

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“___” _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Підвищення рівня теплової ефективності будівель з використанням низькотемпературних систем опалення»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕНМ-21 М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Рудюк Р. С.
«___» _____ 2022 р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Катерина ПЕТРОВА
«___» _____ 2022 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Рудюка Романа Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Підвищення рівня теплової ефективності будівель з використанням низькотемпературних систем опалення

Increasing the level of thermal efficiency of buildings using low-temperature heating systems

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 08.12.2022 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є дослідження особливостей практичного підвищення рівня теплової ефективності будівель шляхом впровадження низькотемпературних опалювальних систем

Для досягнення поставленої мети у роботі розглянуто наступні завдання: 1) проведення аналізу можливостей підвищення рівня теплової ефективності; 2) дослідження теплового режиму приміщення на базі низькотемпературних систем опалення; 3) аналізування результатів експериментальних досліджень квазістаціонарного режиму теплообміну під час експлуатації низькотемпературних систем опалення; 4) техніко-економічне обґрунтування енергетичної ефективності систем водяного підлогового опалення на базі теплонасосних установок

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н, доц. кафедри економіки та підприємництва Журило І.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри "ЕТС та ЕМ" Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Розділ 1.</i>	<i>12.09.22</i>	
2	<i>Розділ 2</i>	<i>04.10.22</i>	
3	<i>Розділ 3</i>	<i>18.10.22</i>	
4	<i>Розділ 4</i>	<i>01.11.22</i>	
5	<i>Економічний розділ</i>	<i>15.11.22</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>22.11.22</i>	
7	<i>Висновки. Оформлення списку використаних джерел</i>	<i>25.11.22</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>30.11.22</i>	

Дата видачі завдання
«15» серпня 2022 р.

Підпис керівника _____

Петрова К. Г.

Завдання прийнято до виконання
«15» серпня 2022 р.

Підпис здобувача _____

Рудюк Р. С.

АНОТАЦІЯ

Рудюк Р. С. Підвищення рівня теплової ефективності будівель з використанням низькотемпературних систем опалення.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет; Кропивницький, 2022 р.

Метою роботи є дослідження особливостей практичного підвищення рівня теплової ефективності будівель шляхом впровадження низькотемпературних опалювальних систем.

У роботі наведено огляд можливостей підвищення рівня теплової ефективності будівель; детально розглянуто існуючі системи опалення. Наведена методика розрахунку теплових балансів та концепція створення енергоефективних будівель. Удосконалено математична модель теплообміну через зовнішні стіни з врахуванням впливу інсоляції.

Досліджено тепловий режим приміщення із низькотемпературними системами опалення, проаналізовано результати експериментальних досліджень квазістаціонарного режиму теплообміну під час їх експлуатації.

Виконано техніко-економічне обґрунтування теплової ефективності систем водяного підлогового опалення на базі теплонасосних установок у порівнянні з класичними опалювальними приладами.

Результати досліджень можуть бути використані під час розгляду питань підвищення рівня енергетичної ефективності будівель за рахунок впровадження комбінованих низькотемпературних систем опалення.

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ,
НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС,
СИСТЕМА ВОДЯНОГО ПІДЛОГОВОГО ОПАЛЕННЯ

ABSTRACT

Rudiuk R. S. Increasing the level of thermal efficiency of buildings using low-temperature heating systems.

Qualification thesis second (master's) level of higher education on speciality 141 "Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics" professional program "Energy management". – Central Ukrainian National Technical University; Kropyvnytskyi, 2022.

The purpose of the work is to study the features of practical improvement of the level of thermal efficiency of buildings through the introduction of low-temperature heating systems.

The work provides an overview of the possibilities of increasing the level of thermal efficiency of buildings; existing heating systems are considered in detail. The method of calculating heat balances and the concept of creating energy-efficient buildings are given. The mathematical model of heat exchange through external walls, taking into account the influence of insolation, has been improved.

The thermal mode of the room with low-temperature heating systems was studied, the results of experimental studies of the quasi-stationary mode of heat exchange during their operation were analyzed.

A technical and economic substantiation of the thermal efficiency of water floor heating systems based on heat pump installations in comparison with classic heating devices has been carried out.

Research results can be used when considering issues of increasing the level of energy efficiency of buildings due to the implementation of combined low-temperature heating systems.

THERMAL EFFICIENCY, ENCLOSURE STRUCTURES, LOW TEMPERATURE HEATING SYSTEM, HEAT PUMP, WATER FLOOR HEATING SYSTEM

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ	11
1.1. Теплова ефективність та тепловий комфорт.....	11
1.2. Методи аналізування теплообмінних процесів приміщень	20
1.3. Огляд існуючих систем опалення.....	23
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ БАЛАНСІВ ТА КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ.....	32
2.1. Методика побудови теплових балансів.....	32
2.2. Концепція створення енергоефективних будівель	34
Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОЇ ТЕПЛОТИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	39
3.2. Методика розрахунку параметрів теплового режиму	43
3.3. Визначення теплотехнічних параметрів зовнішніх стін із тепловим бар'єром.....	44
3.5. Техніко-економічний аналіз показників експлуатації теплового бар'єру	47
Висновки до розділу 3.....	50
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ...	51
4.1. Опис установки з використанням низькотемпературних систем опалення.....	51
4.2. Методика експериментальних досліджень теплового стану	57
4.3. Дослідження теплового режиму приміщення із низькотемпературними системами опалення	58
4.4. Експериментальні дослідження квазістаціонарного режиму	

теплообміну під час експлуатації низькотемпературних систем опалення	62
Висновки до розділу 4.....	67
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69
ДОДАТКИ	73
ДОДАТОК А. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕНЬ РІЗНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА	74
ДОДАТОК Б. ОХОРОНА ПРАЦІ	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГВП	гаряче водопостачання
ГТО	ґрунтовий теплообмінник
ЕЕ	електрична енергія
ІЧ	інфрачервоний спектр
ОК	огороджувальна конструкція
ТБ	тепловий бар'єр
ТЕЦ	теплова електрична станція
ТН	тепловий насос
ТНУ	теплонасосна установка
САК	система автоматичного керування
СОР	коефіцієнт перетворення теплового насосу

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема підвищення рівня ефективності будівель та забезпечення комфортних умов перебування в них є однією з найважливіших останнім часом, адже більшість часу впродовж доби (до 91 %) люди перебувають у приміщеннях будівель, зокрема: вдома чи на роботі. На підтримання комфортних умов перебування у цих будівлях людство витрачає до 40% всієї корисно виробленої енергії.

На разі, нашій країні притаманна обмеженість в енергетичних ресурсах, обумовлена порівняно незначною кількістю запасів нафти, газу та різким зменшенням об'ємів видобутку вугілля. У той же час, спостерігається активне підвищення вартості енергоносіїв, а в умовах воєнного стану, ще й його дефіциту.

Основними шляхами підвищення рівня теплової ефективності будівель є застосування енергоефективних прийомів під час архітектурного планування та будівництва, підвищення теплозахисних властивостей вже існуючих будівель, або ж удосконалення інженерних систем.

Робота присвячена задачі дослідження особливостей практичного підвищення рівня теплової ефективності будівель шляхом впровадження низькотемпературних опалювальних систем на базі теплонасосних установок. Їх застосування дозволяє забезпечити комфортні умови перебування в приміщеннях, а значна площа теплообміну між теплоносієм та повітрям, що особливо характерна системам водяного підлогового опалення дозволяє зменшувати температурний потенціал теплоносія.

Доречно наголосити, що хоча й наявна значна кількість як українських [11, 16, 19, 22-25, 27], так і зарубіжних публікацій [1-10, 12-15, 17-18, 20-21, 28-34] з даної тематики, однак невирішеними залишаються питання організації системи теплозабезпечення приміщень із використанням низькотемпературних опалювальних систем на базі теплонасосних установок. Впровадження таких систем на практиці дозволить не лише зменшити залежність від класичних енергоносіїв та негативний екологічний вплив, а й забезпечити дотримання нормальних санітарно-гігієнічних умов перебування людей.

Мета роботи – дослідження особливостей практичного підвищення рівня теплової ефективності будівель шляхом впровадження низькотемпературних опалювальних систем.

Виконання мети забезпечене вирішенням наступних завдань:

- аналізування та пошук можливостей підвищення рівня теплової ефективності;
- огляд методики розрахунку теплових балансів та концепція створення енергоефективних будівель;
- удосконалена математична модель теплообміну через зовнішні стіни з врахуванням впливу інсоляції;
- дослідження теплового режиму приміщення на базі низькотемпературних системах опалення, аналізування результатів експериментальних досліджень квазістаціонарного режиму теплообміну під час експлуатації низькотемпературних систем опалення;
- техніко-економічне обґрунтування теплової ефективності систем водяного підлогового опалення на базі теплонасосних установок у порівнянні з класичними опалювальними приладами.

Об'єктом дослідження є тепловий режим приміщень будівель.

Предметом дослідження є процеси теплообміну в низькотемпературних системах теплозабезпечення.

Результати досліджень можуть бути використані під час розгляду питань підвищення рівня енергетичної ефективності будівель за рахунок впровадження комбінованих низькотемпературних систем опалення.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

1.1. Теплова ефективність та тепловий комфорт

Перманентне підвищення вартості енергоносіїв обумовлює концепцію проблеми покращення теплозахисних можливостей будівель. Конструктивно будівля є складною архітектурно-конструкторською системою із значною кількістю складових елементів та інженерного обладнання, в котрій протікають варіативні процеси поглинання та перенесення тепла. Зміна зовнішніх умов навколишнього середовища, обумовлена кліматичними умовами, сезонністю, черговістю "день-ніч", різницею температур між зовнішнім та внутрішнім повітрям будівель обумовлює втрату теплоти будівлею або її нагрівання через огорожуючі конструкції. Перетікання повітря у суміжних приміщеннях, зростання процесів інфільтрації, - спричинені дією потоків вітру, гравітаційної сили, а також роботою систем вентилявання приміщень. Масообмін через огорожуючі конструкції, який обумовлює зволоження конструктивних матеріалів та зменшення його теплозахисних характеристик, а в подальшому й залишкового ресурсу відбувається, здебільшого, через атмосферні опади, емісію вологи в приміщеннях, різницю між вологістю зовнішнього та внутрішнього середовищ [1, 2].

Постійні кліматичні зміни у глобальному масштабі [3] впливають на річну циклічність погодних умов районів будівництва, що унеможлиблює визначення точної інформації для певного місця будівництва, спричиняє неправильну побудову розрахункових моделей, і як наслідок некоректно обраних рішень забудовниками.

Задля створення у приміщеннях будівель певних показників мікроклімату приміщення відмежовують від зовнішнього середовища огорожуючими конструкціями. Відповідно огорожуючі конструкції захищають будівлю від атмосферного впливу, а внутрішні інженерні системи дозволяють підтримувати в

приміщеннях мікроклімат впродовж всього року.

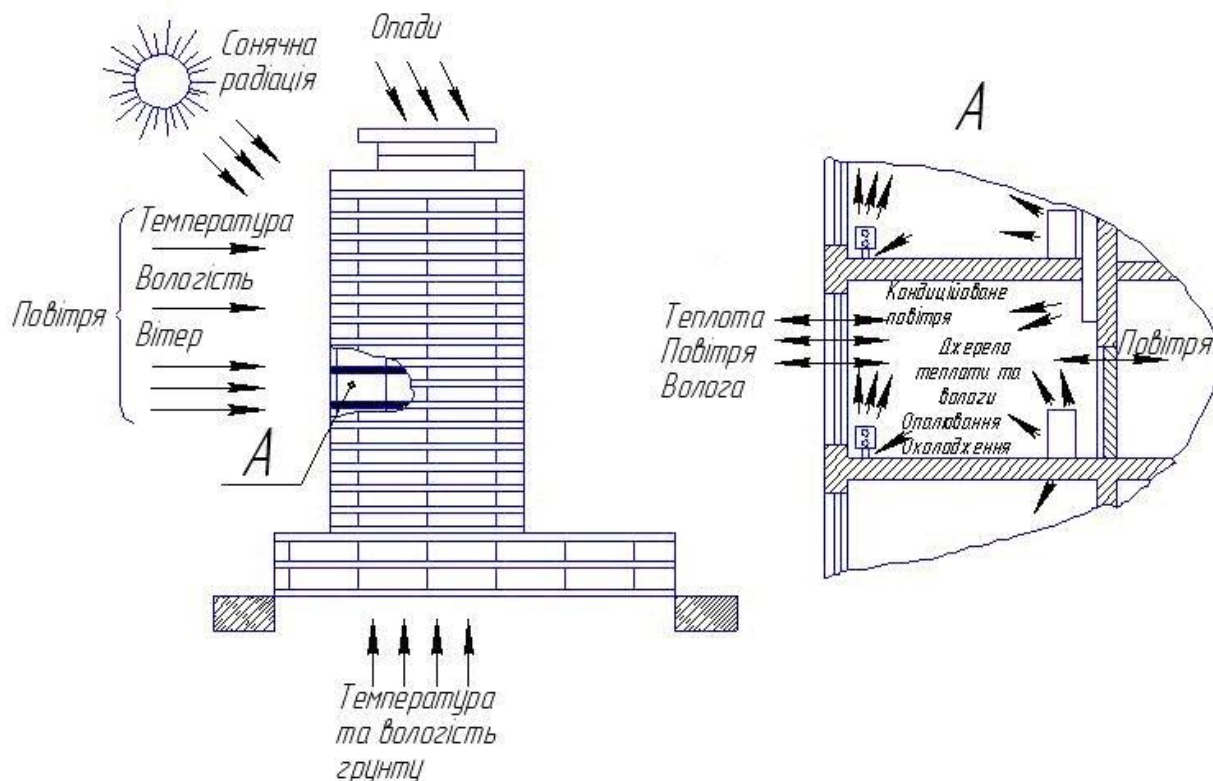


Рис. 1.1. Вплив зовнішніх чинників на внутрішні режими приміщень

Основний вплив зовнішніх умов на тепловий баланс будівлі - це:

- 1) втрати тепла через огорожуючі конструкції;
- 2) витрати теплоти на нагрівання повітря (припливного вентиляційного, інфільтраційного), яке потрапляє в приміщення через нещільні ОК;
- 3) тепловтрати, обумовлені вітровими потоками;
- 4) збільшення кількості теплоти від сонячної радіації та перебування людей.

Однією з актуальних задач для коректного складання теплового балансу є якомога точніше врахування усіх кліматичних нюансів.

Наприклад, у [4-5] основна увага присвячена доцільності врахування впливу температурно-погодних умов під час проєктування, реконструкції чи експлуатації теплових систем. У [6-7] наведено підхід до визначення теплового навантаження будівлі з врахуванням варіативності зовнішніх збурень, зокрема: зовнішньої температури повітря, швидкості його потоку, кута натікання.

Усі процеси, що впливають на тепловий процес будівлі повинні

досліджуватись комплексно, із врахуванням взаємозв'язків, оскільки сумісний їх вплив є значно більшим. Так, сумісний вплив зволоження огорожувальної конструкції та фільтрація повітря призводять до значного зростання теплових втрат приміщень в холодну пору року.

Забезпечення комфортного теплового режиму приміщень, відповідно до оптимальних вимог санітарно-гігієнічних норм, відбувається лише за умови динамічної компенсації тепловтрат будівлі кількістю теплоти, що виділяється тепловими системами. Оскільки тепловтрати суттєво корелюють з погодними умовами тепловим системам необхідно забезпечувати приміщення тою кількістю теплоти, яка витрачається ним у даний часовий момент.

Питання точного та швидкого розрахунку теплового режиму будівлі під час визначення тепловтрат зберігають актуальний характер, зокрема з метою виконання інженерних задач:

- енергетичний аудит будівель задля виявлення оптимального їх теплового режиму;
- виявлення найоптимальнішого варіанту термомодернізації як частково, так і будівлі в цілому;
- проектування нових будівель із покращеними показниками тепловтрат;
- проектування нових кліматичних систем.

На сьогодні, існує величезний набір моделей, починаючи із одновимірних моделей огорожувальних конструкцій [8], із заданою температурою повітря для розрахунку тепловтрат [9] і аж до складних CFD моделей теплового аналізу із використанням рівнянь Нав'є-Стокса [6]. Проте, рівень достовірності таких моделей може бути незадовільним, оскільки основою моделей такого роду є група варіативних факторів, які інколи навіть складно визначити. Наприклад, важко визначити реальні теплофізичні характеристики матеріалів, що, вочевидь значно варіюються в часі в залежності від значної кількості факторів впливу та є важко прогнозованими. У той же час, важливим є індивідуальний підхід до кожного окремого об'єкта, оскільки вони значно різняться своїм призначенням,

геометрично-конструкційними, інженерними характеристиками тощо. Вочевидь, головним завданням є створення таких моделей, що дозволять адекватно моделювати фактичний тепловий режим.

Поняття "енергоефективної будівлі" вперше було введено ще в 70-ті роки 20 століття. Зокрема, першою будівлею з ефективним використанням ЕЕ був об'єкт, споруджений у США (штат Нью-Хемпшир, м. Манчестер) в 1974 році. Сьогодні, поширенішим є поняття пасивної, тобто енергоефективної будівлі. Авторами [10] дане визначення енергоефективної будівлі, як такої, що поєднує систему архітектурно-інженерних рішень, що найкраще відповідають мінімізації енергетичних витрат за умови збереження необхідних мікрокліматичних параметрів. Під "енергоекономічною будівлею" розуміють таку, що містить певні рішення чи їх систему, спрямовані на скорочення витрат енергії для забезпечення мікроклімату приміщень будівель [11]. Тобто, енергоефективна будівля – результат впровадження ряду наукових підходів та сукупності технічних рішень, що найкраще відповідають поставленим завданням, а "енергоекономічна" - результат взаємодії енергоощадних рішень на об'єкті. Основним принципом, за якого проєктують ці будівлі - мінімізація енергетичних потреб на опалення та охолодження шляхом впровадження теплоізоляційних оболонок із покращеними характеристиками [12-17].

Тепловий режим будівель – це сукупність показників внутрішньої температури повітря приміщень та предметів, що розміщені в ньому, а також поверхонь ОК [18]. Забезпечення умов внутрішнього мікроклімату за низьких температур здійснюється опалювальною системою, а за високих – системою кондиціонування.

Комфортним відчуттям для людини є такі, за яких відбувається нормальне відведення такої кількості теплоти, яка вироблена організмом, тобто зберігається баланс генерації та втрат тепла. Внутрішня температура здорового тіла становить $36,6...36,8^{\circ}\text{C}$ [14], її рівень тримається завдяки наявності терморегулятивних функцій організму людини (наприклад, зміною потоку крові, обміну речовин тощо).

Температура шкірного покриву становить близько 33 °С [12], її значення багато в чому залежить від параметрів навколишнього середовища. Динаміка зміни температури шкірного покриву ділянок тіла людини за спокійного стану наведена на рис.1.2.

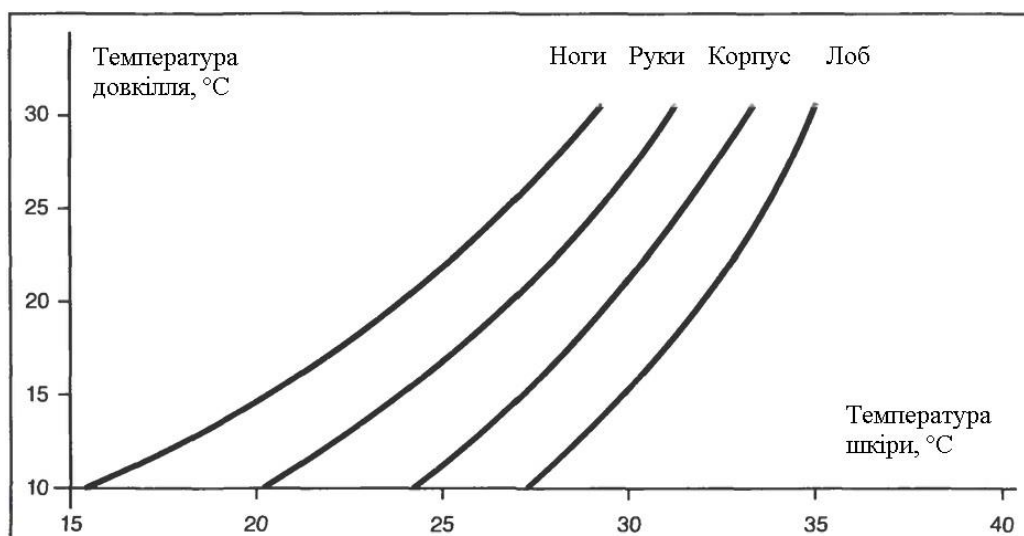


Рис. 1.2. Динаміка зміни температури шкірного покриву

Тобто, хоча вважається середнім характеристичним показником температура лобної ділянки (≈ 32 °С за зовнішньої температури 20-21 °С), однак між різними температурами шкірних покривів різних частин тіла є відчутна різниця. Наявність терморегуляторних функцій організму дозволяє людському організму пристосовуватись до коливань зовнішньої температури, однак усьому є межа. У разі значних та швидких відхилень параметрів навколишнього середовища можуть порушитись функції організму, зокрема: обмін речовин, терморегулювання, робота нервової та серцево-судинної систем, що можуть призвести до серйозних наслідків для людського організму. Коли людина перебуває у приміщенні з високою температурою, її температура теж підвищується, суттєво падає працездатність, може з'явитись дратівливість тощо. Графік зміни продуктивності праці у разі зміни температури навколишнього середовища наведено на рис. 1.3.

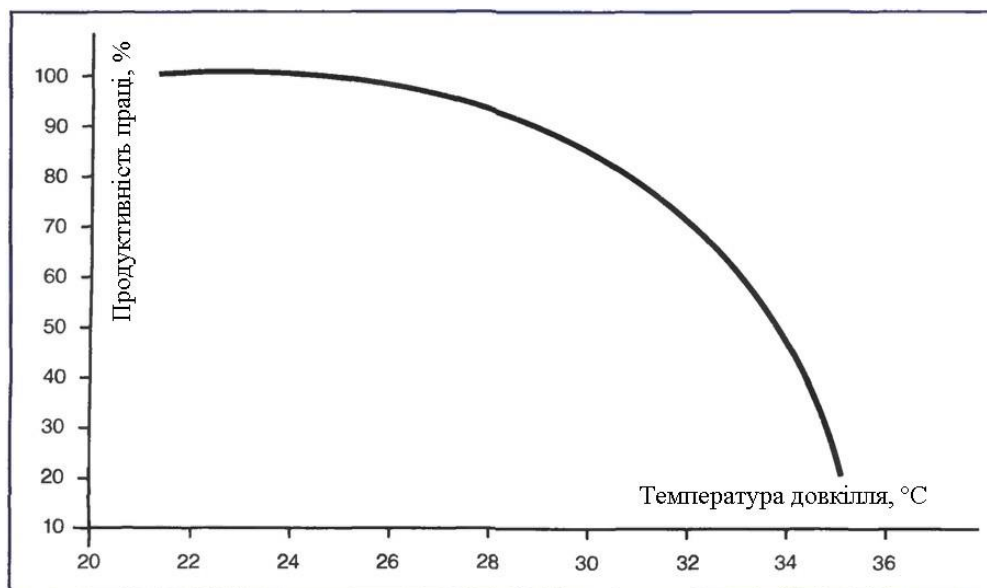


Рис.1.3. Графік зміни продуктивності праці у разі зміни температури

Тобто, з рис.1.3 видно, що за температури понад 26 °C відбувається помітне падіння показників продуктивності праці.

У залежності від активності людини, кількість теплоти, що виробляється її організмом змінюється, наприклад, у спокійному стані для дорослої людини теплова потужність тіла становить орієнтовно 120...180 Вт, понад 80 % якої спрямовується у навколишнє середовище.

Вираз теплового балансу людського тіла та навколишнього середовища має вид:

$$M = W + Q_d + Q_{ш}, \quad (1.1)$$

де W - обсяг механічної роботи;

Q_d - кількість теплоти під час дихання;

$Q_{ш}$ - кількість теплоти, відведеної через шкіру.

На рис.1.4 наведена діаграма визначення комфортного стану людини від типу діяльності та її одягу, вона дозволяє визначати комфортні умови більшості людей із менш, ніж 10 % невдоволених.

Отже, оптимальну комфортну температуру визначають, виходячи із діяльності та одягу, наприклад: якщо взимку одягнена в 1 Слю людина виконує

роботу у 1,3 Met оптимальна для неї температура становитиме 21 ± 2 °C.

