалювальний період:

$$Q = 0,33 \cdot 2,3 \cdot 24 \cdot 190 = 3506 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

Питома кількість тепла на опалювання за опалювальний період

$$Q_h = 3506 / 24,3 = 144 \text{ кВт} / \text{м}^2$$

Площа випромінюючих панелей для опалення великої кімнати буде:

$$S_n = 2,3 / 0,5 = 4,6 \text{ м}^2$$

Для обігріву великої кімнати другого поверху ми вибрали два випромінювачі розміром 1400·700 мм, розмістивши їх над вікнами, і два 1800·590 мм, розмістивши їх на протилежних стінах кімнати, загальні капітальні витрати на придбання випромінювачів будуть 17280 грн.

Таблиця 3.4 – Характеристики електричних інфрачервоних випромінювачів

Розміри, мм	Площа, м ²	Потужність, Вт	Розміри, мм	Площа, м ²	Потужність, Вт
1960 x 265	0,50	250	1500 x 330	0,50	250
1960 x 360	0,70	340	1500 x 470	0,70	340
1960 x 450	0,88	440	1500 x 590	0,88	440
1960 x 560	1,10	500	1400 x 360	0,50	250
1800 x 280	0,50	250	1400 x 700	0,98	500
1800 x 390	0,70	340	1200 x 420	0,50	250
1800 x 490	0,88	440	1200 x 590	0,71	340
1800 x 590	1,06	500	1200 x 730	0,88	440

Отже сумарні витрати на електроенергію для опалення приміщень будинку загальною площею 104,6 м² з допомогою електричних інфрачервоних випромінювачів протягом одного сезону будуть наступними:

$$\sum_e = 497 + 3762 + 3506 \cdot 2,64 = 13514,84 \text{ грн.} / \text{рік}$$

де 2,64 – вартість електроенергії за звичайним тарифом, грн/(кВт·год).

Для економічної оцінки різних видів опалення, ми провели декілька додаткових розрахунків електричних та водяних систем опалення житлового будинку котеджного типу. В умовах енергосистеми України впровадження нових, економних систем обігріву дозволило б зменшити споживання енергетичних ресурсів, а основою їх впровадження повинні стати – економічність та екологічність системи, а не високі капітальних витрат на облаштування.

Як видно з таблиці 4.5, вартість встановлення різних систем опалення коливається в широких межах – від 6,129 до 11,732 тис грн., залежно від виду системи опалення та використаного обладнання.

Таблиця 3.5 – Капітальні витрати на встановлення різних систем обігріву

№ _п	Вид опалення	Капітальні витрати, грн.
1.	Система опалення з використанням електричних інфрачервоних випромінювачів	50260,00
2.	Водяна система опалення з використанням газового котла	11732,35
3.	Електрична система опалення «Тепла підлога»	11062,6
4.	Система опалення з використанням електричних конвекторів	7767,00
5.	Система опалення з використанням газових конвекторів	6129,00

Зараз в Україні експлуатуються біля 600 тисяч будинків, що споживають близько 40 % теплової енергії. На опалення житлового фонду щороку витрачається понад 70 млн. т.у.п., тобто на одного мешканця припадає 1,4 т.у.п., це вдвічі більше, ніж у розвинутих країнах Європи. В таких умовах ефективність системи опалення набуває вирішального значення. Наші розрахунки показали, що електричні інфрачервоні системи опалення будинків – набагато вигідніший, надійніший і зручніший варіант, ніж газові конвектори, електричні

конвектори та теплі підлоги і споживач отримує таке ж якісне тепло в необхідній кількості за нижчою ціною.

На рисунку 3.7. показана ефективність різних систем опалення в залежності від вибору різного теплоносія.



Рисунок 3.7 – Ефективність систем опалення в залежності від вибору теплоносія

3.4 Висновки до розділу 3

Перелічені фактори і дані техніко-економічних розрахунків дають можливість зробити висновок про доцільність використання для опалення будинку котеджного типу електричних інфрачервоних випромінювачів хоча термін окупності їх досить високий, але з набуттям популярності та появою конкуренції капітальні витрати на облаштування зменшаться, також потрібно відмітити, що такі системи досить ефективно можна використовувати для створення локального обігріву, а також використовуючи диференційовані за часом доби тарифи на електроенергію, враховуючи, що опалювальний сезон триває 190 днів 24 години на добу використання двоставкових тарифів на електроенергію для населення більш ніж виправдано.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при будівництві та експлуатації електричних інфрачервоних систем обігріву

Охорона праці та техніка безпеки при будівництві та експлуатації систем електрообігріву забезпечується прийняттям проектних рішень у відповідності до ПУЕ-86 «Правила улаштування електроустановок» та СНіП III-4-80 «Техніка безпеки в будівництві».

Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки кваліфікаційною роботою передбачено:

- > використання технічно-досконалого обладнання;
- > розташування обладнання забезпечує вільний доступ при обслуговуванні;
- > використання типових конструкцій;
- > використання при виконанні будівельно-монтажних робіт машин та механізмів, в конструкціях яких закладені принципи охорони праці;
- > заземлення елементів електроустановок з нормованою величиною опору і конструкцією, яка відповідає вимогам ПУЕ-86;
- > високий рівень механізації будівельно-монтажних робіт;
- > виконання будівельно-монтажних робіт згідно типових технологічних карт.

Забороняється в електроустановках доторкатися до струмопровідних частин обладнання, які можуть знаходитися під напругою без захисних засобів (індикаторів, гумових рукавиць і т. ін.).

Знімати та встановлювати запобіжники чи інші елементи захисту необхідно при відключеній напрузі живлення.

Двері приміщень електроустановок зачиняти на замок.

Системи електричного опалення знаходиться під струмом небезпечним для життя людини. Тому необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

- ✓ застосування одного із методів захисту елементів електричного опалення від пробією - заземлення, занулення чи автоматичного відключення;

- ✓ ізоляція відкритих електричних частин;
- ✓ огороження енергонесучих частин та застосування знаків попереджувальних про небезпечну напругу;
- ✓ ремонт, монтаж та огляд обладнання дозволяється лише при виключеній напрузі;
- ✓ наявність загального вимикача напруги;
- ✓ не допускається робота зіпсованого обладнання, а також при короткому замиканні.

4.2 Розрахунок захисного занулення електричних систем обігріву

Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним проводом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок замикання на корпус або за інших причин.

Занулення призначено для усунення небезпеки ураження електричним струмом у разі дотику до корпусу та інших неструмоведучих металевих частин електроустановки, яка опиниться під напругою внаслідок замикання на землю. Вирішується ця задача іншим шляхом, ніж у випадку захисного заземлення: швидким вимиканням від мережі пошкодженої електроустановки. З моменту виникнення замикання на корпус і до відключення електроустановки від мережі занулення виконує функцію захисного заземлення, тобто знижує напругу дотику до безпечних значень.

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним та нульовим проводами) з метою викликати струм, значно більший, ніж робочий, спроможний забезпечити спрацювання захисту і тим самим автоматично вимкнути ушкоджений електроелемент від мережі.

Розрахуємо захисне занулення для системи електричного опалення, яке підключено до мережі напругою 380В з глухозаземленою нейтралю.

При замиканні фази на занулений корпус електроелемент автоматично відключається, якщо струм однофазного короткого замикання $I_{кз}$ задовольняє умові:

$$I_{кз} \geq 3RI_{ном} \quad (4.1)$$

де R – коефіцієнт кратності номінального струму $I_{ном}$, А запобіжника.

Так як захист здійснюється плавкими запобіжниками, то згідно ПУЕ – 87 приймаємо $R = 3$.

$$I_{кз} 3RI_{ном} = 3 I_{ном} \quad (4.2)$$

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_m / 3 + Z_n) \quad (4.3)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга, 220 В;

Z_T - опір трансформатора;

Z_{Π} - опір петлі фаза-нуль, яке визначається з залежності:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_i)^2} \quad (4.4)$$

де R_{ϕ} , R_n - активний опір фазного і нульового провідника, Ом;

X_{ϕ} , X_n - внутрішній індуктивний опір фазного і нульового провідника, Ом;

X_i - зовнішній індуктивний опір петлі «фаза – нуль», Ом.