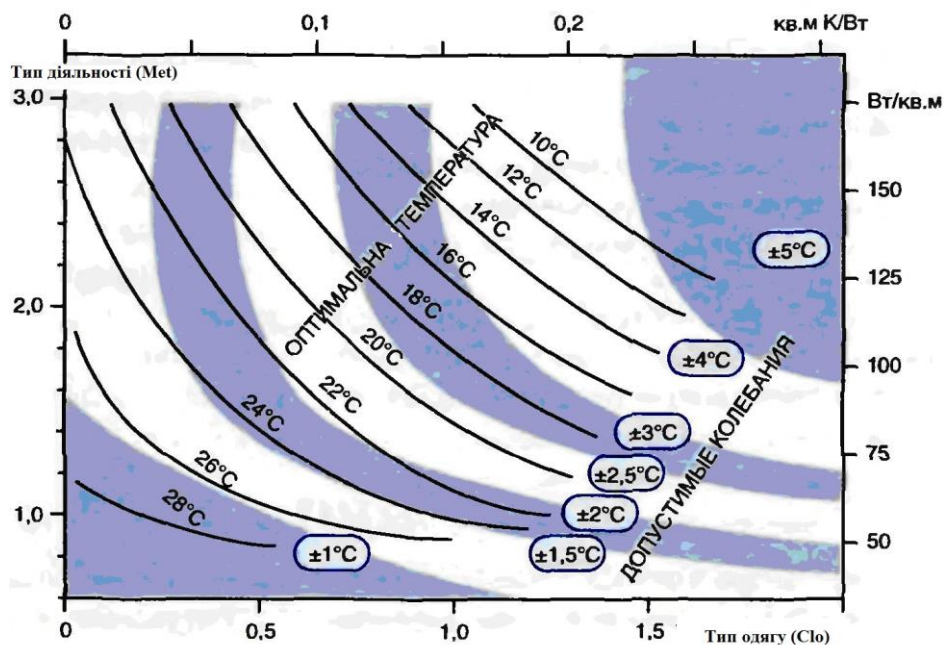


Рис.1.4. Діаграма визначення комфортного стану

Дослідження [22-23] аргументують, що рівень працездатність людини вищий у випадку вдихання повітря порівняно низької температури за умов підтримання комфортних теплових відчуттів.

Для забезпечення фізіологічного комфорту температури внутрішніх поверхонь та повітря повинні поєднуватись (рис.1.5) [18]:

$$t_H = 1,57 \cdot t_{\Pi} - 0,57 \cdot t_B \pm 1,5, \quad (1.2)$$

t_H - температура повітря приміщення за оптимальних умов перебування людини в ньому;

t_{Π} - значення температури поверхні теплообміну, °C;

t_B - значення температури повітря в приміщенні, °C.

Вид системи опалення формує відсоткові складові тепловтрат в довкілля організмом людини, оскільки відсоток конвективної та променистої складових, у різних приладів - різні.

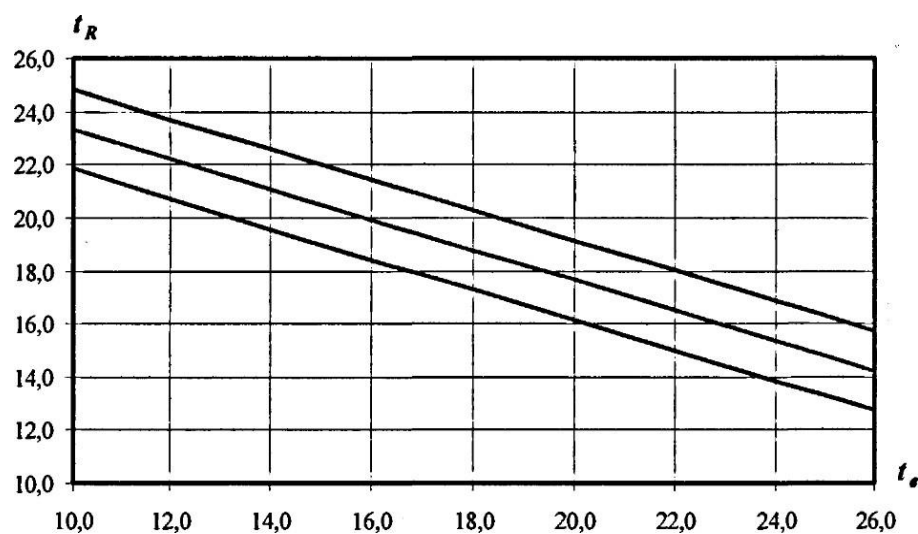


Рис. 1.5. Номограма визначення теплового комфорту

Підтверджено [24], комфортні умови за будь-якої системи опалення зберігаються за певних співвідношення температур огорожуючих конструкцій та внутрішнього повітря.

Номограма визначення теплового комфорту (рис.1.5) ілюструє комфортне співвідношення температур внутрішніх огорожуючих конструкцій та повітря. Та частина комфортної зони, що розміщена вище по діагоналі, відповідає комфортним умовам у разі конвективної системи опалення, нижче – за променистого. Відповідно, застосування променистих систем опалення дозволяє забезпечити комфортні умови за нижчих температур внутрішнього повітря порівняно із конвективним за однакових значень температур на внутрішній поверхні ОК. Розрахунок значень цих температур надає можливість визначення тепловтрат приміщення, та, відповідного визначення необхідної потужності приладів опалення. Наголосимо, що тип та конструктивні особливості опалювальних приладів теж значно впливають на теплові втрати приміщення.

Основною перевагою підлогових систем опалення є оптимальне для сприйняття людини співвідношення, за якого температура внизу приміщення (на рівні ніг) становить 26-28 °C, а зверху (рівень ший та голови) – 18-20 °C. Таке співвідношення дозволяє забезпечити лише опалення за системою "теплої підлоги".

Вперше теоретичне підґрунття для розвитку систем підлогового палення

були закладене французьким вченим А. Міссенаром ще на початку 20 століття. Саме він ввів поняття "результуючої температури ступні", що дозволяє визначити вплив температури повітря на тепловідчуття людини. Відповідно до його досліджень виявилось, що тепловідчуття людини лінійно корелює із функцією температури поверхні підлоги та повітря, тобто людина не матиме неприємних відчуттів в ступнях ніг, витримуючи вищу температуру підлогової поверхні за нижчих значень температури в приміщенні. А це означає, що визначення граничних значень температур підлогової поверхні доцільне лише у поєднанні із температурою повітря. Під час дослідів визначено, що для 90 % людей комфортними є відчуття за температури підлоги 28°C та температури повітря – 17°C .

Ще одним атрибутом теплового режиму приміщення із системою опалення підлоги є наявність ділянки від'ємного градієнта розподілу по висоті приміщення значень температур. У той же час, у разі використання конвекторів або радіаторів наявний додатній градієнт температури по висоті, що призводить до марного перегрівання верхньої частини приміщення та, відповідно, зростання тепловтрат (для приміщень з висотою більше 3,5 м на 2 % на кожен метр висоти) [24].

Особливо важливим є питання енергоефективності та коректного проєктування систем опалення для приміщень із висотами понад 3 м (наприклад, ангари, гаражі, бокси, приміщення складу тощо). У таких будівлях для нормальної експлуатації та технологічного процесу не має нагальної необхідності забезпечувати таку ж температуру, як для приміщень із постійним перебуванням людей. Проте, застосування конвективних систем опалення обумовлює нагрівання всього об'єму повітря для забезпечення температури комфорту, що призводить до значних перевитрат - нагріте повітря підіймається та перегріває верхню частину приміщення. Однак, на разі в нормах проєктування не існує окремої методики, котра б дозволила це врахувати для приміщень із висотою понад 3 м.

Відповідно до [18, 21-23] виокремимо умови забезпечення теплової комфортності перебування у приміщенні:

- 1) оптимізація частки радіаційної складової теплового потоку;

2) обмеження інтенсивності теплообміну у разі перебування людини поруч із нагрітими чи охолодженими поверхнями.

3) наявність можливості індивідуального регулювання параметрів мікроклімату для забезпечення суб'єктивного відчуття комфорту.

1.2. Методи аналізування теплообмінних процесів приміщень

Пошук коректного підходу до виконання досліджень із визначення теплових режимів будівель є однією з найактуальніших задач. Складність побудови фізичної моделі під час натурних досліджень обумовлює обмеженість застосування експериментальних методик. Подібні дослідження виконують переважно для визначення фактичних теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій, які й є граничними умовами в задачах математичного моделювання.

Подібні дослідження виконують для підтвердження змодельованих процесів теплообміну або задля виявлення фактичних теплотехнічних параметрів огорожуючих конструкцій, які й закладають у граничні умови під час побудови математичних моделей.

Відповідно до [25] вимірювання температури приміщення вважатиметься коректним у разі встановлення дев'яти первинних перетворювачів температури: у крайні вертикалі розміщують на відстані 1 м від конструкції, а для середньої – в центрі приміщення. На кожній із вертикалей розміщують в трьох місцях на відстані 20 та 150 см від рівня підлоги та 20 см від поверхні стелі (рис.1.6).

Згідно з [22, 25] для коректного розрахунку середньосумарної за об'ємом температури повітря вимірювальну техніку доцільно встановлювати відповідно до схеми на рис. 1.5:

- на висоті від поверхні підлоги $0,2 \pm 0,05$ м та $1,5 \pm 0,1$ м, а також на відстані від стелі $0,2 \pm 0,05$ м;

- у самому центрі, а також на відстані від внутрішньої поверхні зовнішніх стін та опалювальних приладів - 0,5 м.

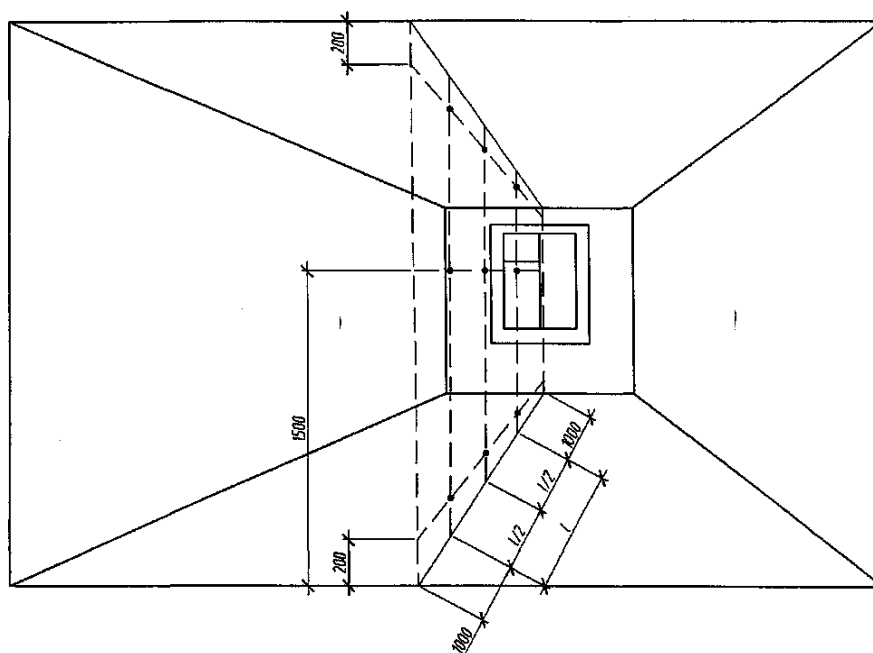


Рис. 1.6. Місця розміщення первинних перетворювачів температури

У випадку попереднього вимірювання температури можна виконати вимірювання лише в одній контрольній точці [26].

В роботах [27-28] аналіз температурного поля поверхонь огорожуючих конструкцій виконують із застосуванням приладів інфрачервоних технологій. Однак, значна похибка (понад 2,5%) спричиняє обмеженість застосування такого підходу та обумовлює його придатність лише у разі якісного оцінення температурного поля, кількісне ж оцінення раціональніше виконувати із застосуванням методів контактної теплотемії.

У [16] подано теоретичні основи виготовлення приладу для швидких вимірювань теплопровідності матеріалів в умовах лабораторії, робота якого ґрунтується на методі теплового впливу на поверхню.

В загальному аналізування теплового режиму приміщень доцільно виконувати із застосуванням методів теплофізичного моделювання.

Найпростіший випадок теплопередачі через огорожуючі конструкції - це модель стаціонарного температурного поля, яка досить проста у розрахунках. У реальних умовах експлуатації майже неможливо виокремити ділянки із одномірністю температурного поля. Наприклад, у стінових панелях наявність

віконних відкосів призводять до формування дво- чи тривимірних полів (рис. 1.7). Їх розрахунок набагато складніший і вимагає використання наближених чисельних методів.

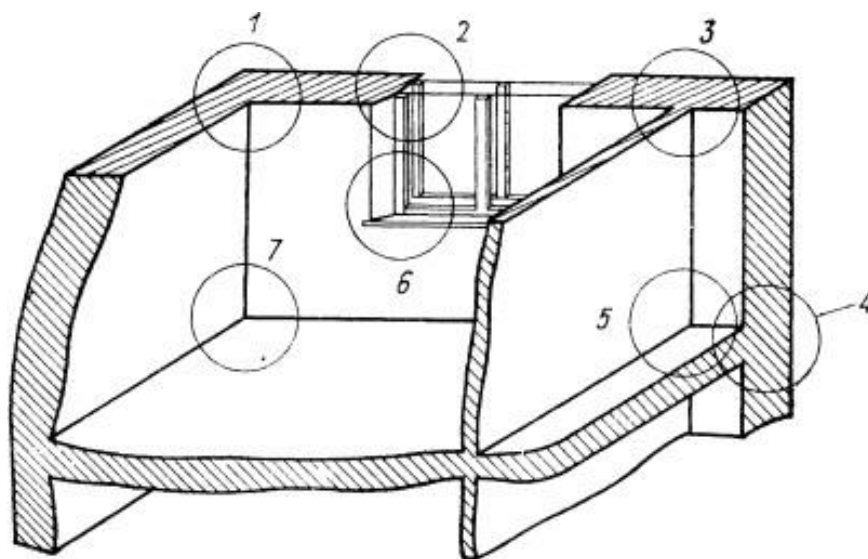


Рис. 1.7. Формування дво- та тривимірних полів зовнішніх ОК

Наприклад, у [29] вирішена задача аеродинамічної та теплової взаємодії будівлі корпусу ТЕЦ із вітровим потоком із використанням методів чисельного моделювання, у [30] – виконано розрахунок впливу вітрового навантаження на будівлю із значною висотою.

У [31] запропоновано метод визначення тепловтрат, що ґрунтується на інформації із безконтактних вимірювань температури. Побудована та перевірена тривимірна CFD-модель теплового стану для дослідження енергоефективності різних систем опалення. У [32] із застосуванням розрахунково-експериментального підходу подано удосконалену методику аналізування теплових режимів та тепловтрат будівель із конвекторною системою опалення. Із застосуванням методу кінцевих інтегральних перетворювань [33] обчислено температури кожного шару зовнішніх ОК та визначено їх тепловтрати із наявністю теплоаккумуляційної системи підлогового опалення.

1.3. Огляд існуючих систем опалення

Забезпечення теплового комфорту та санітарно-гігієнічних умов переважно здійснюється опалювальною системою будівлі. Коректне функціонування такої системи сприяє збереженню стану огорожуючих конструкцій будівлі та безпечної його експлуатації.

У холодну пору року опалювальні системи повинні функціонувати безперебійно та за мінімальних теплових витрат підтримувати нормальну температуру повітря. Відповідно до нормативів температура житлових приміщень має бути не менше 18 °С, у ванних, душових не менше 25 °С, у вестибюлях - не менше 16 °С [34].

До основних процесів опалювальних систем належать:

- нагрівання теплоносія;
- переміщення теплоносія;
- використання теплоти;
- повернення теплоносія для процесу повторного нагрівання.

За типом теплоносія розрізняють водяне (рідинне), парове, повітряне та електричне опалення [35].

Теплоносієм рідинного палення є вода або ж інші речовини, що не замерзають. Джерелом тепла є котельний пристрій, що може працювати на будь-якому виді палива: дрова, щепи, вугілля, газ і навіть централізоване електропостачання.

Принцип роботи засновано на тому, що рідина циркулює у замкненому контурі, рухаючись по трубах та приладах опалення та повертається назад вже охолодженою, віддавши своє тепло приміщенню[35]. Циркулювання рідини у системі може відбуватися природним чином за рахунок різниці тисків, або ж примусово.

Під паровою системою розуміють систему опалення із теплоносієм у вигляді водяної пари. Джерелом тепла є паровий котел, турбіна редуційно-охолоджувальна установка тощо.

Повітряні системи опалення, що працюють за рахунок нагрівання повітря вогнем у відкритому вигляді, зараз майже не зустрічаються, однак їх прототипом є піч або грубка з димарем.

Електричне опалення може реалізовуватись за допомогою конвектора, інфрачервоної панелі або електричного котла.

Системи опалення поділяють [36]:

- за типом джерела нагрівання (газові, на дровах, щепі, піролізні, вугільні, мазутні, пелетні, геотермальні, сонячні, електричні тощо);
- за механізмом теплообміну (променисті, конвективно-променисті, конвективні);
- за видом циркуляції теплоносія (природною чи примусовою);
- за радіусом дії (центральні чи локальні);
- за режимом роботи (постійні чи періодичні);
- за гідравлічним режимом (постійним чи змінним);
- за напрямком руху теплоносія в магістральних трубопроводах (тупикові чи попутні);
- за конструктивними особливостями системи (верхнього, нижнього, комбінованого розведення);
- за способом приєднання приладів (двотрубні чи однотрубні).

Схеми найпоширеніших систем опалення наведені на рис.1.8-1.17.

За переважаючим механізмом теплообміну та особливостями конструкції є: радіаційні, конвективні та комбіновані опалювальні прилади [19-20].

До низькотемпературних систем опалення належать такі системи, температура поверхні теплообміну яких не перевищує 30°C. Головний принцип передавання теплоти низькотемпературних систем (НТС) - конвекція повітря (близько 60%) вздовж поверхні нагріву з поступовим перемішуванням його з об'ємом повітря в приміщенні. Радіаційна складова НТС доволі незначна і становить орієнтовно не більше 40 %. До таких систем належать: плівкові та спліт-системи, повітряно-рідинних теплообмінників із примусовою циркуляцією тощо.