Найменше допустиме значення $I_{кз}$.

$$I_{кз} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А}$$

Розраховуємо опори з врахуванням матеріалу провідника: R_{ϕ} , R_n , X_{ϕ} , X_n :

$$R_{\phi} = rL / S, R_n = r \cdot L / S \quad (4.5)$$

де $\rho_{ал}$ – питомий опір провідника з алюмінію, $\rho_{ал} = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

L – довжина провідника, $L = 20 \text{ м}$,

S - переріз провідників, які йдуть:

S_1 – від трансформатора до ВРП у щитовій;

S_2 – від ВРП у щитовій до котла;

L_1 – довжина провідника від трансформатора до ВРП;

L_2 – довжина провідника від ВРП до котла.

Підставимо значення і отримаємо значення опорів:

$$R_{\phi 1} = \rho L_1 / S_1 = 0,028 \times 40 / 1000 = 0,00112 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi 2} = \rho L_2 / S_2 = 0,028 \times 20 / 120 = 0,00460 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi} = R_{\phi 1} + R_{\phi 2} = 0,00112 + 0,00460 = 0,00572 \text{ Ом}.$$

$$R_n = R_{n1} + R_{n2} \quad (4.6)$$

де R_{n1} – опір нульового провідника від трансформатора до ВРП;

R_{n2} – опір нульового провідника від ВРП до котла;

$$R_{n1} = \rho L_1 / S_{n1} = 0,028 \times 40 / 1000 = 0,00112 \text{ Ом};$$

$$R_{n2} = \rho L_2 / S_{n2} = 0,028 \times 20 / 120 = 0,0047 \text{ Ом}.$$

Нульовий захисний провідник буде виконаний зі сталі. Для визначення його активності та внутрішнього індуктивного опору необхідно визначити очікувану щільність струму і по визначеному перерізу провідника по таблиці визначити опір.

Щільність струму визначаємо по формулі: $j = I_{K3} / S$.

Для нульового провідника вибираємо провідник прямокутного перерізу $40 \times 4 \text{ мм}$: $j = I_{K3} / S = 300 / 160 = 1,875 \text{ А/мм}^2$.

Тоді, $R_n = r_{\omega} \cdot L_3$,

де $r_{\omega} = 1,54 \text{ Ом/км}$.

$$R_{n3} = r_{\omega} \times L_3 = 1,54 \times 0,007 = 0,01078 \text{ Ом};$$

$$R_n = R_{n1} + R_{n2} + R_{n3} = 0,00112 + 0,00470 + 0,01078 = 0,0166 \text{ Ом}.$$

Внутрішній індуктивний опір нульового захисного провідника:

$$X_n = X_{\omega} L,$$

$$X_{\omega} = 0,092 \text{ Ом/км},$$

$$X_n = X_{\omega} L_3 = 0,92 \times 0,007 = 0,00644 \text{ Ом}.$$

Переріз нульового провідника і його матеріал вибирають з умови, щоб повна провідність нульового дроту була не менш 50% повної провідності фазного дроту.

$$\frac{1}{R_n + X_n} \geq \frac{1}{2(R_{\phi} + X_{\phi})}$$

$$\frac{1}{0,166 + 0,0644} \geq \frac{1}{2(0,02202)}$$

$$43,4 \geq 22,7$$

Значення X_ϕ і X_n для алюмінієвих провідників малі і ними можна знехтувати. Підставивши значення опорів, впливає що умова виконується.

Знаходимо зовнішній індуктивний опір петлі «фаза-нуль» 0,6 Ом/км:

$$X_n = 0,6 (L_\phi + L_n)$$

де L_ϕ , L_n – довжина провідників (фазного і нульового)

$$X_n = 0,6 (0,067 + 0,067) = 0,08 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір петлі «фаза-нуль»:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X_u)^2} = \sqrt{(0,02202 + 0,0166)^2 + (0,03862 + 0,0864)^2} = 0,095 \text{ Ом.}$$

Тепер, коли відомі всі значення опорів знаходимо струм короткого замикання:

$$I_{k3} = U_\phi / (Z_T/3 + Z_\Pi) = 220/(0,54/3 + 0,095) = 449 \text{ А}$$

Перевіримо умову надійного спрацювання захисту $I_{\text{пл.вст}} = 100 \text{ А}$, тобто $449 \geq 300$. Дана умова виконується - розрахунки виконана вірно.

4.3 Організація безпеки на енергетичних об'єктах в умовах надзвичайних ситуацій

Забезпечення безпеки та захисту населення в Україні, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» від 8 червня 2000 року визна-

час стратегічні напрями та засоби вирішення проблеми захисту населення, реальне створення територіальних і функціональних підсистем Єдиної державної системи запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру та реагування на них.