Рис. 1.8. Система з природною циркуляцією теплоносія

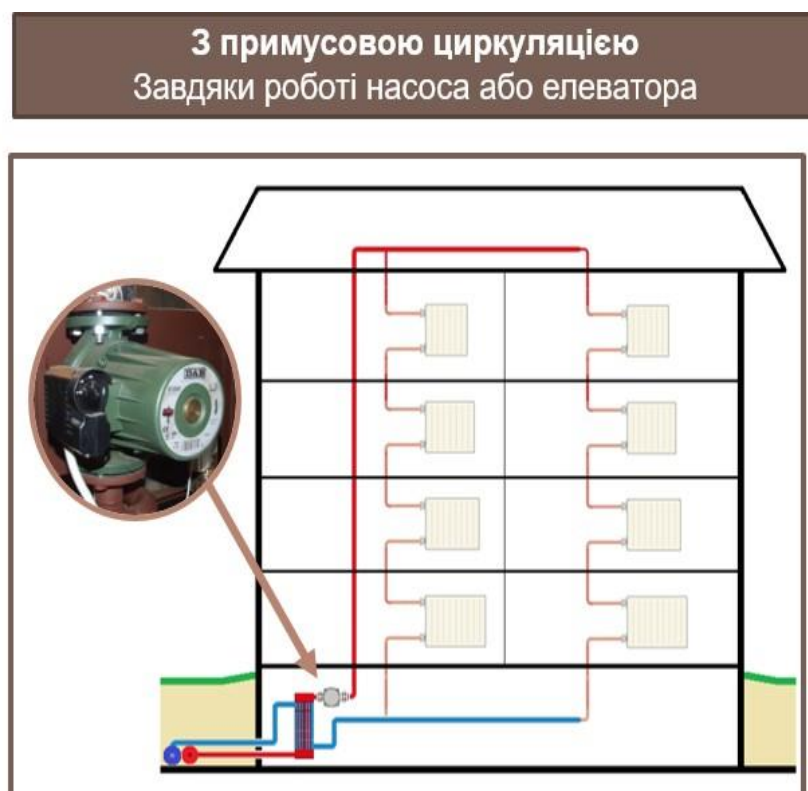


Рис.1.9. Система із примусовою циркуляцією теплоносія

Однотрубна система
Нагрівальні прилади підключено послідовно

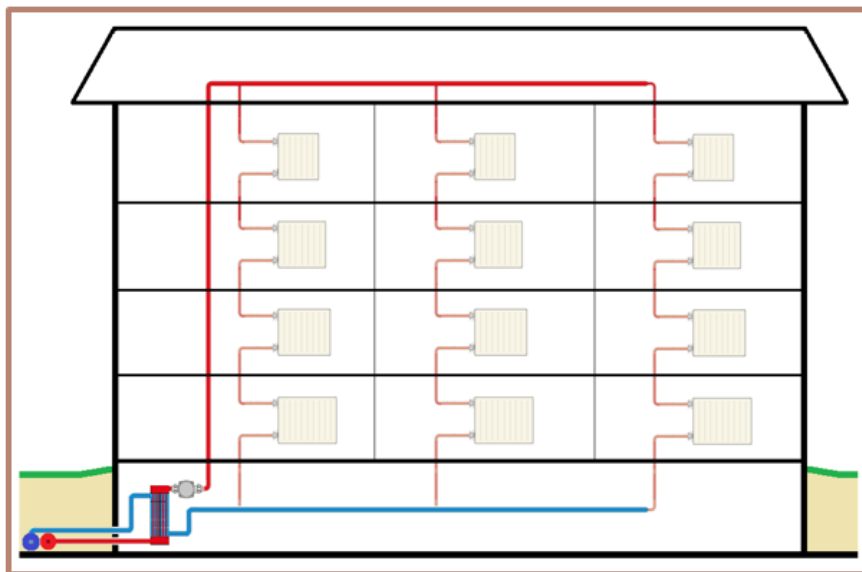


Рис. 1.10. Однотрубна з послідовним під'єднанням радіаторів

Двотрубна система
Нагрівальні прилади підключено паралельно

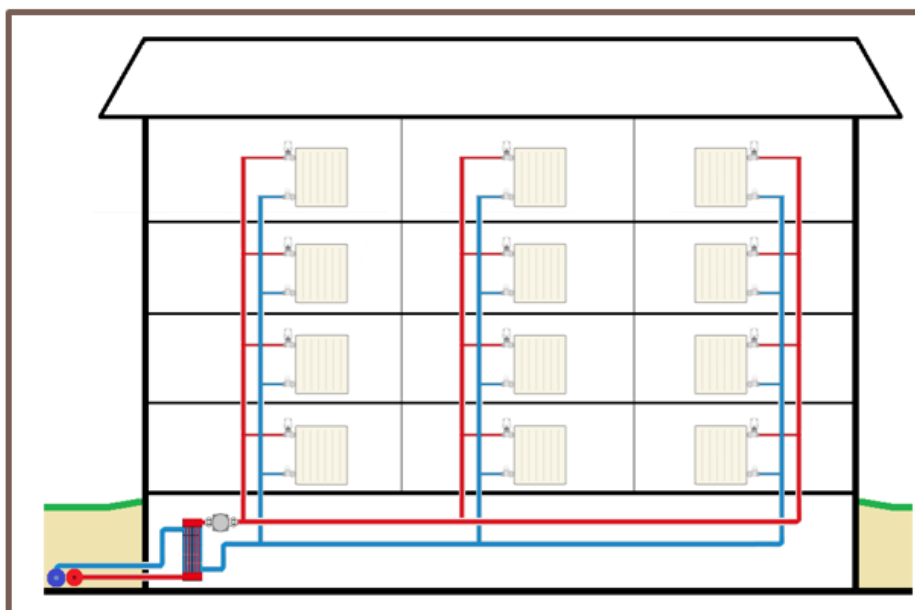


Рис. 1.11. Двотрубна з паралельним під'єднанням радіаторів

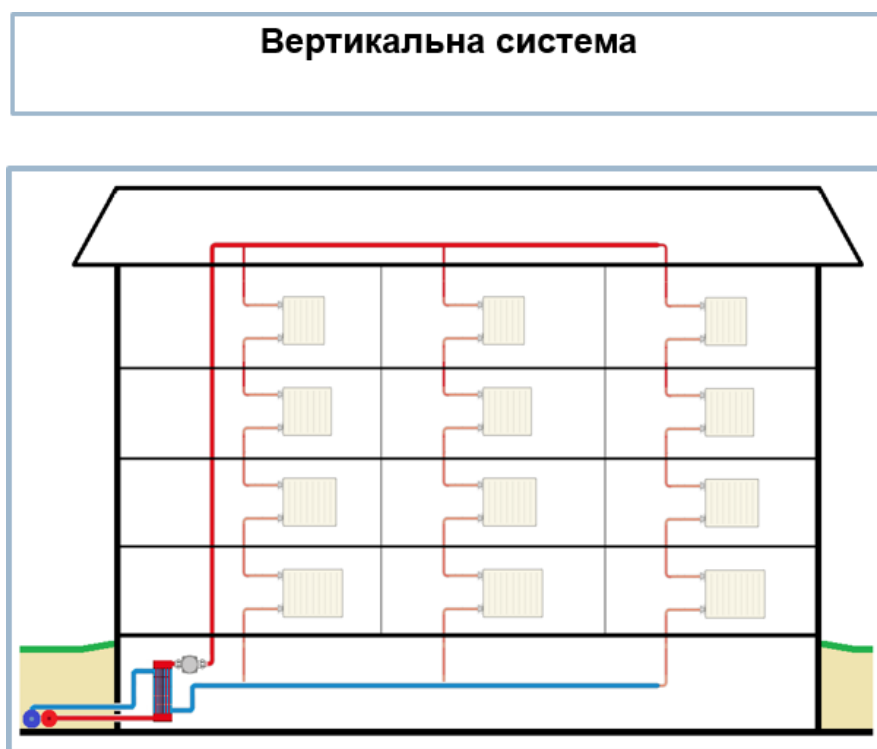


Рис. 1.12. Однотрубна з вертикальним подаванням теплоносія

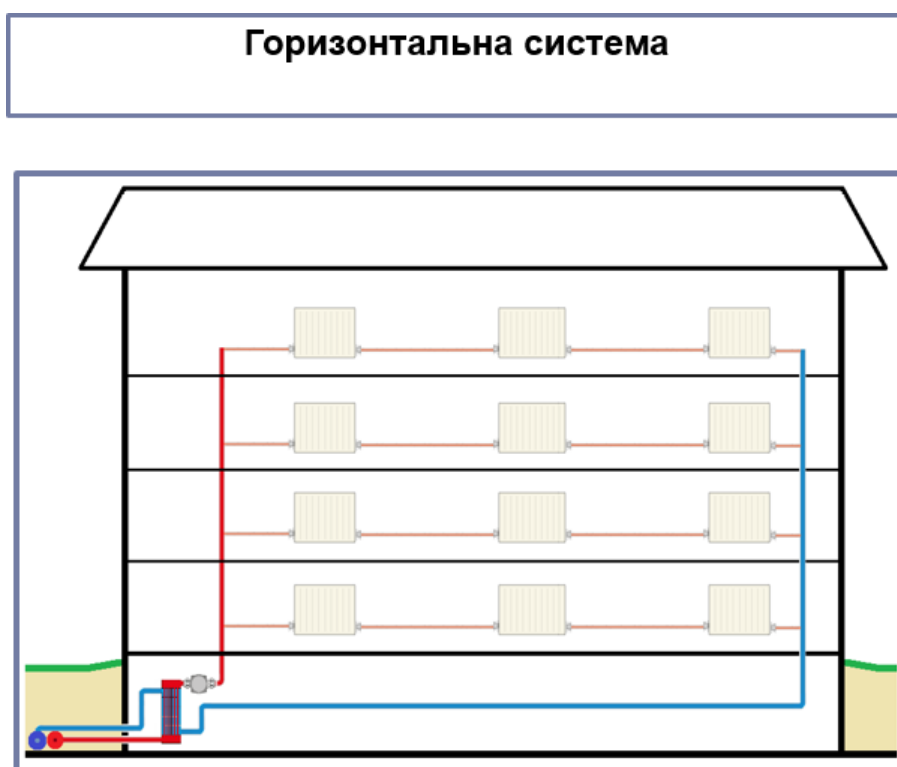


Рис.1.13. Однотрубна з горизонтальним подаванням теплоносія

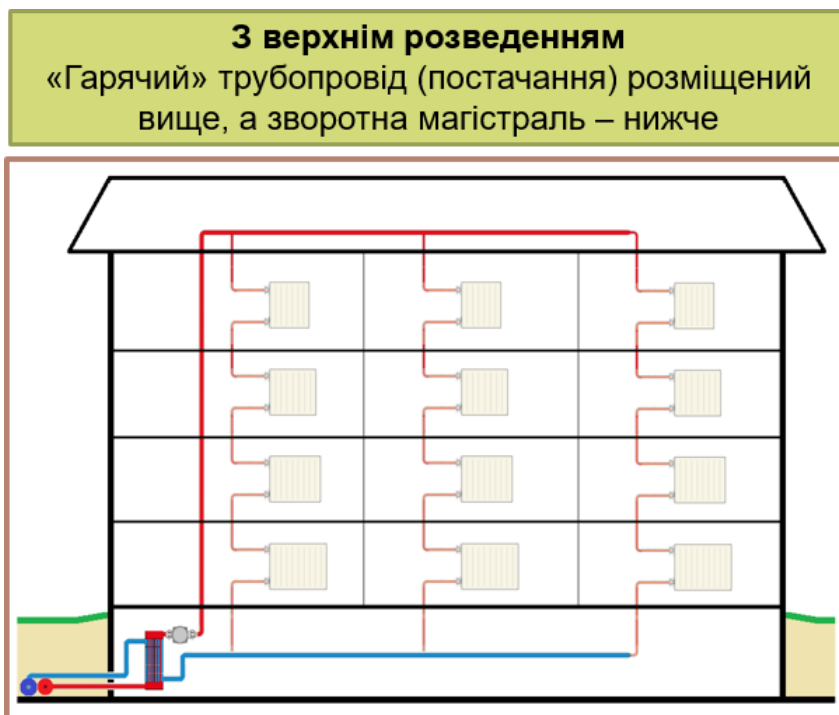


Рис. 1.14. Однотрубна з верхнім розведенням

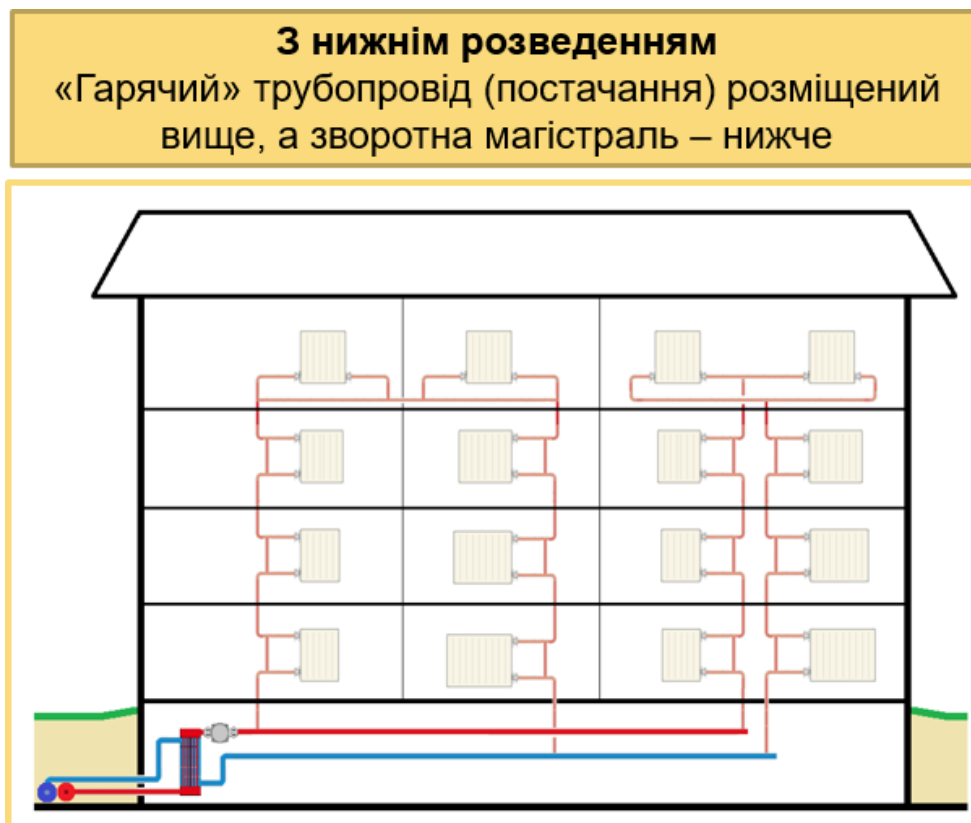


Рис. 1.14. Однотрубна з нижнім розведенням

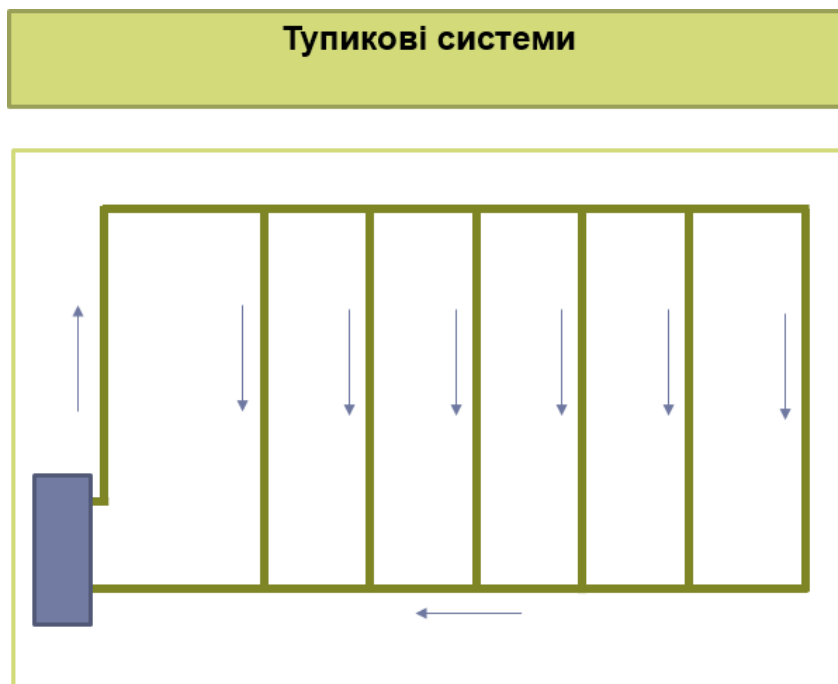


Рис. 1.16. Тупикова система

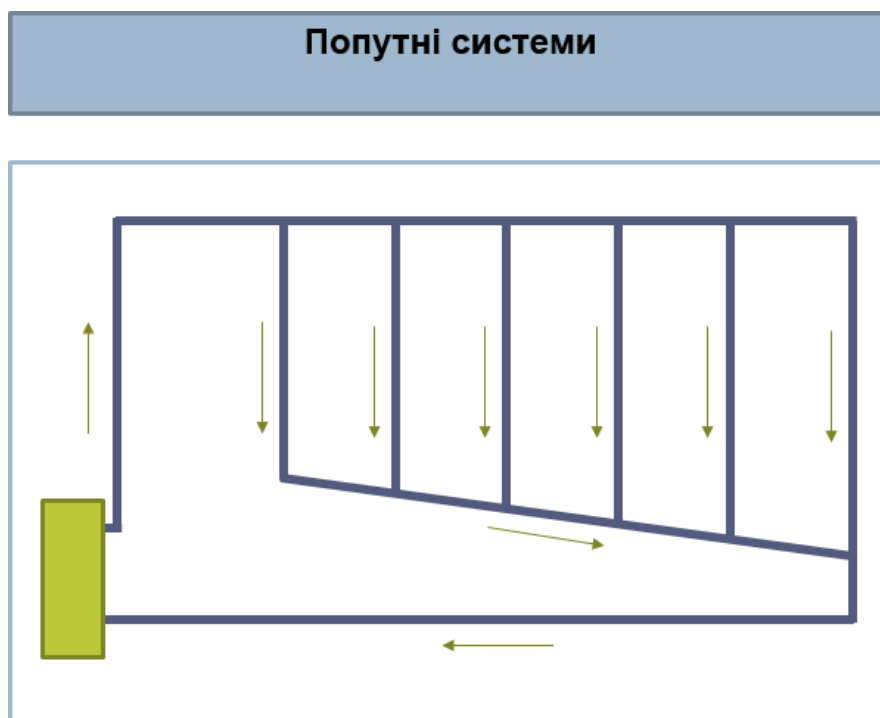


Рис. 1.17. Попутна система

У середньотемпературних систем опалення температура поверхні теплообміну - $30-90^{\circ}\text{C}$. Для них характерне поєднання радіаційного та

конвективного теплообміну у відсотковому співвідношенні 50/50. Найпоширенішим прикладом є радіаторно-конвекторна система, а також водяні та електричні кабельні системи теплих підлог, стель або стін. Такого типу системи часто використовують для опалення адміністративних, житлових та навіть промислових будівель. В основному, джерелом теплоти таких систем є теплоносії від централізованих ТЕЦ, котелень, когенераційних установок тощо.

До високотемпературних систем опалення належать системи із температурою нагрівача понад 90°C . Їм притаманне випромінювання в інфрачервоному спектрі. До них належать нагрівачі із керамічними, металевими чи напівпровідниковими елементами. Високотемпературні системи використовують для приміщень із необхідністю локального підігрівання, зі значними висотами приміщень чи на відкритій території. Широкого поширення вони набули у виробничих приміщеннях (наприклад, склади, гаражі), сільському господарстві (ангари), а також у деяких технологічних процесах.

Проте, на разі найактуальнішим та перспективнішим є впровадження НТСО, що дозволяють забезпечити одночасне підвищення конвективної складової випромінювання та зменшення частки випромінювання від людського тіла, тобто зменшити значення температури внутрішнього повітря на $1...3^{\circ}\text{C}$ [21] із збереженням комфортного мікроклімату.

Висновки до розділу 1.

1. Складність та значна варіативність методик розрахунку параметрів теплового режиму обумовлена аналітичною важкістю опису та великою кількістю емпіричних коефіцієнтів.

2. Доцільним є сумісне використання спеціального програмного забезпечення та результатів експериментальних досліджень для коректного створення моделей розрахунку теплового режиму.

3. Виявлена відсутність затвердженої нормативно-правової бази, яка визначає методику розрахунку параметрів теплового режиму приміщень із використанням різних типів опалення, зокрема: підлогового водяного або

повітряного із впровадженням теплонасосних установок.

4. Аналіз літературних джерел показав можливість та нагальну необхідність побудови концептуальних передумов для розроблення енергоефективних та пасивних будівель із покращеними експлуатаційними можливостями та рівнем теплового комфорту.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ БАЛАНСІВ ТА КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

2.1. Методика побудови теплових балансів

Для всіх будівель із постійним тепловим режимом для забезпечення нормативного значення температури впродовж опалювального періоду, складають рівняння теплових втрат та теплових надходжень.

Для будівель із стаціонарним тепловим режимом, тепловий баланс має вигляд:

$$\sum Q = 0 \text{ або } Q_{TH} - Q_{TB} = 0 \text{ або } Q_{НАДЛ} = 0 \quad (2.1)$$

Для випадку відсутності систем забезпечення мікрокліматичних умов перебування у приміщенні баланс (2.1) зберігатиметься, однак температури внутрішнього повітря приміщення були б некомфортні для перебування.

Саме опалювальні та вентиляційні системи створюють такий тепловий баланс, котрий відповідає заданим температурам у приміщенні.

Тобто, якщо за визначеної температури внутрішнього повітря приміщення баланс не забезпечено, а наявні надлишки або нестача теплоти, вентиляційні системи мають їх збалансувати, забезпечивши подання тієї ж кількості теплоти з від'ємним знаком:

$$Q_B = -Q_{НАДЛ}, \quad (2.2)$$

Тобто, для обчислення розрахункових значень можливостей теплової системи необхідно визначити розмір надлишків теплоти у будівлі з врахуванням їх знаку. Необхідно наголосити, що терміни "надходження тепла" та "втрати тепла" характеризують лише напрямки потоків, тобто "надходження тепла" – це рух тепла всередину приміщення, "втрати тепла" – це потік тепла із приміщення.

Виходячи із конкретних знаків теплових втрат сума теплових втрат може мати різне значення, у тому числі із знаком мінус.

Якщо знак теплових втрат додатній, то наявний профіцит теплоти у приміщенні, якщо від'ємний – наявний її дефіцит.

Обидва терміни використовують лише для зручності користування, аби не називати фактичний знак результату обчислень.

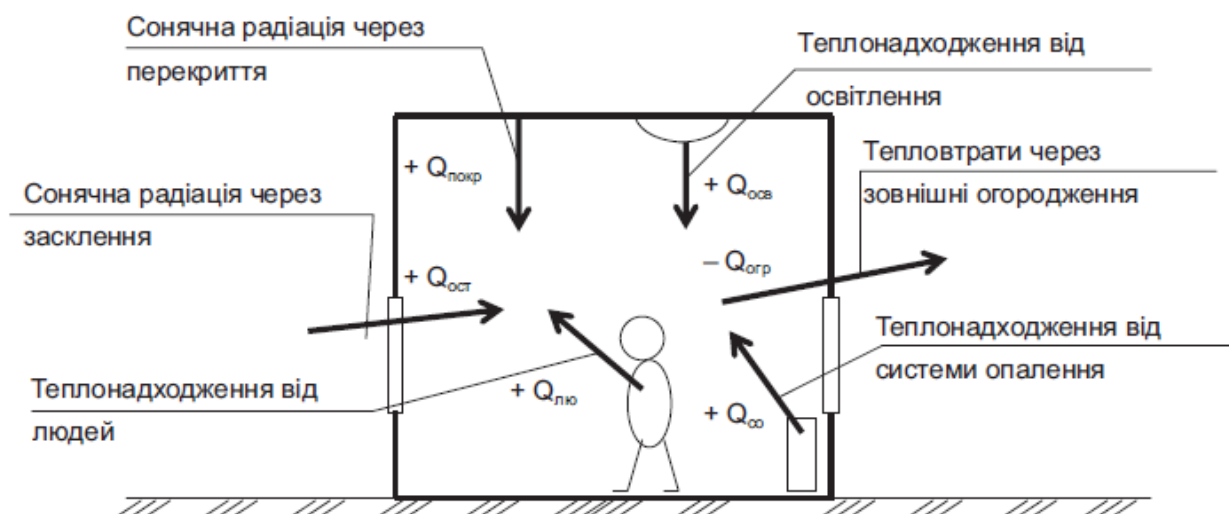


Рис. 2.1. Надходження тепла та теплові втрати громадських будівель

У випадку виділення вологи у приміщенні, що зазвичай характерне будівлям, де перебуває значна кількість людей, то профіцит та дефіцит теплоти визначають по окремо для явного та для повного значень.

Адміністративним будівлям притаманна наявність водяної системи з локальними приладами опалення. Водяна система є постійно діючою в часі та працює в основному цілодобово, на противагу системам чергового опалення промислових будівель, які можуть відмикатись у неробочі години. Тепловий баланс для будівель, промислового призначення зазвичай складають без врахування теплових надходжень від систем опалення, оскільки на цьому етапі завдання вибору типу системи опалення та режиму її роботи остаточно ще не вирішене.

Результати обчислень теплового балансу використовують для визначення повітрообміну за тепловими надлишками.

Для виробничих приміщень теплові надходження від обладнання розраховують за мінімального значення їх напруги. Для житлових будівель враховують побутові надходження тепла та надходження, обумовлені впливом сонячної радіації. Значення кількості тепла опалювальних пристроїв $Q_{оп}$ для компенсації її дефіциту:

$$Q_{оп} = Q_{тн} - Q_{тв}, \quad (2.3)$$

у виразі $Q_{тн}$, $Q_{тв}$ – теплові надходження та втрати за виокремлений проміжок часу.

У деяких випадках теплові втрати промислових приміщень можуть кількісно бути менші, ніж теплові надходження, у такому разі у додатковій опалювальній системі немає необхідності.

Для теплого сезону року, за відсутності теплових втрат, баланс містить лише теплові надходжень. У той же час, теплові надходження від сонячної радіації враховують у балансі впродовж всього року.

У перехідний сезон – теплові втрати та надходження перераховують на значення зовнішньої температури $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплові надходження, обумовлені впливом сонячної радіації приймають у розмірі 50 % від теплових надходжень для теплого сезону року.

2.2. Концепція створення енергоефективних будівель

Під визначенням "енергоефективної будівлі" розуміють таку, ефективне використання ресурсів якої обумовлене впровадженням новітніх рішень, котрі обґрунтовані еколого-економічно та реалізовані технічно за умови забезпечення комфортних умов перебування людей (рис.2.2).



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд енергоефективної будівлі

Під визначенням "будівля з низьким енергоспоживанням" розуміють такі, що побудовані із використанням новітніх технологій та будівельних матеріалів. Таким будівлям характерне значення питомої витрати енергії на опалення складає до $80 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ щороку.

Під визначенням "будівля із нульовим використанням енергії" розуміють таку, яка генерує таку ж кількість енергії, яку використовує разом з втратами на її транспортування.

Під визначенням "пасивна будівля" розуміють таку, в якій передбачене використання відновлюваних видів енергії, наявність котрих дозволяє зменшити рівень споживання енергії на противагу традиційним (рис.2.3).



а)

б)



в)



г)



д)

е)

Рис. 2.3. Зовнішній вигляд пасивних будівель

Під визначенням "здорова будівля" розуміють таку, в якій пріоритетність під час обирання енергоощадних технологій надається тим технічним рішенням, що сприяють покращенню мікроклімату приміщень та захисту навколишнього середовища з екологічної точки зору.

Головною концепцією "розумної будівлі" (рис.2.4) є принцип ефективності використання простору та взаємного зв'язку всіх елементів. Крім того така будівля дозволяє господарю керувати всіма її системами у режимі он-лайн

відповідно до зовнішньої температури, рівня освітленості тощо.

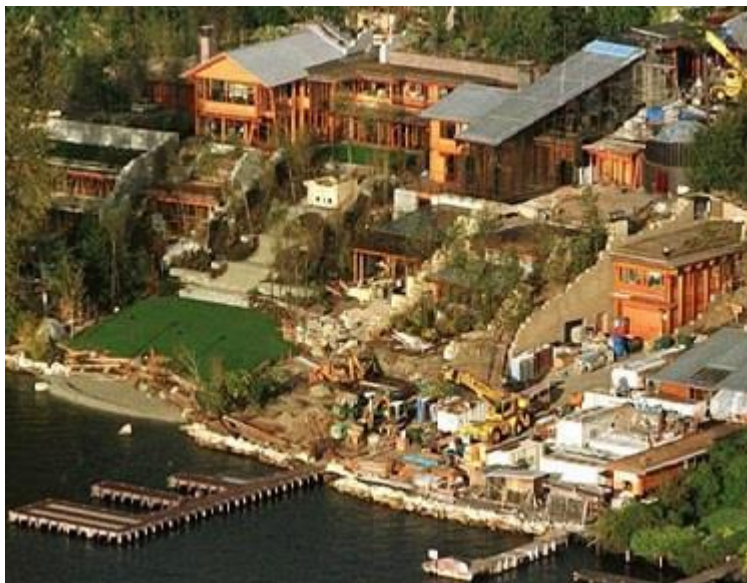


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд розумної будівлі Білла Гейтса [17]

Головними конструктивними особливостями енергоефективних будівель є багатошаровість зовнішніх огорожувальних конструкцій. Такі конструкції між зовнішніми та внутрішніми стінами, поєднані гнучкими зв'язками у вигляді арматурних стрижнів, попередньо захищених від корозії, що розміщені у горизонтальних швах кладки та прошарку теплоізоляційного матеріалу.

Необхідно наголосити, що зовнішня оболонка стін виконує не лише захисну, але й функцію несучої конструкції. Поєднання механічної міцності та визначеного рівня теплопровідності вимагає створення багатошарових конструкцій, в яких функцію несучої конструкції виконує міцний матеріал з високим значенням теплопровідності, а термозберігаючі функції характерні матеріалу меншої міцності із високим термічним опором.

Максимальна компактність та симетричність будівлі, відсутність містків холоду, якісне зовнішнє утеплення – це основні принципи архітектурної концепції енергоефективної будівлі (див. рис.2.5).



а)



б)

Рис. 2.5. Зовнішній вигляд енергоефективної будівлі до (а) та після утеплення (б)

Висновки до розділу 2.

1. Скласти рівняння теплових балансів доцільно для всіх будівель із постійним тепловим режимом для забезпечення нормативного значення температури впродовж опалювального періоду.

2. Створення "енергоефективних", "пасивних", "здорових" та "розумних" будівель є одним із сучасних напрямків підвищення рівня енергоефективності, що дозволяє заощаджувати енергоресурси та покращити санітарно-гігієнічні умови перебування людей у будівлях.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОЇ ТЕПЛОТИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1. Принципи побудови системи "теплого бар'єру"

Розглянемо методику підвищення рівня енергетичної ефективності будівель за рахунок використання надлишкової теплоти огорожувальних конструкцій. Такий підхід реалізують із шляхом застосування у якості основного джерела теплоти інсоляції, яка надходить у будівлю та системи опалення підлоги на основі ТНУ із ґрунтовим акумулятором теплоти. На противагу радіаторній системі, наведена система функціонує за менших значень різниці температур теплоносія та повітря приміщення (до 15 °С). А отже, у теплу частину року потенціал теплоносія, отриманий та незадіяний із приміщень, спрямовують у ТНУ. Задля уникнення дискомфортних умов перебування у приміщенні під час охолодження, доцільно зменшувати температуру поверхні підлоги не більше ніж на 2°С від заданої системою регулювання.

Практично реалізувати такий підхід можна за схемою під'єднання ТН, аналогічній звичайній із деяким її удосконаленням (рис. 3.1).

Так, у холодну пору року система працює за послідовністю 1→2→3→В→4→5→6 та 7→8→9→К→10→11→12 (див. рис.3.1), у теплу - 7→8→3→В→4→11→12 і 1→2→9→К→10→5→6. Такий підхід набагато кращий для охолодження та підтримання рівнів заданих температур, ніж впровадження побутових кондиціонерів за техніко-економічними та санітарно-гігієнічними показниками.

За умов холодної пори року (опалювальний сезон) утилізація теплоти, котра у надлишку відбувається шляхом зменшення витрат теплоносія або ж зменшенням його температури.

Під ТБ розуміємо систему, що містить теплоізолятор, бетонний прошарок та системою труб у товщі стіни із системою труб та є частиною зовнішніх стінових

огороджуючих конструкцій.

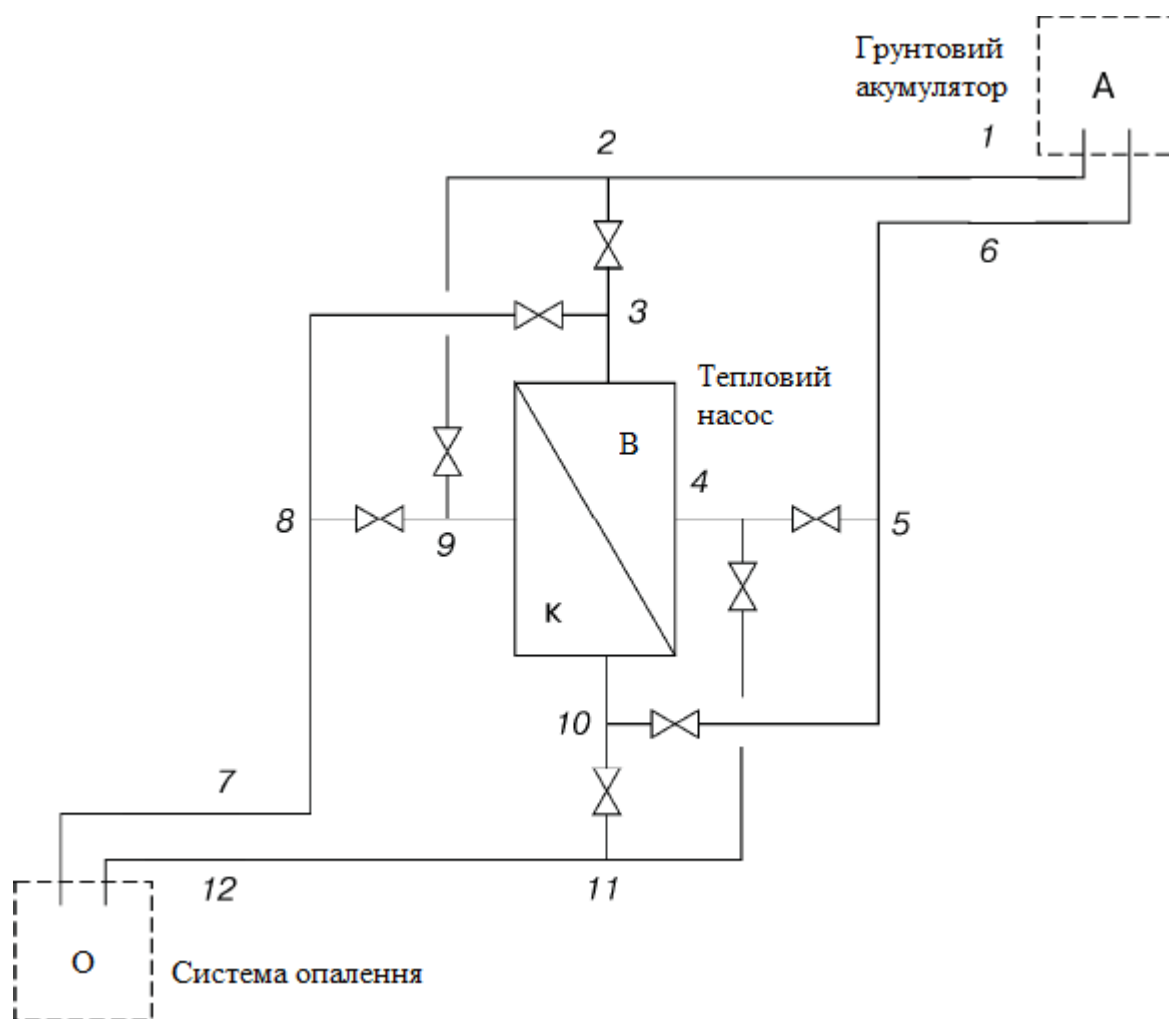


Рис. 3.1. Схема застосування надлишкової теплоти

У холодну пору року шляхом подачі теплоносія ($5-10^{\circ}\text{C}$) у контур, який міститься у зовнішній стіні, створюють додатковий опір, що дозволить зменшити тепловтрати з приміщень будівлі. Конструкція зовнішніх стін із "тепловим бар'єром" із відповідним розподілом температур в опалювальний та неопалювальний періоди наведені на рис. 3.2.

Крім того, у неопалювальний сезон трубопроводи можна використовувати для відмежування бар'єром зовнішніх теплонадходжень аналогічним способом, подавання теплоносія з $5-10^{\circ}\text{C}$ температурою. Отже, значення енергоспоживання будівлі буде корелювати із різницею температур ТБ та зовнішнього повітря.

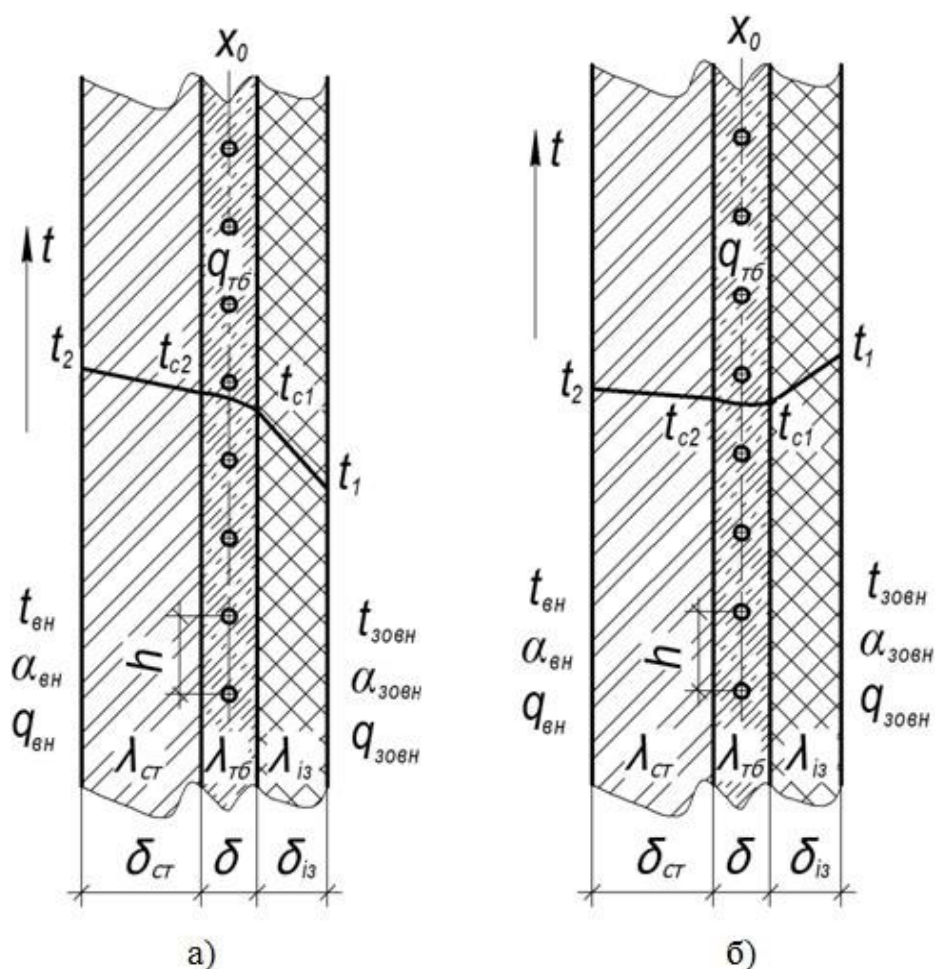


Рис. 4.2. Конструктивна схема зовнішньої стіни із ТБ у опалювальний (а) та неопалювальний (б) періоди

Компенсація тепловтрат вимагає застосування додаткового джерела із вищим значенням потенціалу за енергією ґрунту. Це питання може бути вирішене за рахунок ТНУ, яка працює на залишковій температурі теплоносія, встановленої після ТБ. Відповідно, впровадження системи ТБ дозволить скоротити використання високопотенціальної теплоти.

В якості джерела теплоти ТБ використовуємо масив ґрунту, теплота якого відбирається/віддається шляхом розміщення в ній системи ґрунтових теплообмінників.

Принципова схема теплохолодопостачання ТБ та системи опалення наведена на рис.3.3.

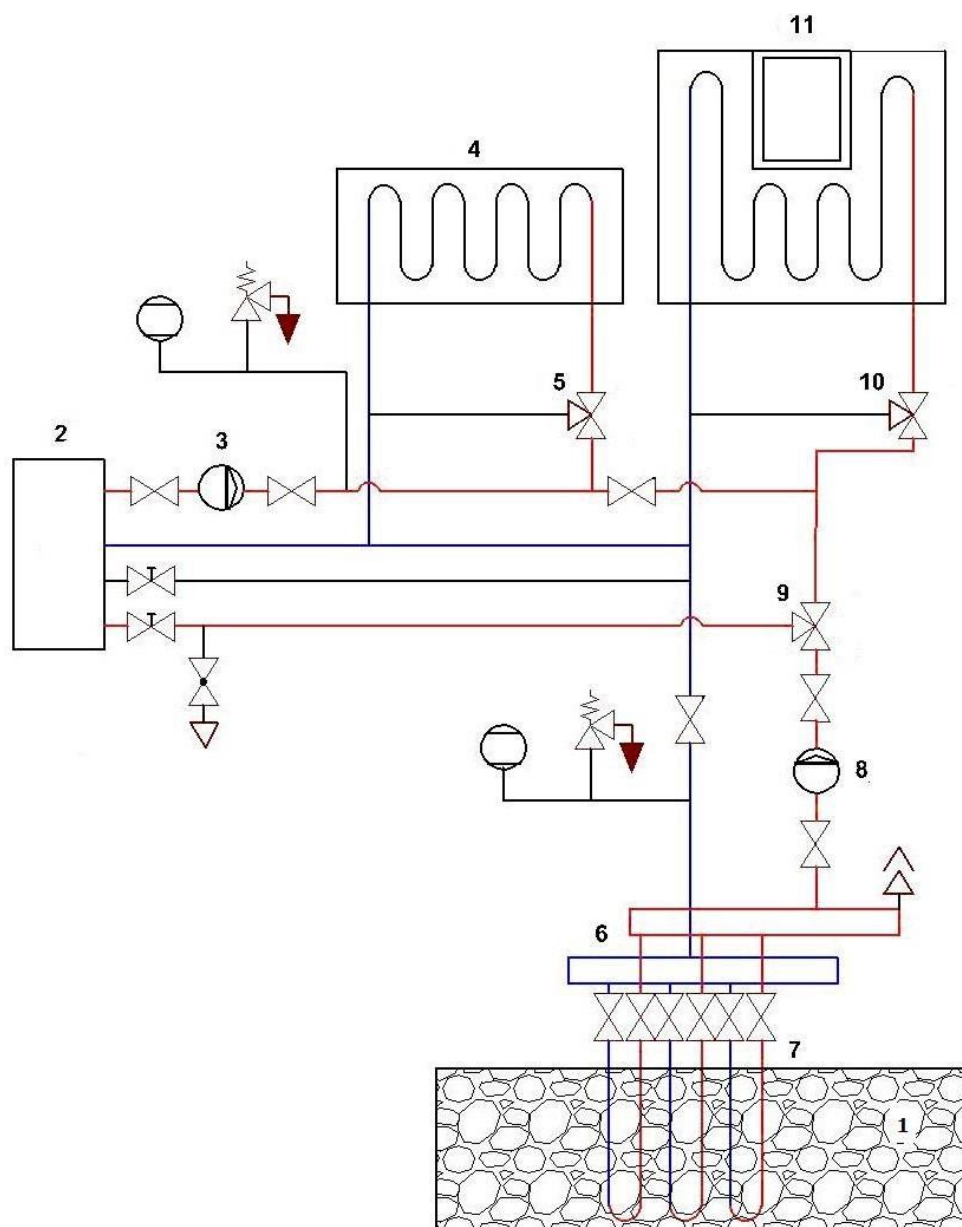


Рис.3.3. Принципова схема теплохолодопостачання ТБ та системи опалення

В опалювальний сезон теплоносій відбирає із масиву ґрунту (1) з використанням ґрунтових теплообмінників (7) теплоту та циркуляційним насосом (8) передає її до теплового бар'єру (11). Положення триходового клапану (9) у цьому разі відповідне. У випадку різкого зниження зовнішньої температури менше за встановлене значення, застосування подібного ТБ може виявитись недостатнім для підтримання нормального теплового режиму приміщень, що призводить до відповідного зменшення їх внутрішньої температури. У такому разі датчик, що контролює рівень температури у приміщенні передає сигнал на зміну положення триходового клапану із додатковим вмиканням реверсивного ТН (2) на

базі циркуляційного насосу (3). Такі дії дозволяють збільшити температуру теплоносія, що й прогріває систему опалення підлоги (4).

У неопалювальний сезон теплоносієм циркулює по тепловому бар'єру (11), відбираючи надлишкову теплоту та транспортує її теплообмінником у масив ґрунту.

У разі високих значень температури зовнішнього середовища системи пасивного охолодження може виявитись недостатньою, тому додатково вмикається у режим охолодження реверсивний ТН (2), що дозволяє охолодити теплоносієм, а його надлишкову теплоту скидають теплообмінником у масив ґрунту (1).

3.2. Методика розрахунку параметрів теплового режиму

Оцінювання рівня енергетичної ефективності запропонованої системи відбувається відповідно до отриманих розподілів температур зовнішніх стін та їх тепловтрат із ТБ.

Тепловий баланс зовнішніх стін із ТБ:

$$q_{BH} = \frac{\lambda_{CT}}{\delta_{CT}} \cdot (t_2 - t_{C2}); \quad (3.1)$$

$$q_{BH} = \alpha_{BH} \cdot (t_{BH} - t_2); \quad (3.2)$$

$$q_{3ОВН} = \frac{\lambda_{I3}}{\delta_{I3}} \cdot (t_{C1} - t_1); \quad (3.3)$$

$$q_{BH} = \alpha_{BH} \cdot (t_1 - t_{3ОВН}); \quad (3.4)$$

$$q_{TB} = \frac{c \cdot G \cdot \Delta t}{h \cdot \delta \cdot l}; \quad (3.5)$$

$$q_{3ОВН} = q_{BH} + q_{TB} \cdot \delta_{TB}; \quad (3.6)$$

$$x_0 = \frac{q_{TB} \cdot d_{TB} + q_{BH}}{q_{TB}}; \quad (3.7)$$

$$t_1 = \frac{q_{3OBH}}{\alpha_{3OBH}} + t_{3OBH} ; \quad (3.8)$$

$$t_{C1} = t_1 + \frac{q_{3OBH} \cdot \delta_{I3}}{\lambda_{I3}} . \quad (3.9)$$

$$t_2 = t_{BH} - \frac{q_{BH}}{\alpha_{BH}} ; \quad (3.10)$$

$$t_{C2} = t_2 - q_{BH} \cdot \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} ; \quad (3.11)$$

$$t_{C2} - t_{C1} = \frac{q_{TB} \cdot \delta_{TB}^2}{2 \cdot \lambda_{TB}} + \frac{q_{BH} \cdot \delta_{TB}}{\lambda_{TB}} ; \quad (3.12)$$

$$q_{BH} = \left[\frac{t_{BH} - t_{3OBH} - q_{TB} \left(\frac{\delta_{TB}^2}{2 \cdot \lambda_{TB}} + \frac{\delta_{I3} \cdot \delta_{TB}}{\lambda_{I3}} + \frac{\delta_{TB}}{\lambda_{TB}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_{3OBH}} + \frac{\delta_{I3}}{\lambda_{I3}} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{\delta_{TB}}{\lambda_{TB}} + \frac{1}{\alpha_{BH}} \right)} \right] ; \quad (3.13)$$

$$x_0 = \frac{\frac{t_2 - t_1}{q_{TB}} + \delta \left(\frac{1}{\alpha_{3OBH}} + \frac{\delta}{2 \cdot \lambda_{TB}} \right)}{\frac{1}{\alpha_{3OBH}} + \frac{\delta}{\lambda_{TB}} + \frac{1}{\alpha_{BH}}} . \quad (3.14)$$

де h – відстань між трубами;

l – довжина ТБ;

G – масова витрата теплоносія;

q_{BH} , q_{3OBH} , q_{TB} – густини теплових потоків;

t_1 , t_2 , t_{3OBH} , t_{BH} – значення відповідних температур.

3.3. Визначення теплотехнічних параметрів зовнішніх стін із тепловим бар'єром

Розподіл температур всередині зовнішньої стіни із ТБ за різних значень температур зовнішнього повітря у діапазоні -22°C до 8°C та температури приміщення 20°C наведені на рис.3.4.

Відповідно до рис. 3.4 робимо висновок, що збільшення температур навколишнього середовища відповідає пологішій ділянці кривої.

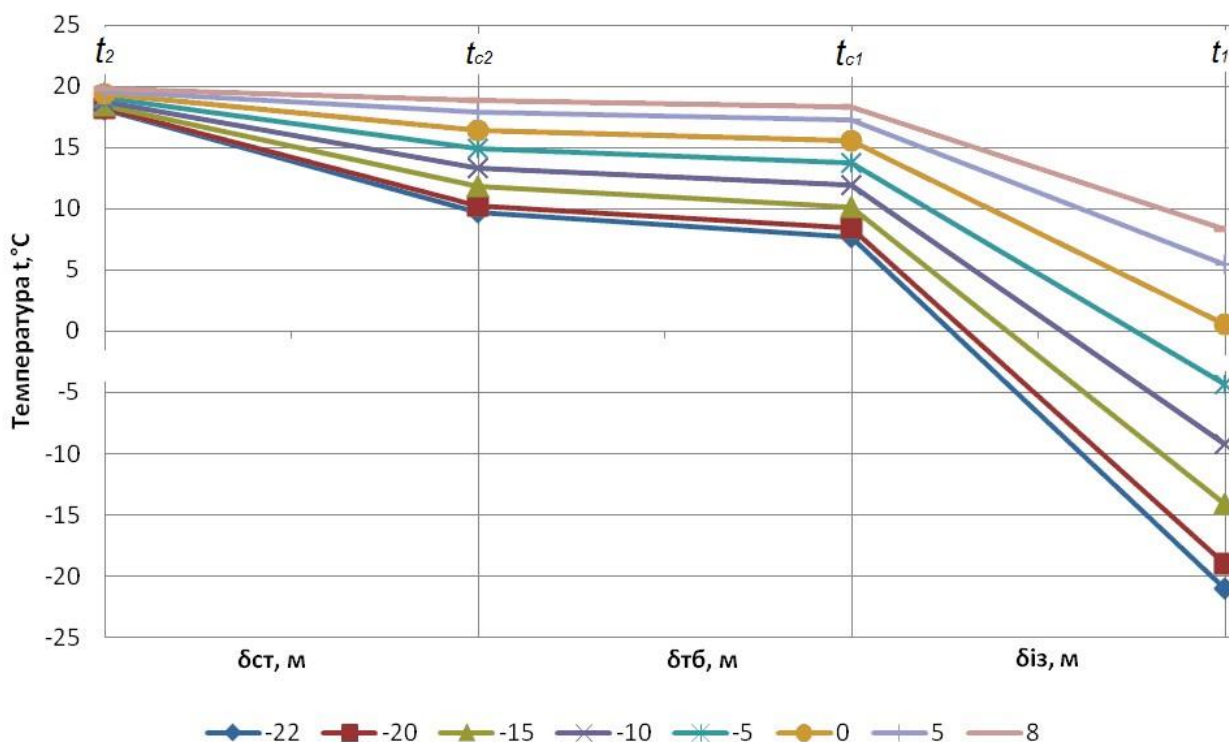


Рис. 3.4. Розподіл температур всередині зовнішньої стіни за температур зовнішнього повітря у діапазоні -22°C до 8°C

Розподіл температури всередині стіни за варіювання товщин стін у діапазоні від 0,1 до 0,8 м наведено на рис.3.5.

Аналізування кривих на рис. 3.5 демонструє, практичну незмінність температур на зовнішній та внутрішній поверхнях стіни за зміни її товщини у діапазоні від 0,1 до 0,8 м.

На рис.3.6. наведено дослідження впливу товщини ізоляції на розподіл температури всередині стіни наведено. Збільшення товщини ізоляції призводить до підвищення значень t_{c1} , t_{c2} , t_2 та невеликого зменшення t_1 , що обумовлюється зменшенням q_{BH} та $q_{зовн}$ у випадку збільшення товщини ізоляції.

За значення $q_{I3} = 0,2 \text{ м}$ та температури теплоносія в 20°C компенсується переважна частина тепловтрат приміщення.

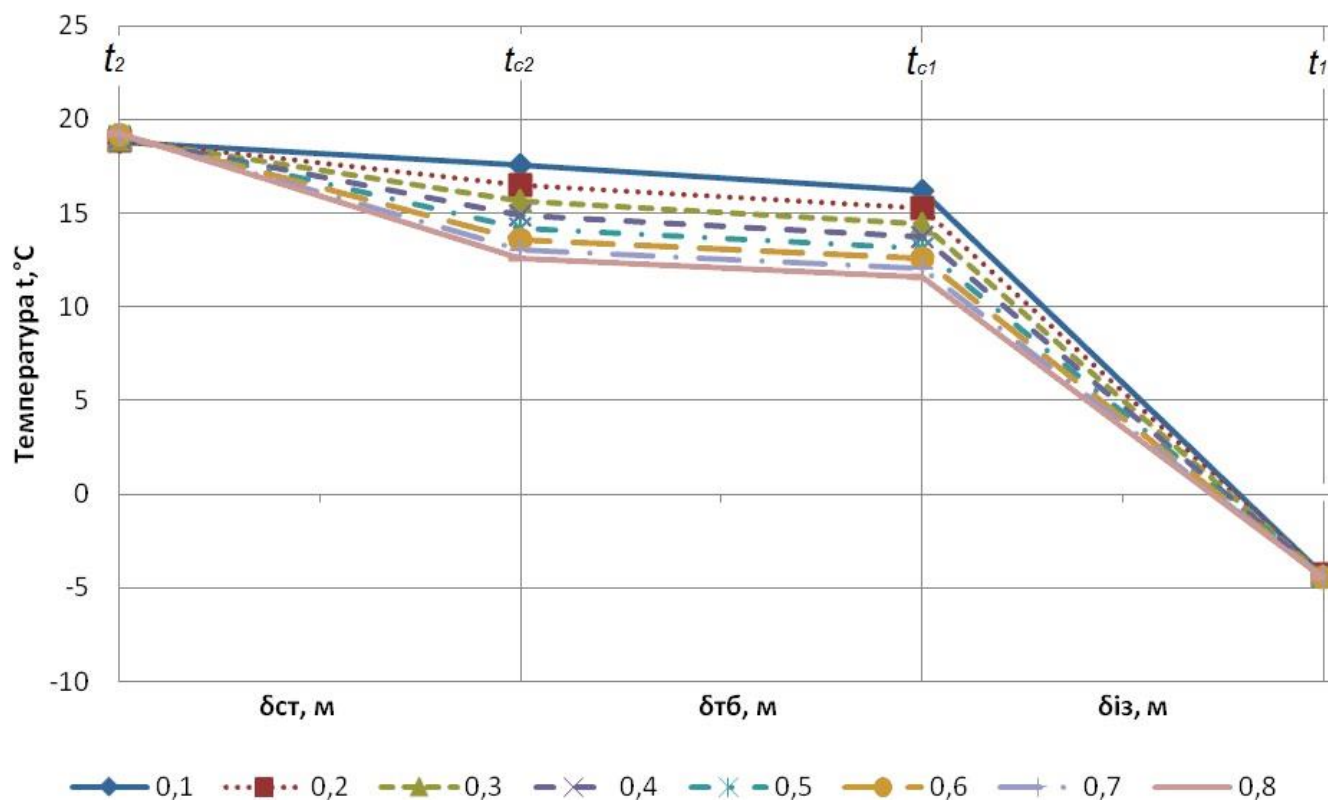


Рис. 3.5 Розподіл температури всередині стіни за варіювання товщин стін у діапазоні від 0,1 до 0,8 м

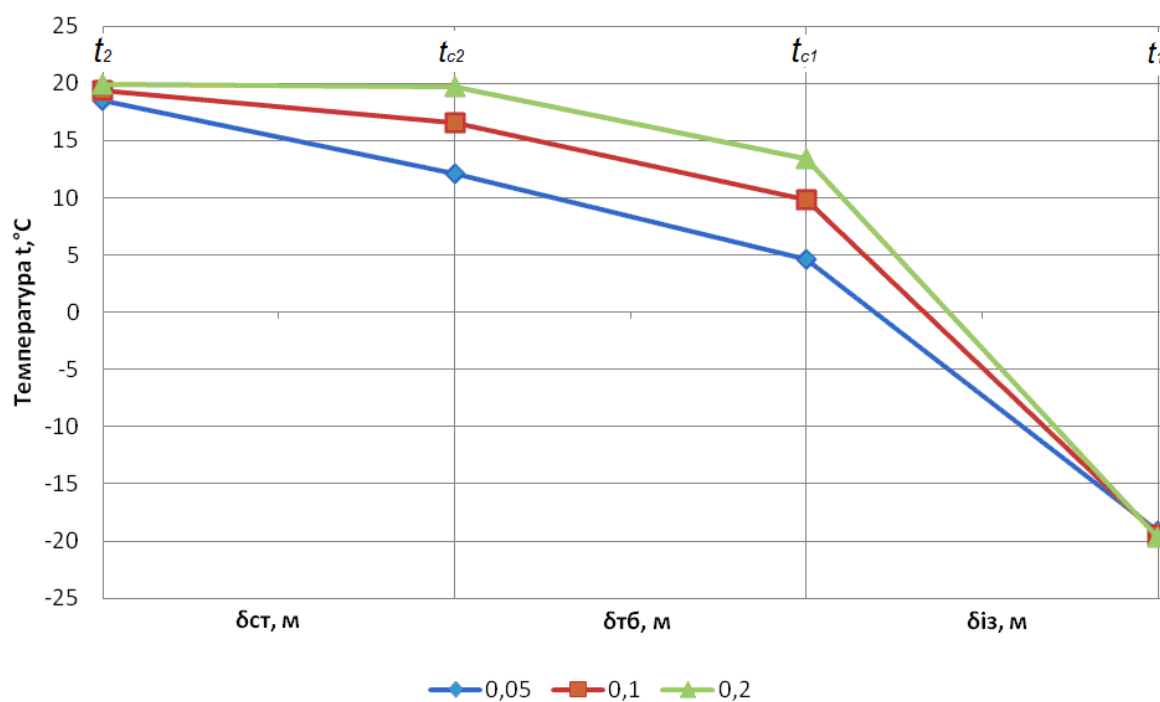


Рис. 3.6. Розподіл температури всередині стіни за різних значень товщин ізоляції

3.5. Техніко-економічний аналіз показників експлуатації теплового бар'єру

На рис. 3.7 наведена зміна коефіцієнта перетворення ТН у залежності від Δt підвищення потенціалу теплоносія та значення температури низькопотенційного джерела енергії, температура джерела становить 5°C :

$$COP = \frac{T_B}{T_B - T_H} \cdot \eta_{\text{ЕЛ}} \cdot \eta_{\text{ОІ}} \quad (3.15)$$