Всебічне забезпечення дій формувань – одна із вирішальних умов успішного проведення РіНР. Організація і проведення цієї роботи покладається на начальника ЦО, начальників служб і командирів формувань. Забезпечення дій формувань при проведенні РіНР включає; розвідку, радіаційний і хімічний захист, матеріальне, технічне та медичне забезпечення.

Безперебійне забезпечення формувань проводиться з метою отримання даних обстановки, зниження дії уражаючих факторів надзвичайних ситуацій та створення сприятливих умов для проведення РіНР.

Розвідка – основний вид забезпечення дій формувань. Вона організовується та ведеться з метою своєчасного добування даних про обстановку для прийняття рішення і успішного проведення РіНР в осередках ураження, в районах стихійного лиха, аварій та катастроф. Розвідка ведеться безперервно всіма формуваннями.

Організація розвідки – важливий обов'язок начальника ЦО об'єкта і командирів формувань. Командир формування (начальник штабу) ставить завдання розвідці, виділяє необхідні для цього сили і засоби і вказує, де зосередити основні зусилля.

Забезпечення радіаційно-хімічного захисту. Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів щодо захисту формувань, а командири формувань забезпечують їх виконання. На це спрямовано ряд узгоджених заходів:

- організовують безперервну розвідку, чіткі дії за сигналами оповіщення, здійснюють інженерне улаштування районів розташування формувань враховуючи захисні властивості місцевості;

- здійснюють постійний контроль за зараженістю повітря та місцевості, безпекою формувань при діях у зонах формувань, завалів, пожеж, зараження,

затоплення, проведенням профілактичних заходів. Важливе значення в системі захисних заходів відведено санітарній обробці особового складу формувань, знезараженню техніки та майна, а також забезпеченню формувань засобами захисту.

Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів радіаційного і хімічного захисту, а командири формувань забезпечують виконання усіх заходів.

Командир формування при організації захисту вказує:

- як організувати і вести розвідку;
- сигнали оповіщення;
- обсяг та терміни інженерного улаштування районів розташування;
- порядок проведення контролю на зараженість;
- міри безпеки, обсяг робіт, сили та засоби, що необхідні для ліквідації наслідків НС;
- де і коли проводити спеціальну обробку.

Матеріальне забезпечення передбачає організацію і здійснення своєчасного та в повному обсязі постачання формувань технікою, засобами захисту, зв'язку, приладами радіаційної і хімічної розвідки та іншими засобами, необхідними для проведення РіНР і вирішення завдань ЦО.

Технічне забезпечення організовується для підтримування у справному стані і в постійній готовності до використання усіх видів автотранспортної, інженерної та іншої техніки. Завдання технічного забезпечення: організація евакуації та поточного ремонту техніки, постачання формувань запасними частинами і ремонтними матеріалами та технічне обслуговування машин.

Технічне забезпечення організовує командир формування. У своєму розпорядженні він вказує: терміни готовності техніки до виконання завдань; залучені сили та засоби для ремонту та евакуації техніки; порядок поповнення запасними частинами і ремонтними матеріалами; місця розгортання збірних пунктів пошкоджених машин; порядок управління та зв'язку.

Медичне забезпечення організовується та здійснюється для збереження

здоров'я і працездатності особового складу формувань, своєчасного надання медичної допомоги пораненим і хворим, їх евакуація, лікування та найшвидше повернення до лав діючих, а також для попередження виникнення інфекційних захворювань серед особового складу формувань. Медичне забезпечення передбачає: лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні, протиепідемічні і лікувально-евакуаційні заходи. Ці заходи проводяться медичною службою Цивільної оборони об'єкта на усіх етапах дій формувань.

Медичний пункт при проведенні РІНР розгортається безпосередньо на ділянці (об'єкті) робіт формування, на місці, яке зручне для перенесення ураженого особового складу на транспорт і забезпечує його захист в умовах надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. Визначені оптимальні конструктивні параметри систем інфрачервоного обігріву: кількість рядів інфрачервоних випромінювачів, крок, кут нахилу, висота підвісу, що забезпечують мінімальну рівномірність опромінення поверхні.

2. Запропоновані нові критерії комфортності, які враховують особливість інфрачервоного обігріву.