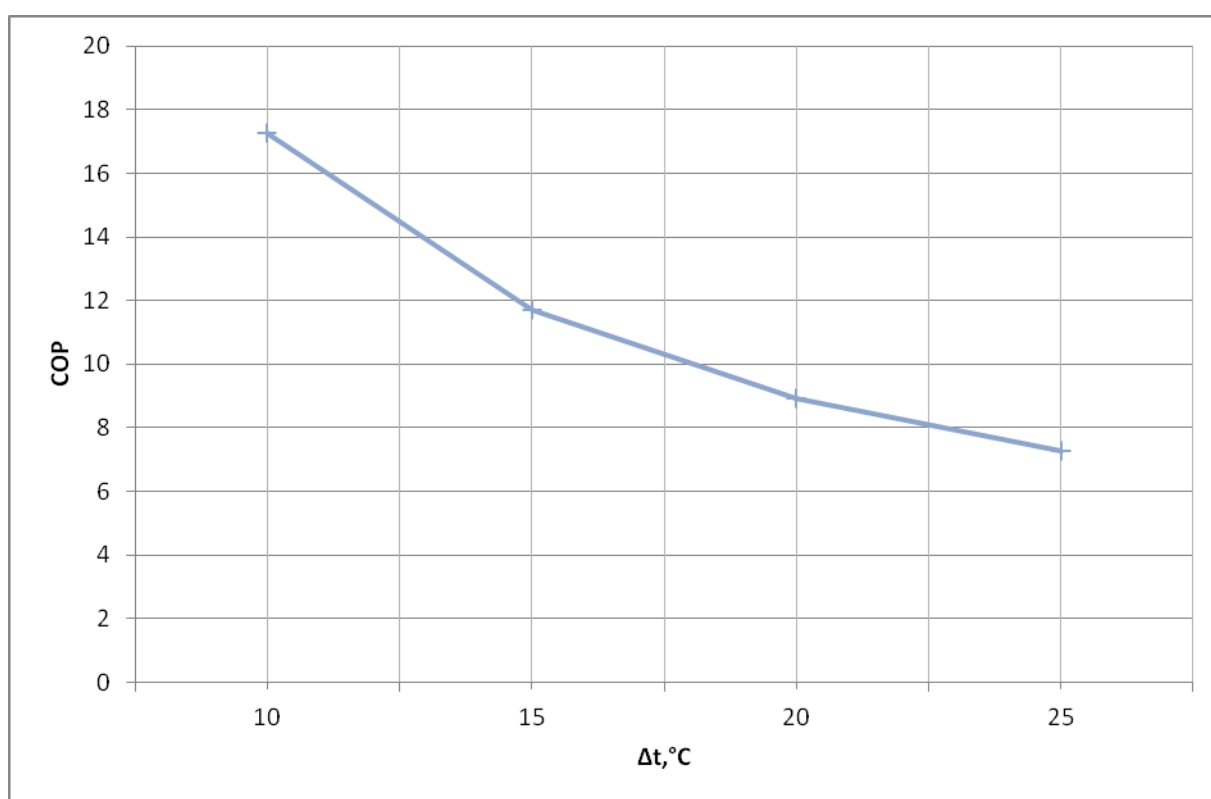


Рис. 3.7. Залежність COP від підвищення потенціалу теплоносія Δt

Залежність теплових потоків наведена на рис. 3.8. У випадку зростання значення теплового потоку $q_{\text{ТБ}}$ зменшується тепловий потік від приміщення до бар'єру та незначне збільшення $q_{\text{ЗОВН}}$, що підтверджує ефективність встановлення бар'єру.

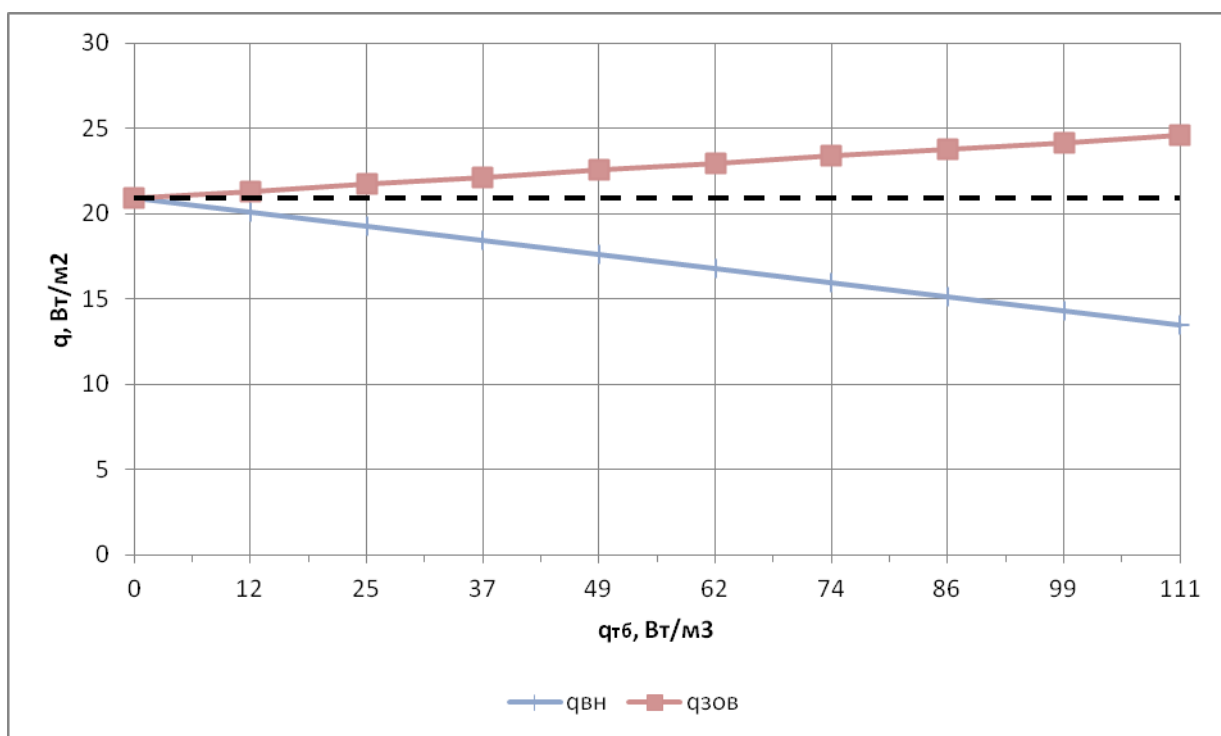


Рис. 3.8. Залежність теплових потоків

Графік заощадженої енергії в опалювальний сезон наведено на рис.4.9.

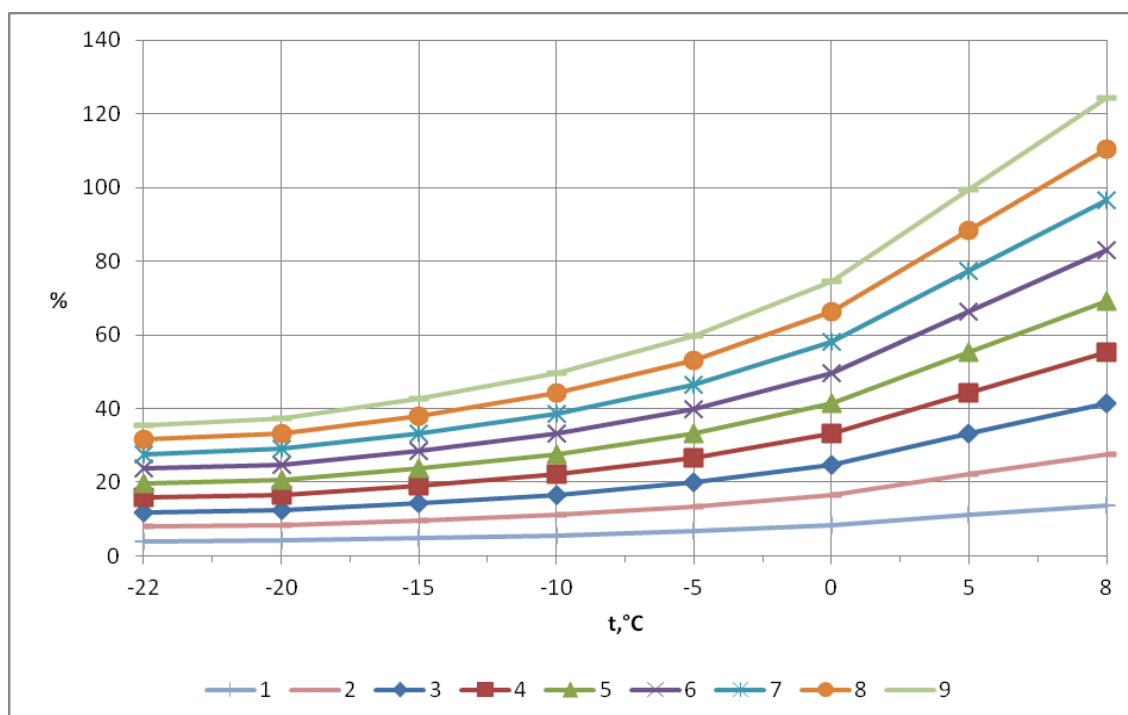


Рис. 3.9. Графік заощадженої енергії в опалювальний сезон

На рис. 3.10 наведено зміну $q_{ВН}$ та $q_{ЗОВН}$ від $q_{ТБ} \cdot \delta_{ТБ}$ за значення зовнішньої

температури 35°C . Зростання значення q_{TB} призводить до зменшення теплового потоку від приміщення до бар'єру та зростання $q_{зовн}$, а отже, надходження тепла до приміщення будівлі скорочується, що також підтверджує ефективність ТБ.

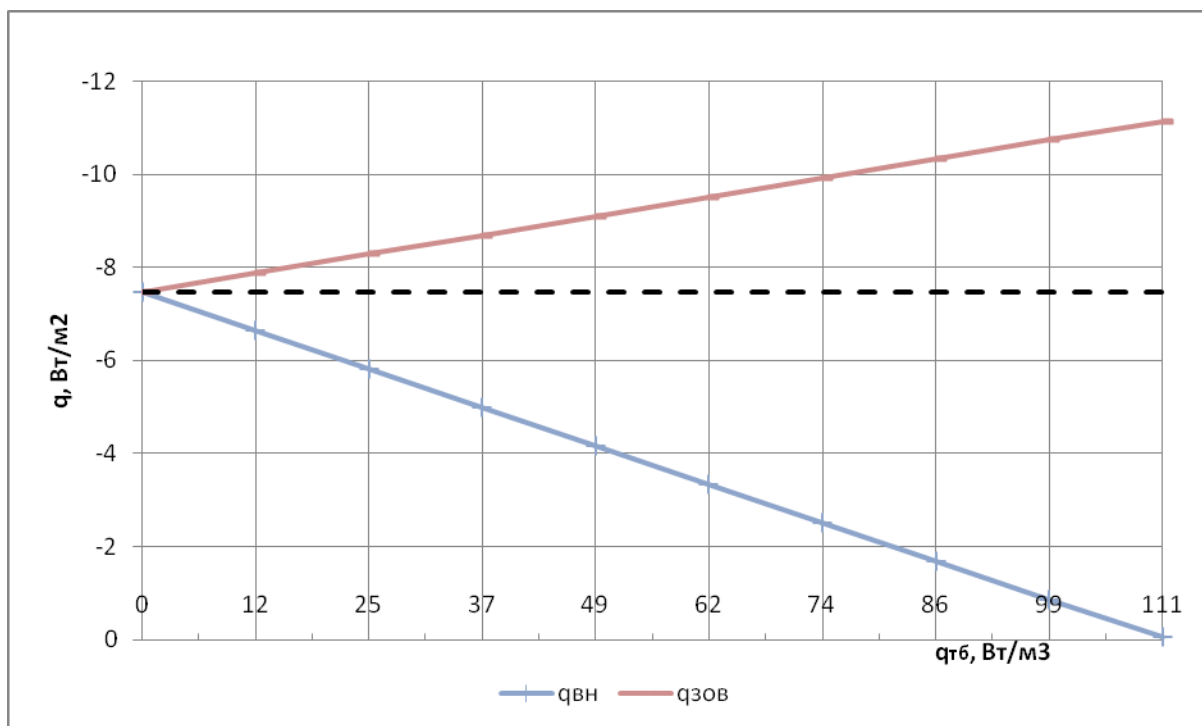


Рис. 3.10. Графік зміни $q_{вн}$ та $q_{зовн}$ від $q_{TB} \cdot \delta_{TB}$

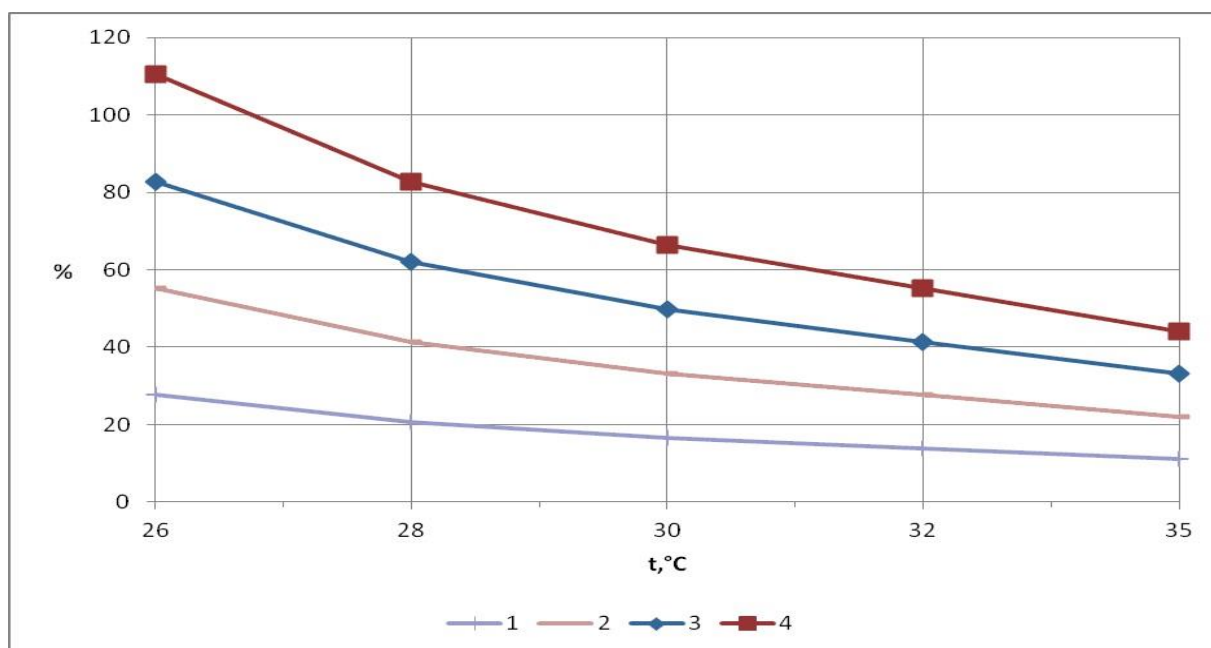


Рис. 3.11. Відсотковий графік заощадження енергії у неопалювальний період

Відсотковий графік заощадження енергії у неопалювальний період в залежності від $T_{зов}$ та різних значеннях q_{TB} наведено на рис.3.11.

Висновки до розділу 3.

1. Дослідження показали, що використання низькопотенційної теплоти ґрунту виявилось не достатнім, що вимагає застосування ТНУ на основі теплообмінників, розташованих у масивах ґрунту.

2. У випадку підвищення значень теплового потоку бар'єру скорочуються теплові втрати у приміщеннях будівель, що підтверджує ефективність теплового бар'єру в опалювальний сезон.

3. Зміна товщини стіни практично не впливає на розподіл температур всередині, а отже, вибір товщин можна виконувати виключно із міркувань дотримання будівельних норм. Доведено, що найбільший вплив на розподіл температур має товщина ізоляції.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

4.1. Опис установки з використанням низькотемпературних систем опалення

Приципова схема системи водяного опалення підлоги у складі теплонасосної установки наведена на рис. 4.1.

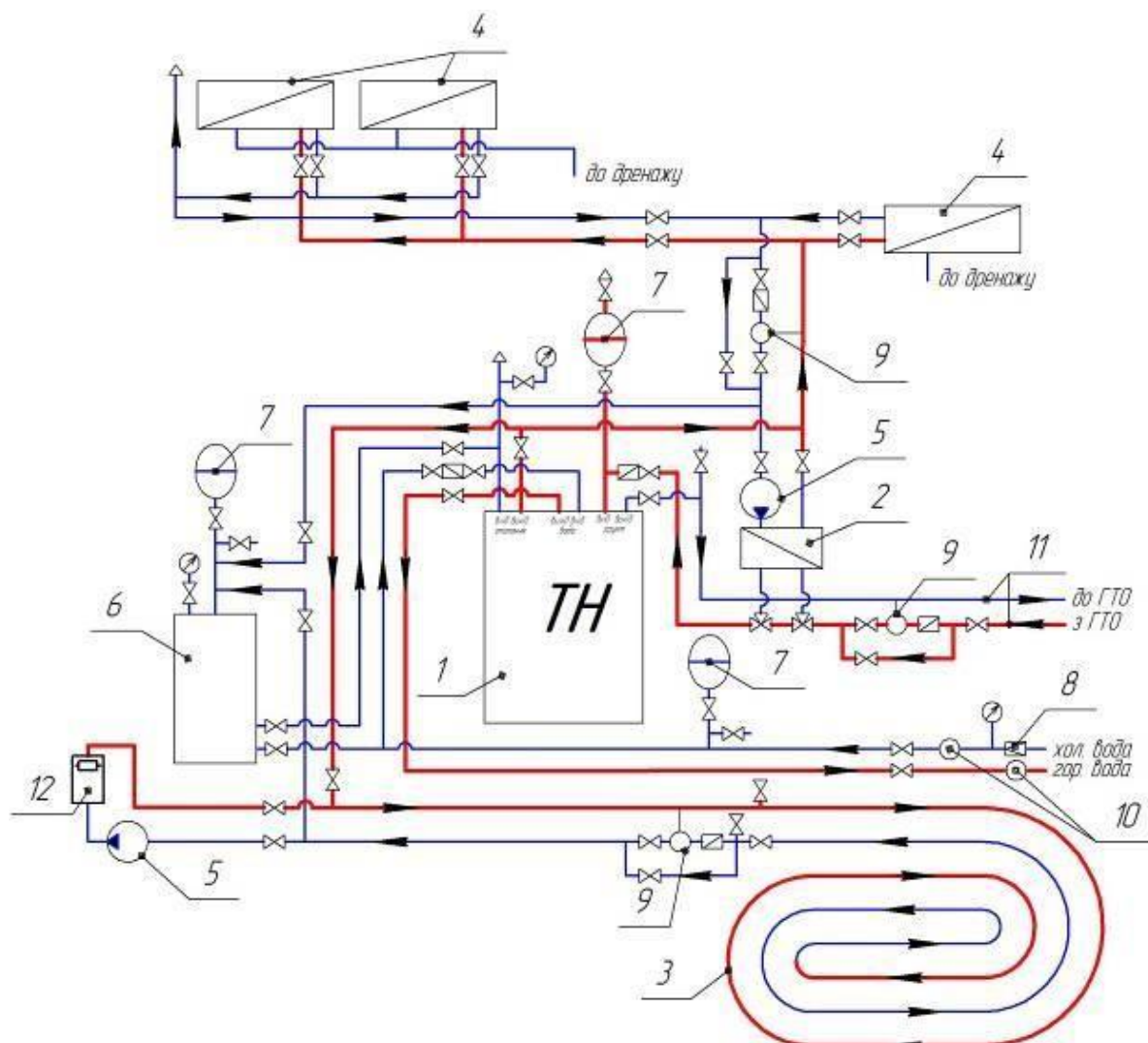


Рис. 4.1. Принципова схема теплонасосної установки

1 – насос тепловий; 2 – теплообмінник; 3 – система водяного опалення

підлоги; 4 – система повітряного опалення; 5 –насоси циркуляційні; 6 – бак-накопичувач; 7 – розширювальні ємності; 8 – редуктор водяний; 9 – теплові лічильники; 10 – лічильники води; 11 – контур колектора ґрунтового; 12 – електричний нагрівач.

Установка працює на низькопотенційній ґрунтовій теплоті, яку отримує з використанням ґрунтового теплообмінника неглибокого залягання. Конструктивно ГТО – це трубна система із поліетиленових труб (типу ПЕ–100) $D=32 \times 2$ мм, наповнена 20%-м розчином пропіленгліколю Тепло-20П.

Головною частиною установки (рис.4.1) є тепловий насос (ТН) номінальної продуктивності 5,9 кВт. В опалювальний сезон його застосовують для забезпечення теплотою приміщень із використанням системи опалення підлоги або повітряного опалення з теплообмінниками, кожен з яких номінальною потужністю 3,8 кВт. Установка містить бак-накопичувач для гарячої води об'ємом 160 л, що забезпечую наявність гарячого водопостачання.

У теплий період року система забезпечує пасивне кондиціонування повітря приміщень із застосуванням пластинчатого теплообмінника, циркуляційних насосів повітряних теплообмінників та ГТО. Компресор теплового насосу в такому режимі не використовують. Охолодження теплоносія відбувається під час циркулювання холодоносія через ґрунтовий колектор у системі кондиціонування і, в той же час, відбувається поступове відновлення нормального теплового стану, характерного ґрунтового масиву, в якому він розміщений.

Усі зворотні магістралі системи підведені до теплозахищеної акумуляційної ємності об'ємом 80 л з розширювальним баком об'ємом 5 л, який використовують для компенсування розширення теплоносія під час нагрівання, спуску повітря у разі заповнення системи, а також зменшення необхідності включення компресора із-за акумулювання теплоти в об'ємі рідини.

Наповнення бака ГВП ТН та його підживлення здійснюється із використанням редуктора для зменшення вхідного тиску води підживлення до 3 атм із загальної системи водопостачання.

Конструктивно схема передбачає вимірювання витрат рідин у наступних контурах: ґрунтового колектора, системи підлогового та повітряного опалення із використанням теплових лічильників та вимірювання витрат води (як холодної, так і гарячої) лічильниками води. Наявність спіральних манометрів та терморезисторів дозволяє визначати тиск та температуру теплоносіїв всіх контурів.

Установка з ТН розміщена у лабораторному приміщенні, загальною площею 18 м². Головною метою створення та монтажу ТН установки є аналіз та дослідження технологічних особливостей та ефективності роботи опалювальних систем: підлогове водяне, повітряне із використанням фанкойла, радіаторно-конвекторна централізована, радіаційно-конвективна із використанням електричного акумулятора теплоти та спліт-кондиціонера.

Кожна із систем додатково оснащена набором контрольно-вимірювальних приладів, що утворюють загальну систему автоматизованого збирання та збереження інформації. Посередині лабораторного приміщення, приблизно на відстані 40 см від стіни розміщена вимірювальна планка із 16-ма термометрами опору для визначення розподілу температур повітря по висоті приміщення. Зведення енергетичних балансів для випадку роботи окремих систем на кожному контурі ТН установки розміщено теплові лічильники типу Apator LQM-III-K, в той же час для кожного пристрою, що живиться ЕЕ, встановлено окремий лічильник ЕЕ типу НИК 2102-02.

Циклічність роботи парокомпресійного ТН зі сталою частотою обертання компресора є однією із важливих особливостей його роботи. Тобто, система опалення підлоги перманентно працює в нестаціонарному режимі, що значно ускладнює можливість розв'язання спряженої задачі теплообміну між теплоносієм опалювального контуру та повітря/предметів, що знаходяться у досліджуваному приміщенні.

Під час побудови експериментальної ТНУ окремо було створено стенд з метою визначення теплового режиму приміщення та теплообмінних процесів у системі водяного підлогового опалення.

Для покращення аналізування режимів експлуатації системи підлогового опалення експериментальна ТНУ укомплектована перманентним джерелом тепла – електричним водонагрівачем типу ВПО-5,5/220 (див. рис. 4.1).

Для уникнення теплового впливу на тепловий режим приміщення із ТНУ додаткове обладнання винесено у сусідню кімнату (рис.4.2).

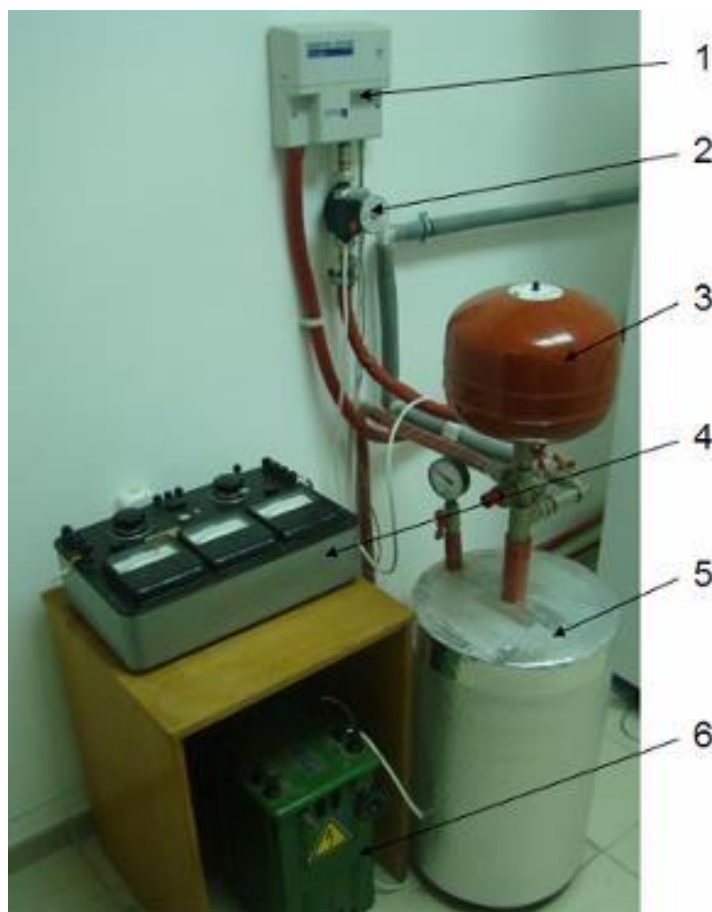


Рис. 6.2. Додаткове обладнання

Електричний нагрівач води (1) під'єднано із використанням автотрансформатора (6) до мережі 220 В. Наявність автотрансформатора у схемі дозволяє регулювати напругу, що подають на електричний нагрівач та, відповідно, його потужність. Під час дослідів напругу спеціально не змінювали, її значення вимірювали із застосуванням мобільного вимірювального комплексу К-50. До складу установки було введено додатково стабілізатор напруги ССК-1-3-220, що дозволив уникати коливань напруги. Встановлення насосу WILO RS 15/5

дозволило забезпечити циркуляцію води у тепловому контурі.

Система водяного опалення підлоги - багатошарова конструкція, складові якої із відповідними розмірами наведені на рис.4.3 та рис.4.4.

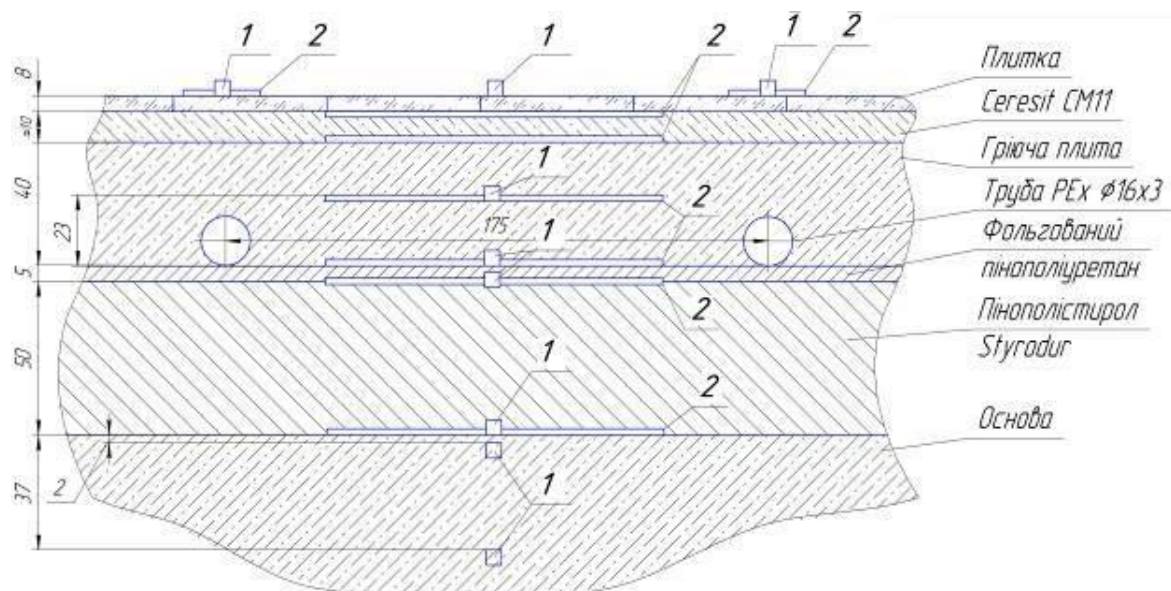


Рис. 4.3. Поперечний розріз системи водяного опалення підлоги:

1 – термометри опору, 2 – перетворювачі теплового потоку.

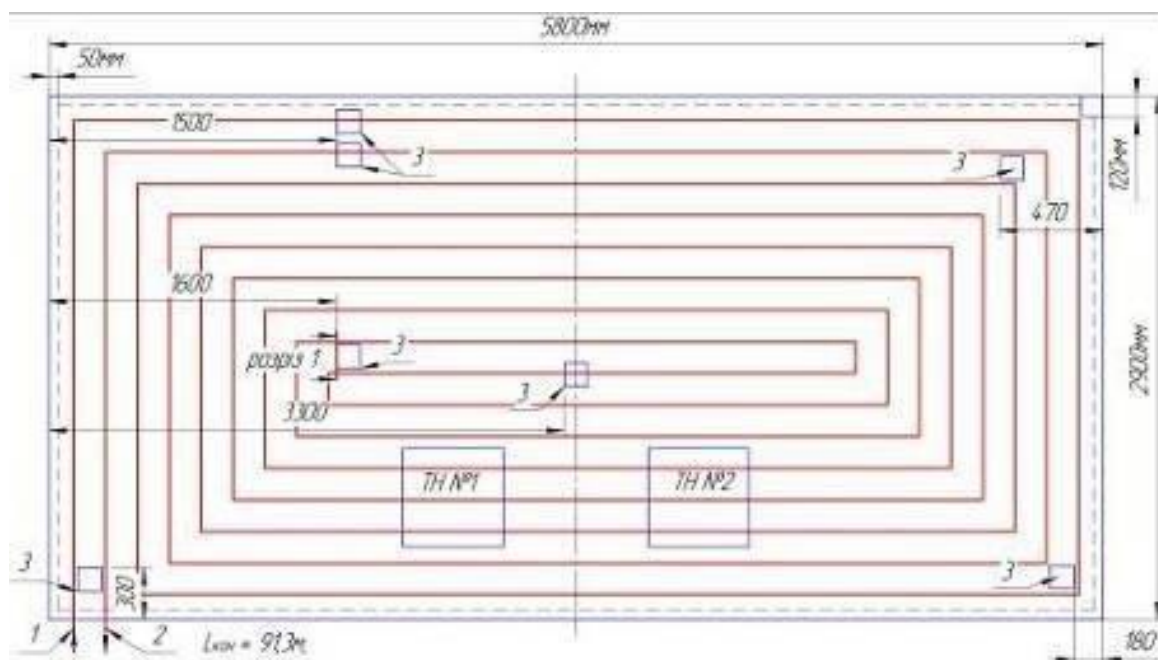


Рис. 4.4. План опалювального контуру приміщення



Рис. 4.5. Покрокове створення системи опалення

На рис. 4.5 наведені фото покрокового створення системи опалення для аналізування теплового режиму приміщення.

Експериментальні дослідження теплообмінних процесів між теплоносієм та повітрям, на різних рівнях між шарами підлоги та у контрольних місцях встановлені термометри опору та перетворювачі теплового потоку, загальною кількістю 28 шт (14+14).

Усі давачі через вторинні прилади УКТ-38 та перетворювачі сигналу, під'єднанні до ноутбука. А встановлене спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє виконувати функції автоматичного оброблення та зберігання даних у архівах.

З метою запобігання втрати даних під час експериментів у випадку аварійного вимкнення електроживлення система контрольно-вимірювальних приладів під'єднана до мережі з використанням пристрою безперебійного живлення, що дозволяє організувати автономну роботу впродовж 12 годин.

4.2. Методика експериментальних досліджень теплового стану

Перед виконанням досліджень контури опалення та ГТО ТНУ були випробовані на герметичність. Контур опалення попередньо заповнювався водою до значення робочого тиску в системі 0,2 МПа. Теплоносієм трубопроводів ґрунтового колектора ТНУ був розчин на основі пропіленгліколю, що повністю відповідає вимогам санітарно-гігієнічного законодавства України. Із використанням насоса контур теплообмінника заповнювався теплоносієм з ємності до значення робочого тиску в 0,1 МПа.. Перед ввімкненням одного із теплових джерел (ТН або електричного водонагрівача) із використанням лічильників потрібно обов'язково переконатись у наявності циркуляції теплоносія у контурах.

Дослідження нестационарного процесу теплообміну між теплоносієм, повітрям та ОК виконано серію дослідів із визначення теплотехнічних характеристик під час експлуатації підлогового опалення. Нестационарність процесів полягає в тому, що САК ТН вмикає компресор лише за необхідності підвищення комфортної температури у приміщенні.

Під час досліджень із використанням запірної арматури контур підлогового опалення об'єднували із ТН через бак-накопичувач та розширювальну ємність. Перед системою фанкойлів усі крани закривались, тобто використовувався лише теплообмінний підлоговий контур. ТН був увімкнений через окремий електричний лічильник, покази якого фіксувались для визначення енергетичного балансу приміщення за відповідних теплових режимів.

Робота ТН регулювалась штатним визначальним давачем температури повітря, що розміщений у приміщенні на стіні (на висоті від підлоги 1,5 метра), під час виконання експериментів встановлювались значення, що були попередньо визначені у минулому квазістационарному режимі з інтервалом у 4 доби.

4.3. Дослідження теплового режиму приміщення із низькотемпературними системами опалення

Під час виконання досліджень теплового режиму приміщення з низькотемпературними системами опалення проаналізована нестационарність процесів гідродинаміки та теплообміну, що пов'язана із специфікою періодичної роботи компресора ТН. Наголосимо, що амплітуда коливань температури теплоносія у системі становила орієнтовно 30°C за значення розрахункових втрат тепла приміщення 879 Вт (рис.4.6).

Нестационарні процеси доволі негативно впливають на експлуатаційні характеристики системи водяного підлогового опалення, а також на комфортність перебування у дослідному приміщенні. Графік стрибкоподібних змін температури поверхні підлоги наведено на рис.4.7 (1, 3 – над подавальним та зворотним трубопроводом; 2 – між ними).

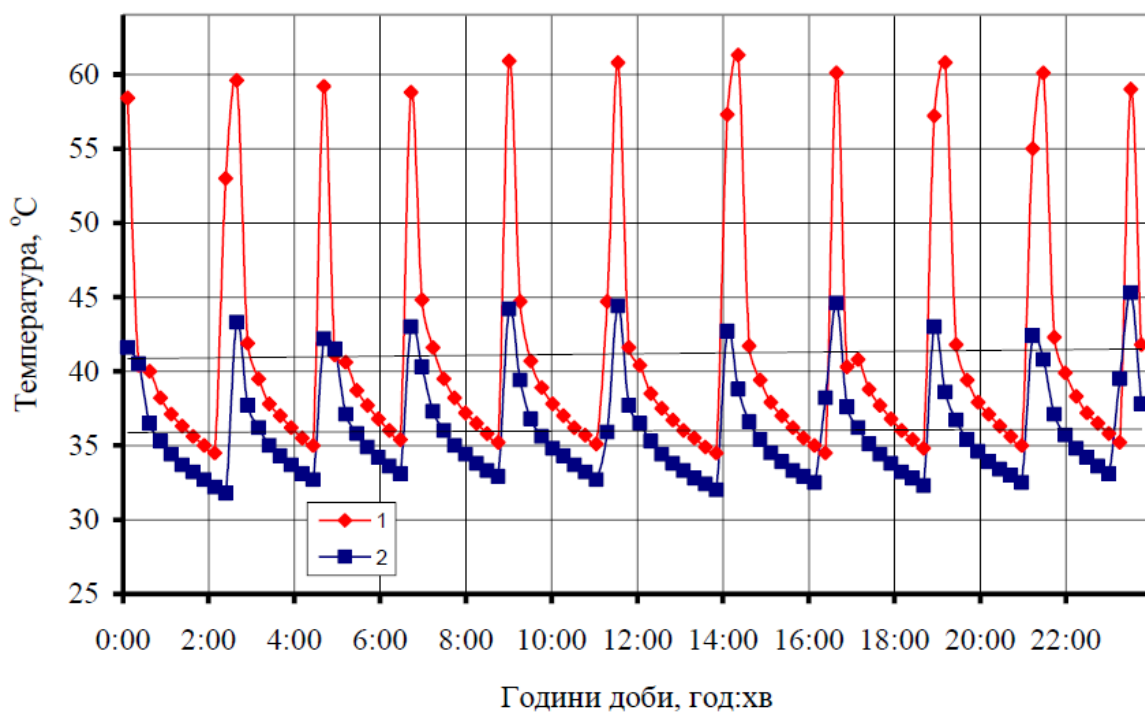


Рис. 4.6. Зміна температури теплоносія впродовж доби: 1 – на вході; 2 – на виході опалювального контуру

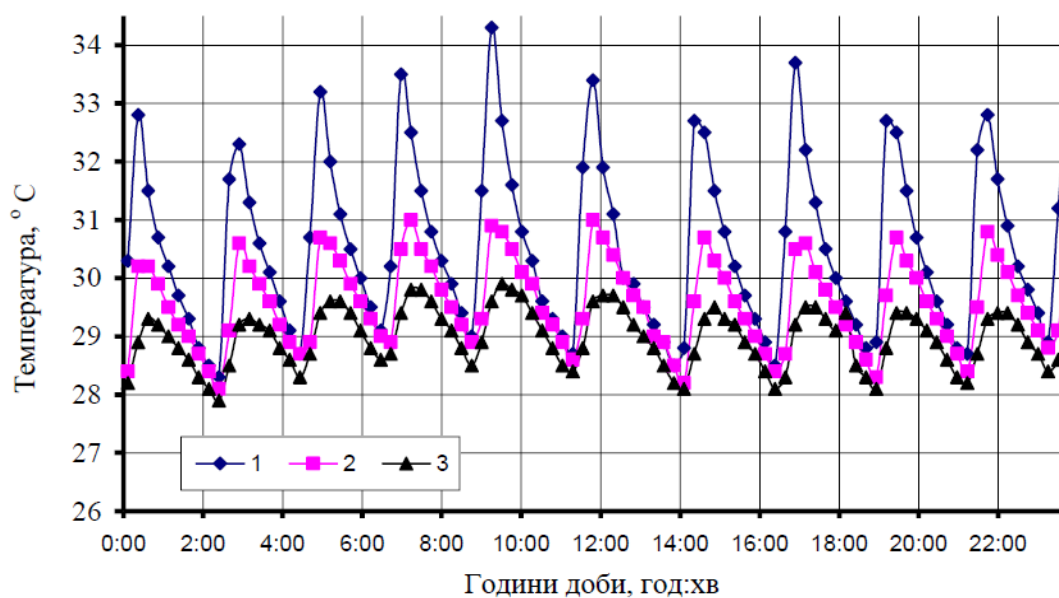


Рис. 4.7. Зміна температури поверхні підлоги

Графік зміни густини теплового потоку з поверхні підлоги наведено на рис.4.8 (1, 2 – над подавальним та зворотним трубопроводами).

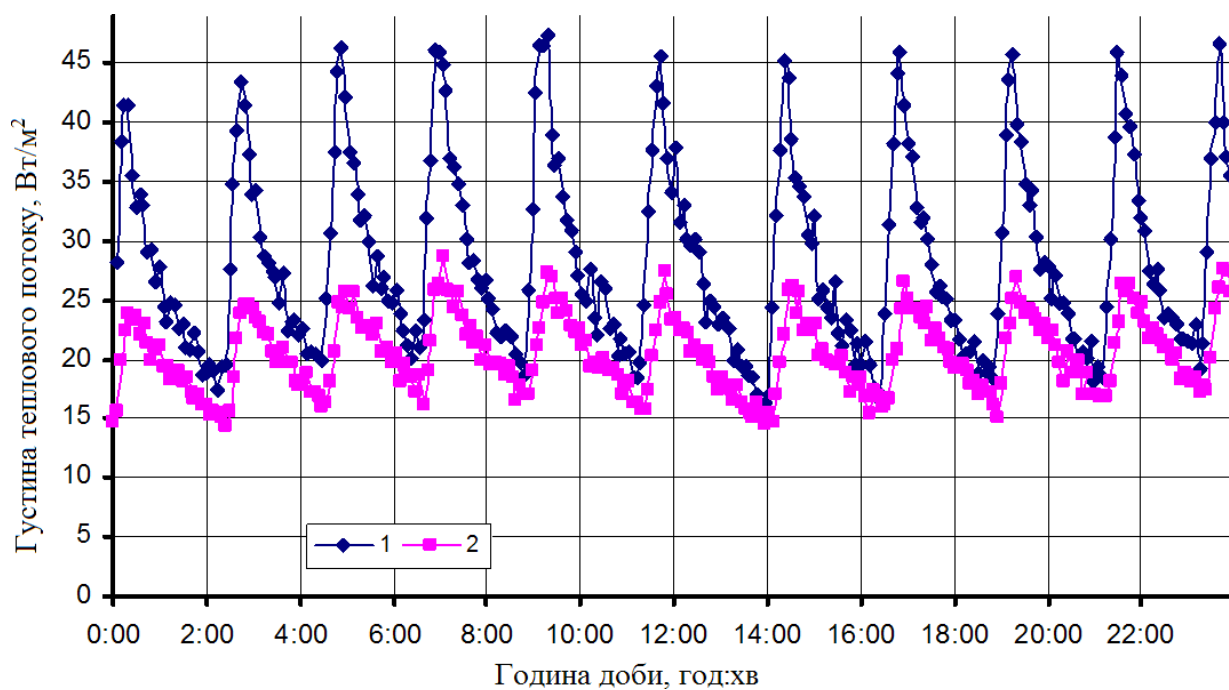


Рис. 4.8. Зміна густини теплового потоку

Під час досліджень аналізувався розподіл температури повітря вздовж всієї висоти приміщення за максимальних (1) та мінімальних (2) значень теплоносія (рис. 4.9).

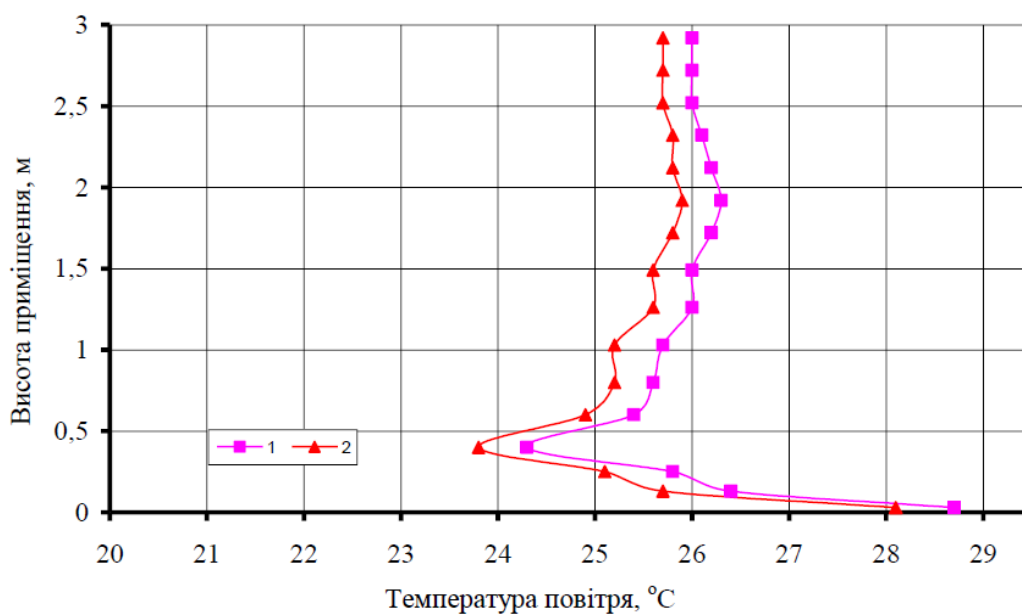


Рис. 4.9. Розподіл по висоті приміщення температури повітря

За допомогою термограм, знятих тепловізором Fluke 50i, проілюстровано нерівномірність температурного поля за різних режимів роботи системи опалення (рис. 4.10 – 4.12).

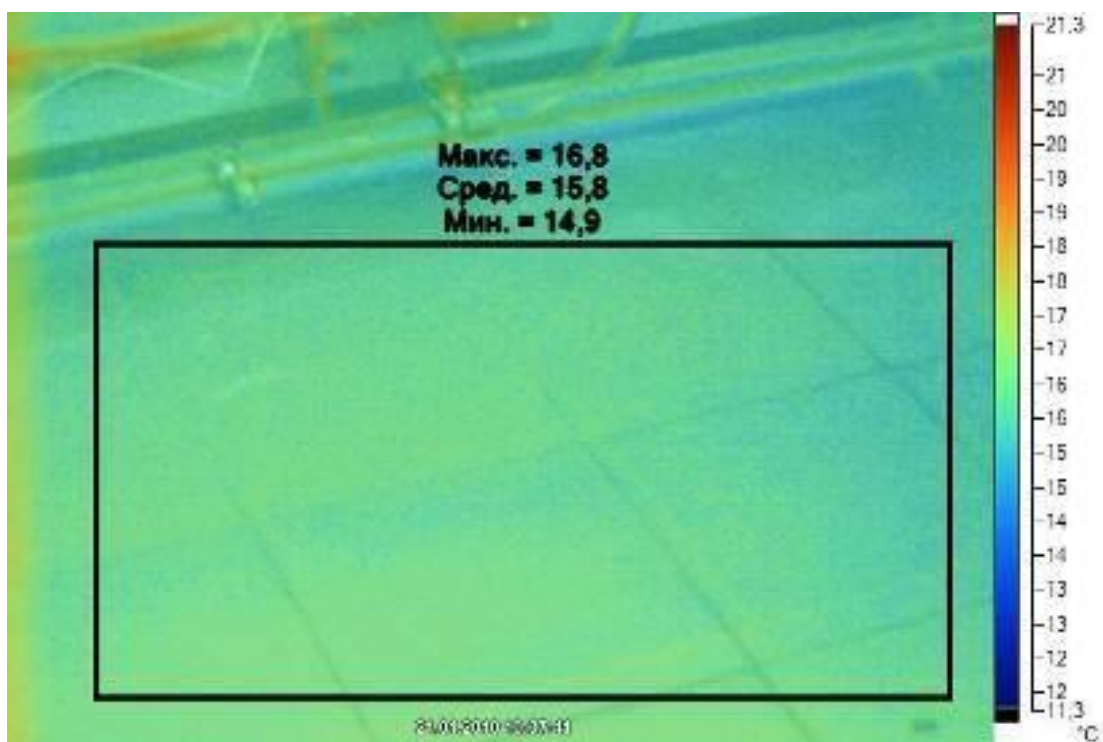


Рис. 4.10. Термограма підлоги за $T_{II} = 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (опалення вимкнене)

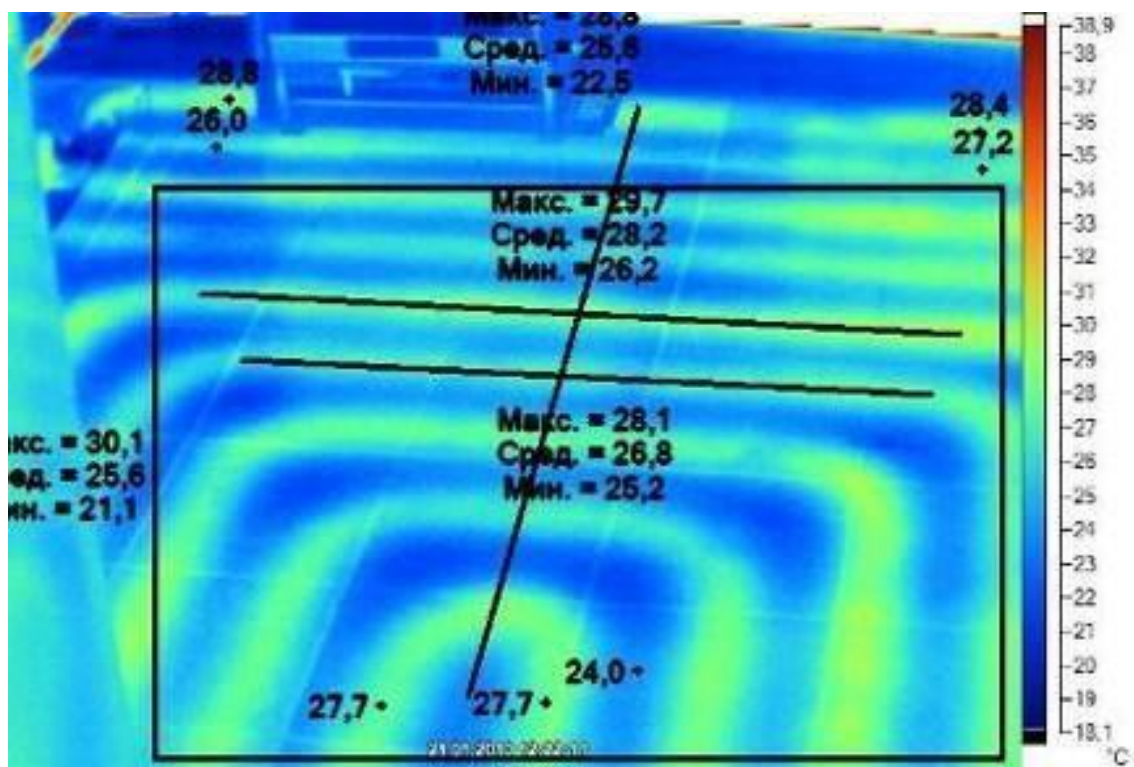


Рис. 4.11. Термограма підлоги за $T_{II} = 25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

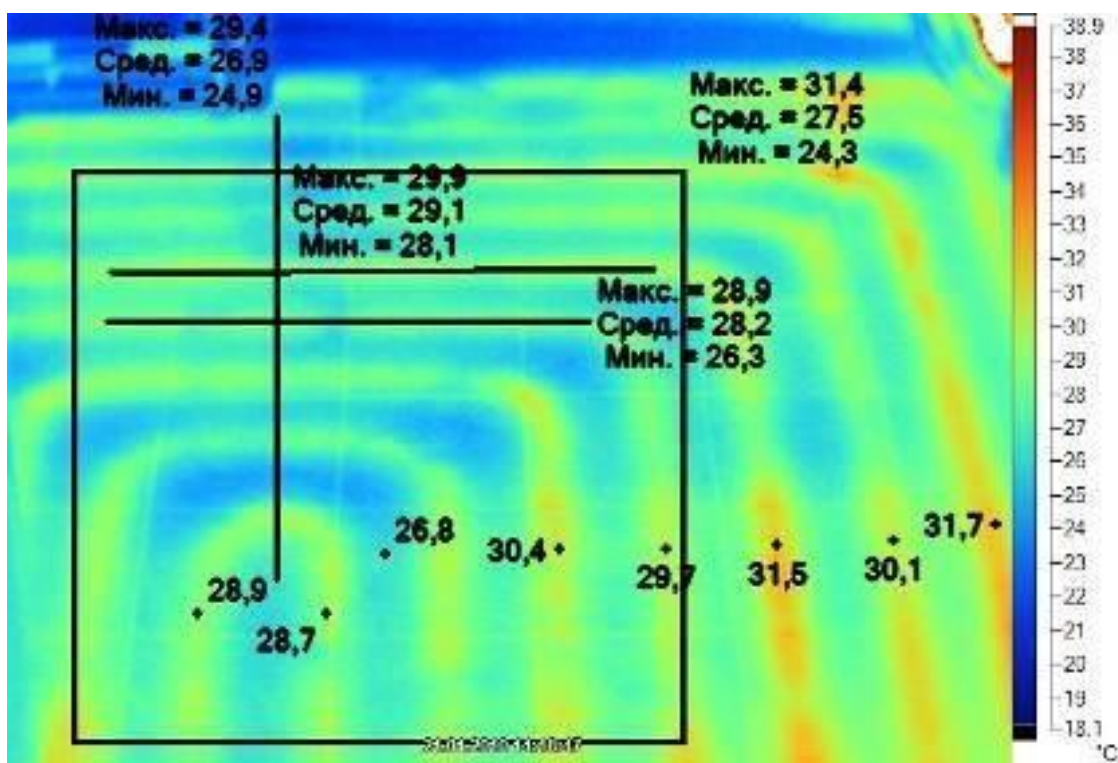


Рис. 4.12. Термограма за ввімкненої підлоги (експлуатаційний режим)

Для зменшення інтенсивності варіювання теплових параметрів системи опалення перед опалювальним контуром встановлювались розширювальні накопичувальні баки, що дозволяють збільшити інерційність теплообмінних процесів.