3. Дослідження показали, що температура зовнішніх поверхонь огорожуючих конструкцій при використанні інфрачервоних випромінювачів нижча, ніж у традиційних система опалення.

4. Використання систем інфрачервоного обігріву зменшує градієнт температури повітря по висоті приміщення в два рази, що дозволяє зменшити термічний опір конструкцій перекриття та стін.

5. Використання систем інфрачервоних випромінювачів дозволяє зменшити надлишковий перегрів повітря, що дозволяє економити від 15 до 40 % енергоресурсів.

6. В умовах України ефективний локальний обігрів з дотриманням гігієнічних норм можливий, якщо площа зони обігріву складає не менше 40 % від загальної площі приміщення. При використанні інфрачервоних випромінювачів для обігріву будинку, дачі, офісу, гаража і інших приміщень з висотою стелі до 3, 5 м, економія електроенергії складає 30-50 %. При опаленні приміщень з висотою стель від 3,5 до 10 м (цех, завод, склад і ін.) економія складає 70 %.

7. Розроблена методика розрахунку встановленої потужності інфрачервоних випромінювачів для типових житлових приміщень.

8. Початкові капітальні витрати на облаштування систем електричного інфрачервоного обігріву в два рази більші ніж для конвективних систем обігріву але експлуатаційні витрати на 8 % в місяць менші чим витрати на системи водяного чи газового обігріву.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пономарчук І. А. Опалення : навчальний посібник / І. А. Пономарчук, К. В. Колесник. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 127 с.
2. Rudnev, V., Loveless, D., & Cook, R. L. (2017). Handbook of induction heating. CRC press.
3. Rhee, K. N., Olesen, B. W., & Kim, K. W. (2017). Ten questions about radiant heating and cooling systems. Building and Environment, 112, 367-381.
4. Болотских Н. Н. Удосконалення методу експериментального дослідження розподілу температур у приміщенні з променевими обігрівачами / Н. Н. Болотских, Ю. В. Журавлев, В. Е. Корсун // Науковий вісник будівництва. Вип. 43. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007. – С. 276-279.
5. Худенко А. А. Радіаційне опалення і охолодження. Навчальний посібник. /А. А. Худенко. – Київ: КНУБА, 2004. – 152 с.
6. Konrad Bakowski. Sieci i instalacje gazowa. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Polska.
7. Гузик Д.В. Розрахунок температурних полів конструкцій підлоги в тваринницьких приміщеннях // Тези доп. 50-ї наук. конф. Полтавський Держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 1998. – 223 с.
8. Малий В.Т., Чорний А.Я. Підлога сільськогосподарських виробничих будівель. – К.: Будівельник, 1983. – 64 с.
9. ВНТП-АПК-02.05 Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). – К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 98 с
10. Li, Q. Q., Chen, C., Zhang, Y., Lin, J., & Ling, H. S. (2014). Simplified thermal calculation method for floor structure in radiant floor cooling system. Energy and Buildings, 74, 182-190.
11. ДБН В. 2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляції будівель. – [Чинний від 2007-04-01]. – К.: Держбуд України, 2006. – 71 с.

12. ДБН В.2.2-15 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. - [Чинний від 2005-01-10]. – К.: Держбуд України, 2005. – 36 с.
13. ДБН В.2.2-9 Будинки і споруди. Громадські будинки і споруди. Основні положення. – [Чинний від 2001-01-01]. – К.: Держбуд України, 1999. – 45 с.
14. Mauri, L., Carnielo, E., & Basilicata, C. (2016). Assessment of the impact of a centralized heating system equipped with programmable thermostatic valves on building energy demand. *Energy Procedia*, 101, 1042-1049.
16. Filonenko, O., Yurin, O., & Kodak, O. (2018). Thermal modernization of the panel buildings external walls. *Int J Eng Technol*, 7(3.2), 116-122.
17. Peng, L., Xiaoyong, L., Ying, C., Zhiwu, Y., & Dayou, Y. (2020, December). Thermodynamic and acoustic behaviors of prefabricated composite wall panel. In *Structures* (Vol. 28, pp. 1301-1313). Elsevier.
18. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. - Львів: Афіша, 2002. - 320 с.
19. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу // Охорона праці. - 1998. - № 6.
20. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-1.21-98.- К.: Основа, 1998. - 380 с.
21. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. - 156 с.