Також передбачене встановлення перед контурами вузлів змішування із зворотним теплоносієм. Це дозволяє системі підлогове опалення постійно функціонувати у квазістаціонарному режимі, незалежно від застосування джерела теплоти.

4.4. Експериментальні дослідження квазістаціонарного режиму теплообміну під час експлуатації низькотемпературних систем опалення

Експериментальні дослідження виконувались групами за різного теплового навантаження та різних гідравлічних режимів. Теплове навантаження, значення якого становило 0,6; 0,8 та 1 кВт визначалось відповідно до показів лічильника,

встановленого перед контуром системи підлогового опалення.

Кожен дослід виконували за різних режимів течії теплоносія опалювального контуру, зокрема за ламінарного ($Re < 2320$) та перехідного ($Re \approx 4500$). Шляхом зміни частоти обертання ротора насоса варіювали значення швидкості руху теплоносія, котрий реєстрував тепловий лічильник.

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 4.13 – 4.18.

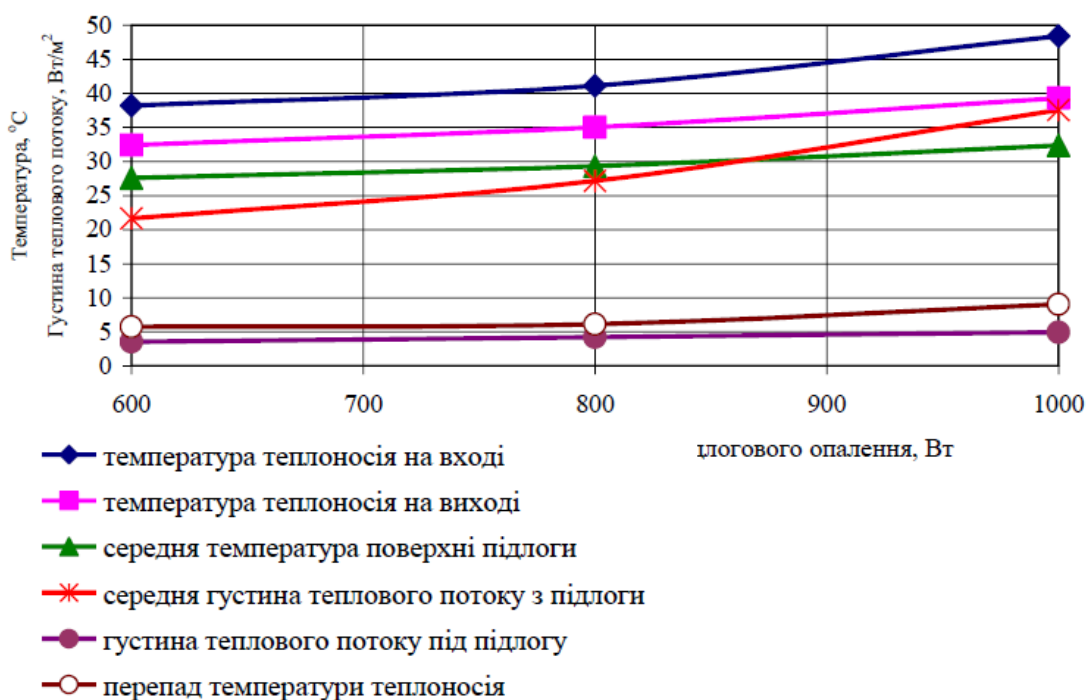


Рис. 4.13. Характеристики системи підлогового опалення під час експлуатації

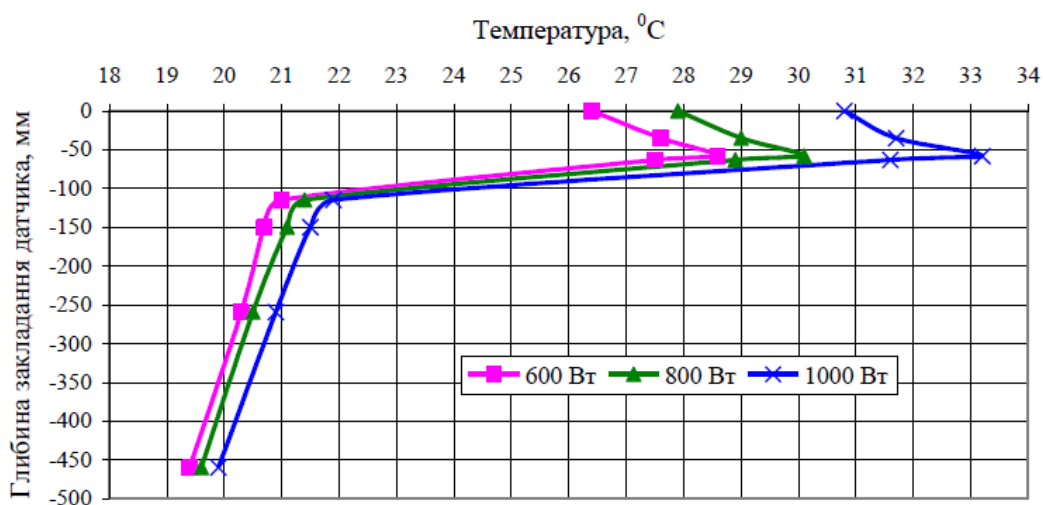


Рис. 4.14. Графік зміни температури шарів системи за різного теплового навантаження

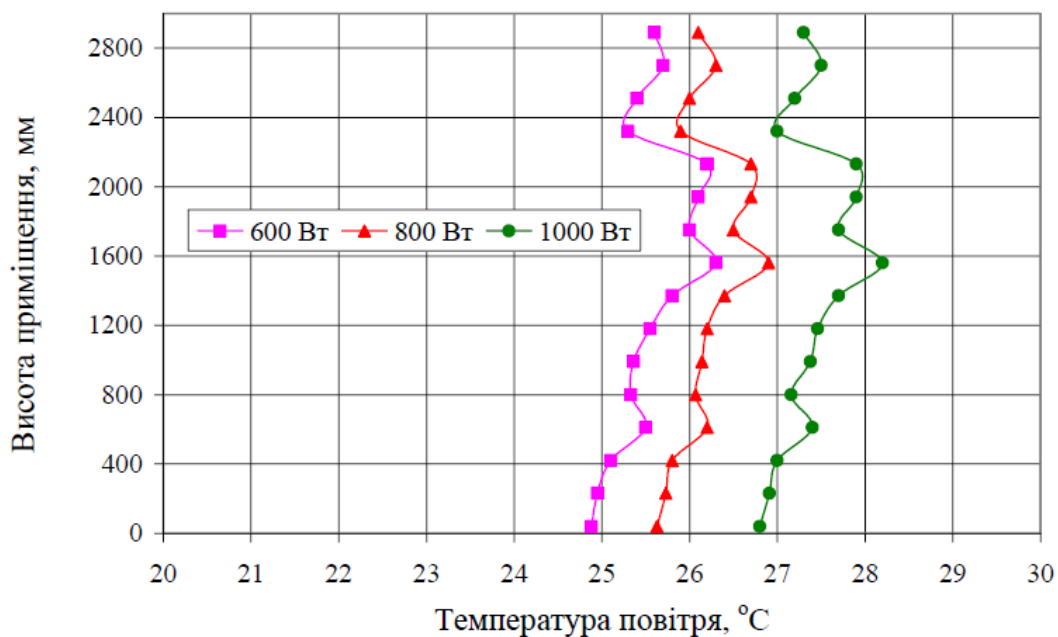


Рис. 4.15. Графік зміни температури за різного теплового навантаження по висоті

На рис. 4.16. наведено графік зміни температури теплоносія від теплового навантаження системи підлогового опалення. У випадку зростання значення теплової потужності відповідно зростає різниця вхідної та вихідної температур теплоносія.

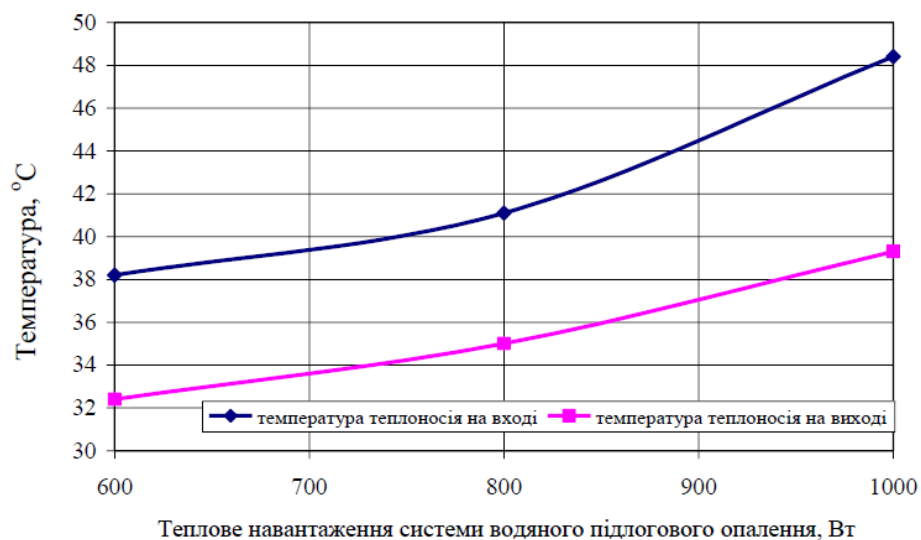


Рис. 4.16. Графік залежності температури теплоносія від теплового навантаження

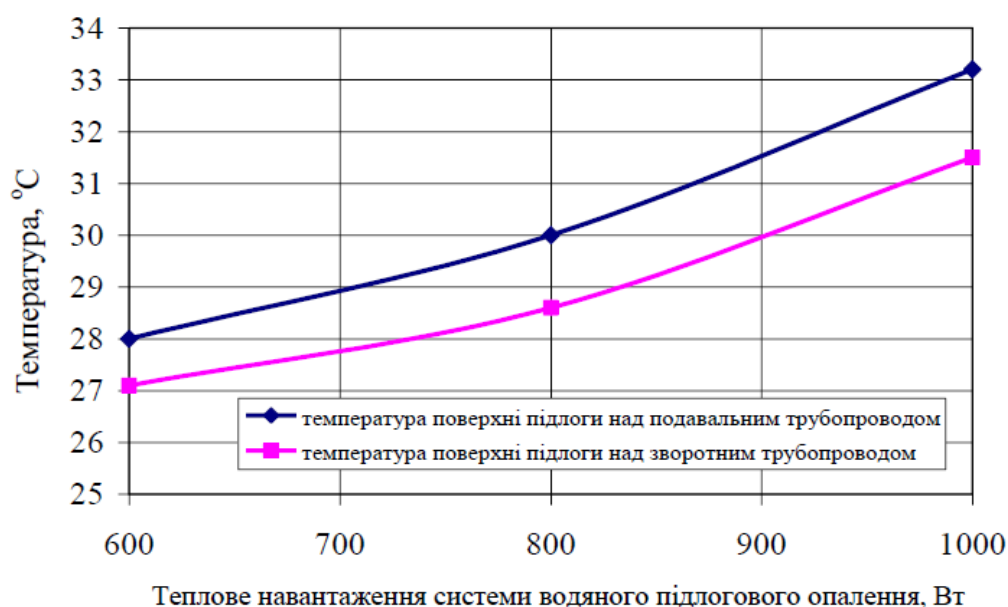


Рис. 4.17. Графік залежності температури поверхні підлоги від теплового навантаження

На рис. 4.17 наведено зміну густини теплового потоку у перерізі системи підлогового опалення вздовж осі подавального контуру залежно від теплового навантаження.

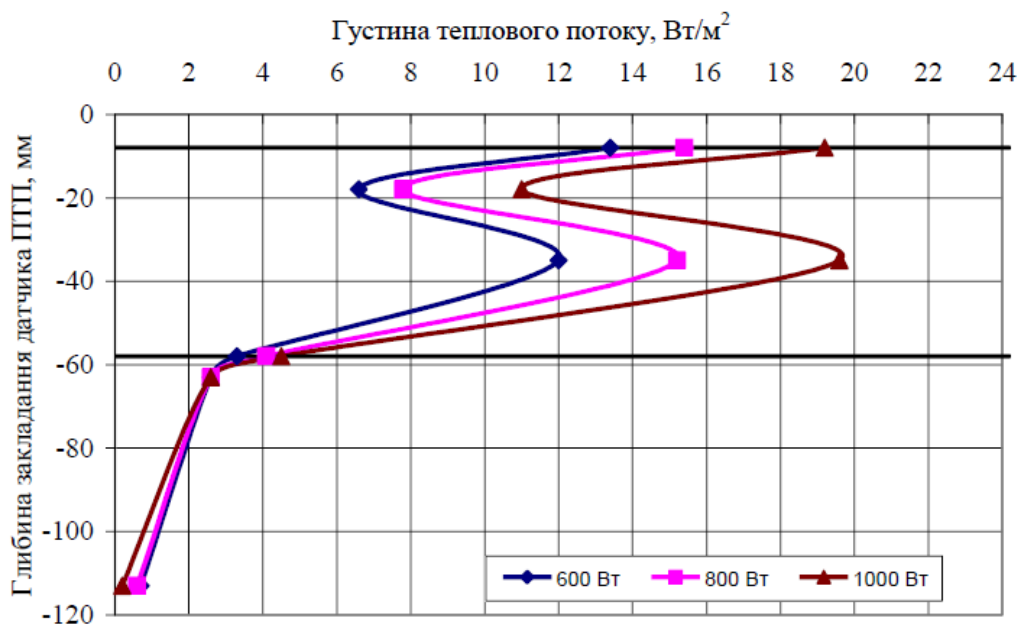


Рис. 4.18. Графік густини теплового потоку від поверхні підлоги

На рис. 4.18 наведено графік зміни густини теплового потоку перерізу системи опалення між контурними трубами.

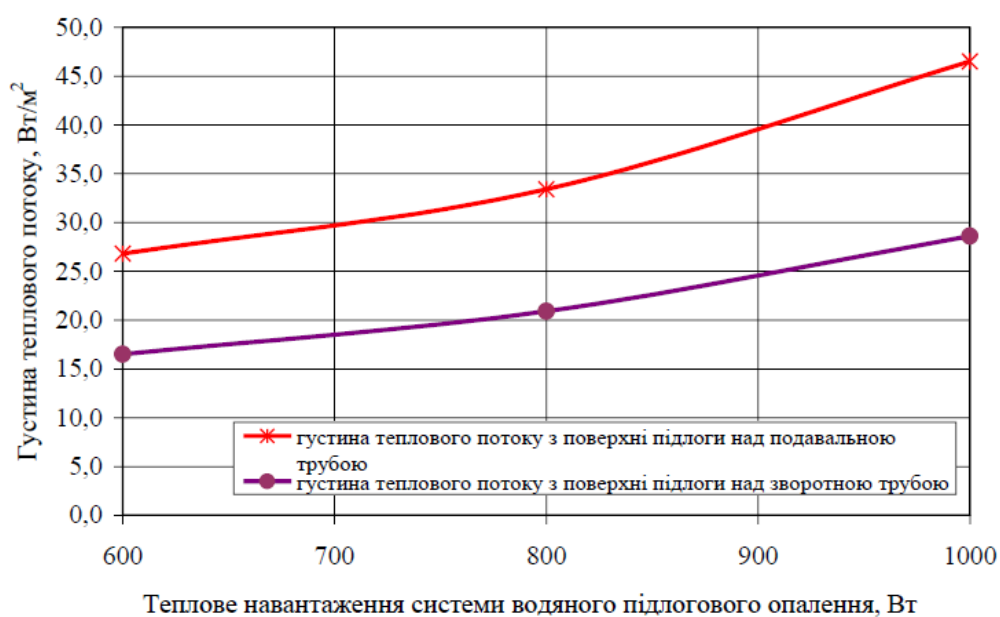


Рис. 4.19. Графік зміни густини теплового потоку від поверхні підлоги до приміщення

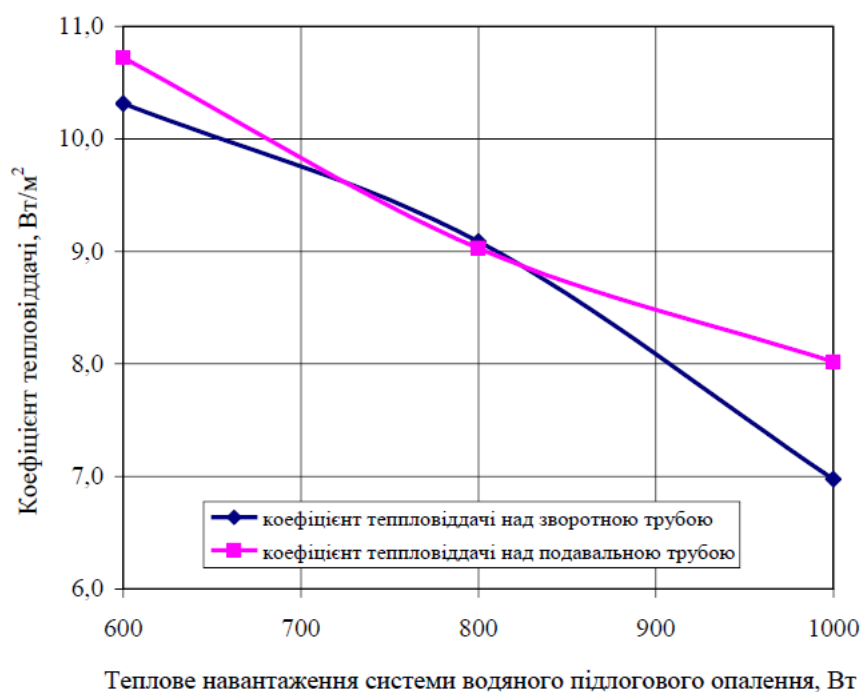


Рис. 4.20. Графік зміни коефіцієнтів тепловіддачі поверхні підлоги

Висновки до розділу 4.

1. Розв'язання задачі складного теплообміну дозволило визначити графік розподілу температури пошарово системи опалення підлоги та повітря в приміщенні. Апробація експериментальної моделі підтвердила високе узгодження обчислених значень теплових параметрів підлоги пошарово.

2. Дослідження графіків зміни параметрів системи підлогового опалення підтвердило зростання густини теплового потоку у разі зростання значень температури подавання теплоносія, діаметра труби та зменшення міжосьового кроку укладання контурних труб.

3. Впровадження запропонованого вимірювального комплексу дозволило зменшити значення відносної похибки величин, що вимірювались, на рівень до 4 %.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена задачі виявлення шляхів підвищення рівня теплової ефективності будівель шляхом впровадження низькотемпературних опалювальних систем:

1. Складність та значна варіативність методик розрахунку параметрів теплового режиму обумовлена аналітичною важкістю опису та великою кількістю емпіричних коефіцієнтів. Доцільним є сумісне використання спеціального програмного забезпечення та результатів експериментальних досліджень для коректного створення моделей розрахунку теплового режиму.

2. Виявлена відсутність затвердженої нормативно-правової бази, яка визначає методику розрахунку параметрів теплового режиму приміщень із використанням різних типів опалення, зокрема: підлогового водяного або повітряного із впровадженням теплонасосних установок. Аналіз літературних джерел показав неможливість та нагальну необхідність побудови концептуальних передумов для розроблення енергоефективних та пасивних будівель із покращеними експлуатаційними можливостями та рівнем теплового комфорту.

3. Розв'язання задачі складного теплообміну дозволило визначити графік розподілу температури пошарово системи опалення підлоги та повітря в приміщенні. Апробація експериментальної моделі підтвердила високе узгодження обчислених значень теплових параметрів підлоги пошарово.

5. Дослідження графіків зміни параметрів системи підлогового опалення підтвердило зростання густини теплового потоку у разі зростання значень температури подавання теплоносія, діаметра труби та зменшення міжосьового кроку укладання контурних труб.

6. Виконаний техніко-економічний аналіз довів найнижче значення річних експлуатаційних витрат та найвищу енергетичну ефективність системи водяного підлогового опалення на базі теплонасосної установки у порівнянні з класичними підходами. Отримані результати можуть бути використані під час побудови енергоефективних низькотемпературних систем опалення енергоефективних будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. O. Reyes, H. Lara, E. Robles. Abnormal failure rate on high voltage current transformers affected by environmental condition. Conference record of the 2008 IEEE international symposium on electrical insulation. Vancouver, BC, Canada, 243.
2. Kleiboesem Bas A., Kleiboesem A., Diepstraten F.M. How we can make more efficient use of energy? *Elektrizitaswirtschaft*. 2011. Vol. 91, №18. P. 1231 – 1218.
3. Rid R., Bilos A., Wilkinson S., Shalti K. International comparison of sustainable construction. *Johrse*. 2009. №1. P. 1231 – 1218.
4. Hirst E., Clinton J., Celler H., Kroner W. *Energy Efficiency in Buildings: Progress and Promise*. American Council for an Energy. Efficient Economy. Washington. 1986. 305 p.
5. Houghton J. *Global Warming: The Complete Briefing*. Cambridge University Press. 1997. 251 p.
6. Konya A. *Design primer for hot climates*. London: The architectural Press. 1980. 132 p.
7. Heerwagen J., Diamond R. *Adaptations and Coping: Occupant Response to Discomfort in Energy Efficient Buildings*. Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. 1992. P. 10.83 - 10.90.
8. Labhard E., Binz A., Zanoni T. *Erneuerbare Energien und Archirectur - Fragestellugen im Entwurfsprezess - ein Leitfaden*. Bundesamt fur Konjunktur- fragen. Bern. EDMZ Best. 1995. Nr. 724.251 D. - 86 p.
9. *Renewable sources of energy. Plan for the implementation and promotion of technologies for the period up to 2020*. EREC, Renewable Energy House. Brussels. 2009.
10. Roaf S., Crichton D., Nicol F. *Adapting Buildings and Cities for Climate Change. A 21st Century Survival Guide*. Oxford. UK: Burlington. USA: Elsevier, 2009. 385 p.
11. Дубовик В.С. Стан комунальної теплоенергетики України. *Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації*. К. 2007. С. 22 – 39.

12. Hastings S.R., Morck O. Solar Air Systems. A Design Handbook. London: James and James. 2000. 286 p.
13. Norbet L. Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects. New Jersey. USA: John Wiley and Sons Inc. 2009. 696 p.
14. Brown G.Z., Dekay Mi Sun, Wind and Light: Architectural Design strategies. New York. Chichester. John Wiley. 2001. 382 p.
15. Goulding J.R., Lewis J.O. Passive solar building design. Energy Efficient buildings. London: James and James. 1993. P. 27 – 31.
16. Мазуренко А.С., Климчук А.А., Юрковский С.Ю., Омеко Р.В. Разработка схемы комбинированной системы теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистем. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №8(73). С. 17 – 20.
17. Vajen K., Krämer M., Orths R., Boronbaev E.K. Solar Absorber System for Preheating Feeding Water for District Heating Nets Proc. ISES Solar World Congress. Jerusalem. Vol III. P. 90 – 91.
18. E.A. Concept of a Solar Absorber System for Preheating Feeding Water for District Heating Nets Proc. EuroSun 98. Slovenia Portoroz. Vol. 2. P. 251 – 256.
19. Клер А.М., Мариненко А.Ю. Сопоставление эффективности использования низкотемпературной теплоты для комбинированной теплопроизводящей установки с тепловым насосом. Сб. Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. 2003. Т. 2. С. 278 – 283.
20. Evans B.L., Klein S.A., Duffie J.A. A Design Method of Activ-Passive Hibrid Space Heating Systems. Solar Energy. 1985. Vol. 35. №2. P. 89 – 197.
21. Oussama Ibrahim, Farouk Fardoun, Rafic Younes, Hasna Louahli-Gualous. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. Building and Environment. 2014. Vol. 72. P. 259 – 286.
22. Полунин Ю. Н. Оптимизация основных параметров низкотемпературных систем отопления зданий с усиленной тепловой защитой наружных ограждений. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2013. №50. С. 245 – 250.

23. Скребнев А.Ф., Полунин Н.Н. Эксплуатационные режимы традиционных и низкотемпературных систем отопления зданий с усиленной тепловой защитой при совместной работе. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2013. №51. С. 249 – 253.

24. Басок Б.И., Беляева Т.Г., Рутенко А.А., Лунина А.А. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения. Пром. теплотехника. 2008. Т. 30. №4. С. 56 – 63.

25. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Гнедой Н.В., Иваненко Г.В., Юрчук В.Л., Гнедаш Г.А. Энергетическая эффективность комбинированных систем традиционного и электрического отопления зданий. Пром. теплотехника. 2011. №5. Т. 33. С. 66 – 73.

26. Boronbaev E.K. Solar - Thermal Supply and Energy Saving Architecture of Buildings. Applied, Optics and Solar Energy. Czech Republic. Prague. 1989. P. 296 – 299.

27. Казаков Г.В. Принципы совершенствования гелиоархитектуры. Львов: СВИТ. 1990. 152 с.

28. Heerwagen J., Diamond R. Adaptations and Coping: Occupant Response to Discomfort in Energy Efficient Buildings. Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. 1992. P. 10.83 – 10.90.

29. EN 832. Thermal Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Heating - Residential Buildings. Brussels: European Committee for Standardization. 1998. 46 p. (The corrigendum EN 832: 1998 / AC: 2000. 4 p.)

30. Labhard E., Binz A., Zanoni T. Erneuerbare Energien und Archirectur - Fragestellugen im Entwurfsprezess - ein Leitfaden. Bundesamt fur Konjunktur- fragen. Bern. EDMZ Best. 1995. Nr. 724.251 D. 86 p.

31. Olgyay V. Design with climate. Princeton: Princeton University Press. 1963. 218 p.

32. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of thermal processes. New York: John Wiley and Sons. 1991. 919 p.

33. Goulding J.R., Lewis J.O. Passive solar building design. Energy Efficient

buildings. London: James and James. 1993. P. 27 – 31.

34. Hastings R., Hestnes A.G., Saxhof B. Solar Energy Houses: Strategies, Technologies, examples. London: James and James, 1997. 170 p.

Vajen K., Orths R., Boronbaev E.K. Solartechnick in Mittelasien. Sonnen Energie, München. 1997. P. 40 – 41.

35. Інженерне обладнання будівель і споруд. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2013. – 147 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕНЬ РІЗНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Основною перевагою теплонасосних систем є те, що завдяки ним з'являється можливість отримання теплоти для практичного використання (забезпечення теплового режиму приміщень будівлі) необхідного потенціалу при використанні відомих низькопотенційних природних джерел теплоти. Енергетична досконалість роботи ТН характеризується коефіцієнтом перетворення, тобто відношенням теплової продуктивності до ефективної потужності (для парокомпресійних теплових насосів електричної потужності), що споживається установкою. Коефіцієнт продуктивності ТН (COP) залежить від рівня теплового потенціалу холодного джерела теплоти і від заданого температурного рівня теплоносія для системи опалення. Чим менша різниця температур теплоносіїв в контурах ТН, тим більше значення COP.

Для сучасних конструкцій ТН COP становить близько 3...5 одиниць, і визначається раціональним поєднанням параметрів джерела теплоти низького потенціалу, достатньої енергоємністю останнього, а також необхідних для споживача параметрів теплоти. Для системи водяного підлогового опалення достатня температура теплоносія становить близько 30...35°C, при застосуванні фанкойлів необхідний рівень температур теплоносія становить 40...50°C, тоді як для традиційних систем опалення із радіаторами початкова температура теплоносія має бути понад 50...70°C. Враховуюче вищезазначене, в залежності від системи опалення в складі якої буде працювати теплонасосна установка, COP теплового насосу буде мати різні значення. Відповідно, енерговитрати на привід компресора ТН пропорційно збільшаться. Це обов'язково має враховуватись при визначенні експлуатаційних витрат в економічних розрахунках.

Метою наступного економічного дослідження є проведення аналізу техніко-економічних показників при експлуатації теплонасосної установки із різними системами опалення в порівнянні з тими, що використовують природний газ або

електроенергію.

В ході роботи використовувався метод дисконтованого потоку готівки для оцінювання економічної ефективності застосування різних систем опалення з теплонасосною установкою. Також проведене порівняння досягнутого розрахункового економічного ефекту з аналогічними, при експлуатації еквівалентних систем тепlopостачання на основі електричного і газового котлів.

Як об'єкт, що досліджується, розглядається експериментальна теплонасосна установка, що забезпечує теплотою частину адміністративно- лабораторного корпусу будівлі. Основним елементом установки є ТН типу «грунт-рідина» IVT Greenline HT Plus C (Швеція) із вихідною тепловою потужністю 6 кВт, що використовує низькопотенційний контур (грунтовий горизонтальний колектор). Вибір такої теплової потужності для порівняльного економічного аналізу обумовлений тим, що її достатньо для підтримання комфортних теплових умов в індивідуальних енергоефективних будинках з житловою площею 200 - 250 м². Це відповідає сучасним будівлям котеджного типу середнього соціального прошарку населення (тепловтрати 40...60 Вт/м² від житлової площі будинку).

Розміри капітальних витрат (брутто) на ТН з ґрунтовим колектором і різними системами опалення, а також на проведення монтажу електричного котла з підключенням до мережі електропостачання і монтаж газового котла з підключенням до мережі газопостачання наведені нижче та зведені у таблиці А.1.

Капітальні витрати на теплонасосну установку (6 кВт).

Вартість теплового насосу – 125 тис. грн.

Монтаж внутрішніх мереж низькопотенційного контуру, монтаж ґрунтового колектора, земляні роботи, матеріали – 43 тис. грн.

Разом – 168 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж електричного котла (6 кВт).

Вартість електричного котла – 12 тис. грн.

Підключення котла до мережі електропостачання потужністю 6 кВт (вартість приєднання, проектування, монтаж) – 22 тис. грн.

Разом – 34 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж газового котла (7 кВт).

Вартість газового котла – 28 тис. грн.

Підключення котла до мережі газопостачання (технічні умови УЕГГ, проектування, монтаж) – 36 тис. грн.

Разом – 64 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж системи опалення радіаторного типу.

Вартість радіаторів (6 шт.) – 18 тис. грн. Монтажні роботи, труби, фітинги – 18 тис. грн. Разом – 36 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж фанкойлів.

Вартість фанкойлів (3 шт.) – 34 тис. грн. Монтажні роботи, труби, фітинги – 8 тис. грн. Разом – 42 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж підлогової системи опалення.

Матеріали (труба, теплоізоляція, цементний розчин, керамічна плитка) – 32 тис. грн.

Монтажні роботи (укладання труби, заливка, підключення – 26 тис. грн. Разом – 58 тис. грн.

Також існують системи теплозабезпечення, що можуть працювати без системи опалення, як такої, що можна окремо відокремити. Це електричні та газові конвектори прямого нагрівання повітря в приміщенні. Капітальні витрати на такі системи будуть найнижчими.

Капітальні витрати на монтаж системи опалення з електричними конвекторами (6 кВт).

Вартість електричних конвекторів (4 шт.) – 18 тис. грн.

Підключення до мережі електропостачання потужністю 6 кВт (вартість приєднання, проектування, монтаж) – 22 тис. грн.

Разом – 40 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж системи опалення з газовими конвекторами (6 кВт).

Вартість газових конвекторів (2 шт.) – 26,3 тис. грн.

Підключення конвекторів до мережі газопостачання (технічні умови УЕГГ,

проектування, монтаж) – 36 тис. грн. Разом – 62,3 тис. грн.

Капітальні витрати на монтаж електрокабельного підлогового опалення (6 кВт).

Таблиця А.1. Капітальні витрати на спорудження систем теплозабезпечення, грн.

Система опалення Теплогенеруюче енергетичне обладнання		Вартість, грн.	Підлогове опалення	Радіатори	Фанкойли
			58000	36000	42000
Теплонасосна установка	тепловий насос (6 кВт)	125000	226000	204000	210000
	низькопотенційний контур, ґрунтовий колектор, земляні роботи	43000			
Газовий котел	газовий котел (7 кВт)	28000	122000	100000	106000
	підключення до газових мереж	36000			
Електричний котел	електричний котел	12000	92000	70000	76000
	підключення до електричних мереж	22000			
Електроконвектори	конвектори (6 кВт)	18000	40000		
	Підключення до електричних мереж	22000			
Газові конвектори	конвектори (6 кВт)	26300	62300		
	підключення до газових мереж	36000			
Електрокабельне підлогове опалення	електрокабель (6 кВт)	19200	49700		
	монтаж	8500			
	підключення до електричних мереж	22000			

Вартість електрокабельної системи опалення (6 кВт) – 19,2 тис. грн.
 Монтаж електрокабельної системи підлогового опалення – 8,5 тис. грн.
 Підключення до мережі електропостачання потужністю 6 кВт (вартість приєднання, проектування) – 22 тис. грн.
 Разом – 49,7 тис. грн.

Різницею капітальних вкладень між витратами на спорудження різних систем теплозабезпечення є додаткові капітальні вкладення на енергоощадні заходи, оскільки такі вкладення призводять до зменшення експлуатаційних

витрат системи теплопостачання.

Відмінною складової експлуатаційних витрат при використанні ТН в порівнянні з системою електрообігрівання є витрати на електроенергію, так як енергоспоживання ТН залежить від системи опалення, про що було зазначено вище. У таблиці 8.2 наведене споживання електроенергії та витрати на неї для теплових насосів (прийнято: $COP = 3, 4, 5$ – в залежності від системи опалення), і електричного котла (з ККД 95%) по місяцях (в залежності від тепловтрат приміщень) і протягом року, а також приведені споживання природного газу котлом при покритті однакових теплових навантажень (прийнято: нижча теплота згоряння газу – 34 МДж/м^3 н і ККД газового котла – 85%). Наведені витрати теплоти при централізованому теплопостачанні в Гкал.

До розрахунку прийнято наступні тарифи для побутових споживачів: на електроенергію - 1,68 грн/кВт·год.; на теплову енергію - 2137,81 грн./Гкал.; ціна природного газу з врахуванням послуг з його розподілу – 9744,89 грн. за 1000 м³.

Для попередньої оцінки ефективності проекту визначимо простий термін окупності витрат, вкладених в енергоощадну технологію. Для цього послідовно розрахуємо значення чистого грошового потоку для кожного розрахункового року експлуатації системи. Для розглянутого проекту час експлуатації ТН без капітального ремонту умовно становить 25 років.

Якщо порівняти найбільш капіталовитратний варіант системи підтримання комфортних теплових умов в приміщенні – теплонасосну установку з підлоговим опаленням і самий дешевий варіант – електроопалення за допомогою конвекторів, то економія витрат на електроенергію при використанні теплового насосу становить 31770,98 грн. на рік.

Найбільш часто вживаним критерієм оцінки ефективності енергетичних проектів є простий термін окупності. Це період часу, необхідний щоб доходи від проекту покрили (компенсували) витрати на нього. Оскільки різниця капіталовкладень між наведеними варіантами теплозабезпечення становить 126 тис. грн. (з врахуванням середнього терміну служби електроконвектора 5-7

років), то розрахунковий простий термін окупності додаткових капіталовкладень на енергоощадні заходи становить 3,9 року.

Таблиця Б.2. Експлуатаційні витрати

Місяць року Найменування		жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень	Разом	Витрати, грн./рік
Середньомісячна температура, °С		7,9	1,8	-2	-4,3	-3,3	1,3	8,9		
Середні розрахункові тепловтрати приміщень по місяцях, кВт		3,55	4,36	5,45	6,00	5,84	5,29	3,55		
Кількість годин роботи обладнання, год.		360	744	744	744	672	744	360	4368	
Навантаження на систему теплозабезпечення, кВт·год.		1276,36	3246,55	4058,18	4464,00	3922,04	3936,44	1276,36	22179,93	
Витрата електроенергії тепловим насосом, кВт·год	Радіатори	425,45	1082,18	1352,73	1488,00	1307,35	1312,15	425,45	7393,31	12420,8
	Підлогове опалення	255,27	649,31	811,64	892,80	784,41	787,29	255,27	4435,99	7450,8
	Фанкойли	373,09	923,24	1126,15	1227,60	1081,31	1095,71	373,09	6200,18	10416,3
Споживання електроенергії при електроопаленні, кВт·год.		1343,54	3417,42	4271,77	4698,95	4128,46	4143,62	1343,54	23347,29	39223,45
Споживання природного газу, м³ н		158,99	404,41	505,52	556,07	488,56	490,35	158,99	2762,90	26921,7
Споживання теплової енергії, Гкал		1,10	2,79	3,49	3,84	3,37	3,38	1,10	19,07	40768

Недоліком даного критерію оцінки є те, що не враховується цінність грошей у часі. З часом вплив інфляції і конкуренції змінює купівельну спроможність грошей: гроші, що отримані в даний час, мають більшу цінність, ніж гроші, що будуть отримані в майбутньому.

Для приведення у відповідність фінансових показників для різних періодів часу до величин, що зіставляються, вводиться коефіцієнт дисконтування, що враховує різні види інфляції, зміни процентної ставки, норми прибутковості і т.і. Він визначається на кожен розрахунковий рік як :

$$r = 1/(1 + i)^t, \quad (A.1)$$

де i – ставка дисконту, що включає суму банківської ставки, рівень інфляції і ризику проекту;

t – порядковий номер року в розрахунковому періоді.

Ставка дисконтування в розрахунках може бути прийнята на рівні облікової ставки НБУ, яка становить у 2022 році 25 %.

З урахуванням коефіцієнта дисконтування визначимо основні динамічні показники ефективності проекту – чисту дисконтовану вартість (NPV); динамічний термін окупності з урахуванням дисконтування потоків доходу; внутрішню норму рентабельності (IRR).

Чиста дисконтована вартість визначається як:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - Z_t}{(1 + i / 100)^t} - K \quad (A.2)$$

B_t – експлуатаційні витрати в базовому варіанті проекту, грн.;

C_t – експлуатаційні витрати в новому варіанті проекту, грн.

K – додаткові капіталовкладення, грн.

Проект ефективний при будь-якому позитивному значенні NPV, якщо $NPV = 0$, то доходи від проекту тільки окуплять вкладені кошти; якщо $NPV < 0$, проект є збитковим.

Результати розрахунків по роках представлені в таблиці А.3 і на рис. А.4.

У нашому випадку при $i = 25\%$ чистий дисконтований дохід проекту складе 34,8 тис. грн. Дисконтований (динамічний) термін окупності складає 8,5 років.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) є такою ставкою дисконту, при якій сумарне значення дисконтованих доходів дорівнює сумарному значенню дисконтованих капітальних вкладень

Розрахунок норми рентабельності використовується для початкового відбору проектів. Після її визначення для подальшого аналізу вибираються проекти з нормою рентабельності не нижче 15 – 20 %. Значення норми рентабельності більш наочно видно на графіку (рис. 8.4) залежності чистої поточної вартості від величини ставки дисконту. Для цього розраховані значення NPV при двох будь-яких значеннях i . У нашому випадку ці значення були розраховані для $i = 25\%$ та $i = 40\%$. Визначальне значення виходить в

точці перетину графіка з віссю абсцис, тобто $IRR = i$ при $NPV = 0$.

Таблиця А.3. Результати розрахунків чистого дисконтованого доходу

Рік	Додаткові капітальні витрати, грн.	Експлуатаційні витрати базового варіанту, грн.	Експлуатаційні витрати нового варіанту, грн.	Річна економія експлуатаційних витрат, грн.	Коефіцієнт дисконтування при $i_1=25\%$	Дисконтована річна економія експлуатаційних витрат, грн.	Чиста дисконтована вартість NPV_1 , грн.	Коефіцієнт дисконтування при $i_2=40\%$	Дисконтована річна економія експлуатаційних витрат, грн.	Чиста дисконтована вартість NPV_2 , грн.	Прогноз тарифу на електроенергію, грн.
0	126000	0	0	-126000	1	-126000	-126000	1	-126000	-126000	
1	0	7452,463	39223,45	31770,98	0,80000	25416,79	-96583,21	0,74074	23534,06	-102466	1,680
2	0	7825,086	41184,62	33359,53	0,64000	21350,10	-75233,11	0,54870	18304,27	-84161,7	1,764
3	0	8216,341	43243,85	35027,51	0,51200	17934,09	-57299,03	0,40644	14236,65	-69925	1,852
4	0	8627,158	45406,04	36778,89	0,40960	15064,63	-42234,40	0,30107	11072,95	-58852,1	1,945
5	0	9058,516	47676,35	38617,83	0,32768	12654,29	-29580,10	0,22301	8612,297	-50239,8	2,042
6	0	9511,441	50060,16	40548,72	0,26214	10629,60	-18950,50	0,16520	6698,454	-43541,3	2,144
7	0	9987,013	52563,17	42576,16	0,20972	8928,87	-10021,63	0,12237	5209,908	-38331,4	2,251
8	0	10486,36	55191,33	44704,97	0,16777	7500,25	-2521,38	0,09064	4052,151	-34279,2	2,364
9	0	11010,68	57950,9	46940,21	0,13422	6300,21	3778,82	0,06714	3151,673	-31127,6	2,482
10	0	11561,22	60848,44	49287,22	0,10737	5292,18	9071,00	0,04974	2451,301	-28676,3	2,606
11	0	12139,28	63890,86	51751,59	0,08590	4445,43	13516,43	0,03684	1906,568	-26769,7	2,737
12	0	12746,24	67085,41	54339,16	0,06872	3734,16	17250,59	0,02729	1482,886	-25286,8	2,873
13	0	13383,55	70439,68	57056,12	0,05498	3136,69	20387,28	0,02021	1153,356	-24133,5	3,017
14	0	14052,73	73961,66	59908,93	0,04398	2634,82	23022,10	0,01497	897,0544	-23236,4	3,168
15	0	14755,37	77659,74	62904,38	0,03518	2213,25	25235,35	0,01109	697,709	-22538,7	3,326
16	0	15493,14	81542,73	66049,59	0,02815	1859,13	27094,48	0,00822	542,6626	-21996	3,493
17	0	16267,79	85619,87	69352,07	0,02252	1561,67	28656,15	0,00609	422,0709	-21574	3,667
18	0	17081,18	89900,86	72819,68	0,01801	1311,80	29967,96	0,00451	328,2773	-21245,7	3,851
19	0	17935,24	94395,9	76460,66	0,01441	1101,91	31069,87	0,00334	255,3268	-20990,4	4,043
20	0	18832	99115,7	80283,69	0,01153	925,61	31995,48	0,00247	198,5875	-20791,8	4,245
21	0	19773,6	104071,5	84297,88	0,00922	777,51	32772,99	0,00183	154,457	-20637,3	4,458
22	0	20762,28	109275,1	88512,77	0,00738	653,11	33426,10	0,00136	120,1332	-20517,2	4,680
23	0	21800,4	114738,8	92938,41	0,00590	548,61	33974,71	0,00101	93,43693	-20423,7	4,914
24	0	22890,42	120475,7	97585,33	0,00472	460,83	34435,54	0,00074	72,67317	-20351,1	5,160
25	0	24034,94	126499,5	102464,6	0,00378	387,10	34822,64	0,00055	56,52358	-20294,6	5,418
NPV ₁ =							34822,64	NPV ₂ =		-20294,6	

При порівнянні систем опалення за допомогою електроконвекторів і теплонасосного опалення з водяним підлоговим опаленням внутрішня норма рентабельності (IRR) дорівнює 31,5 %, що свідчить про його належну економічну ефективність



Рис. А.1. Графік залежності чистого дисконтованого доходу від ставки дисконту

Також був розрахований економічний ефект при порівнянні почергово всіх наведених вище варіантів теплопостачання з енергоефективною теплонасосною технологією, а також порівнянні експлуатаційні показники теплонасосних установок різних систем опалення. Результати зведені у таблиці А.4 і на рис. А.5.

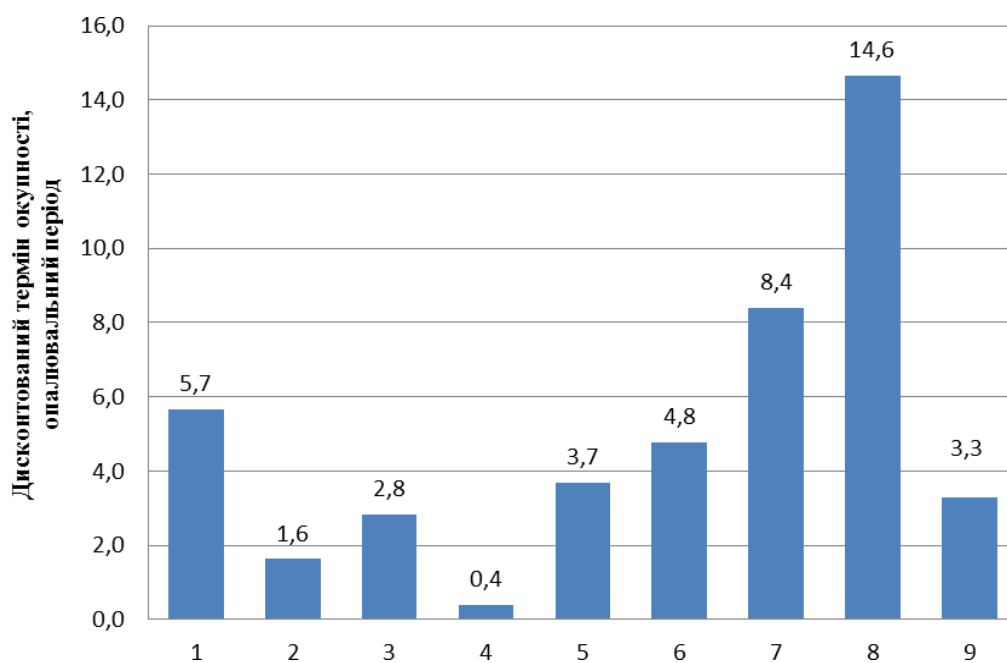
Виконаний розрахунок залежності дисконтованого терміну окупності теплонасосної установки з підлоговим опаленням (найбільш енергоефективна система теплозабезпечення) відносно газового котла з радіаторним опаленням (типова схема теплозабезпечення для індивідуальних будинків) від ціни на природний газ. При теперішніх тарифах на електроенергію для населення термін окупності не перевищує 6 років, що є прийнятним показником для стимуляції капіталовкладень в енергоефективні теплонасосні технології з боку населення. При збільшенні ціни на природний газ дисконтований термін окупності теплонасосної установки, не залежно від тарифу на електроенергію, асимптотично наближається до рівня 1,3 опалювальних періоди. Відповідно, цей термін є мінімальним досяжним терміном окупності.

При теплонасосному теплозабезпеченні економічно доцільніше застосовувати систему опалення з фанкойлами в порівнянні з системою водяного підлогового опалення. Додаткові витрати на монтаж підлогового опалення не

окупаються. Але система водяного підлогового опалення за рівнем комфортності і енергоефективності є найкращою.

Таблиця А.4. Норми рентабельності при значеннях ставки дисконту 25 %

Системи теплозабезпечення, що порівнюються		Тепловий насос			Електричний котел		Газовий котел		Газові конвектори	Електричні конвектори	Централізоване теплопостачання	Електрокабелісне підлогове опалення
		Підлогове опалення	Фанкойли	Радіаторне опалення	Підлогове опалення	Радіаторне опалення	Підлогове опалення	Радіаторне опалення				
Норма рентабельності теплонасосної установки, %	Підлогове опалення	-	13 Нерентабельно	22	47	40	46	33	22	36	Нерентабельно	40
	Фанкойли	13 Нерентабельно	-	36	48	44	54	42	31	38	24	44
Дисконтований термін окупності теплонасосної установки, опалювальних періодів	Підлогове опалення	-	-	17,8	2,5	4,2	2,5	7,0	16,9	5,7	-	4,2
	Фанкойли	-	-	5,7	1,6	2,8	0,4	3,7	8,4	4,8	14,6	3,3



а)

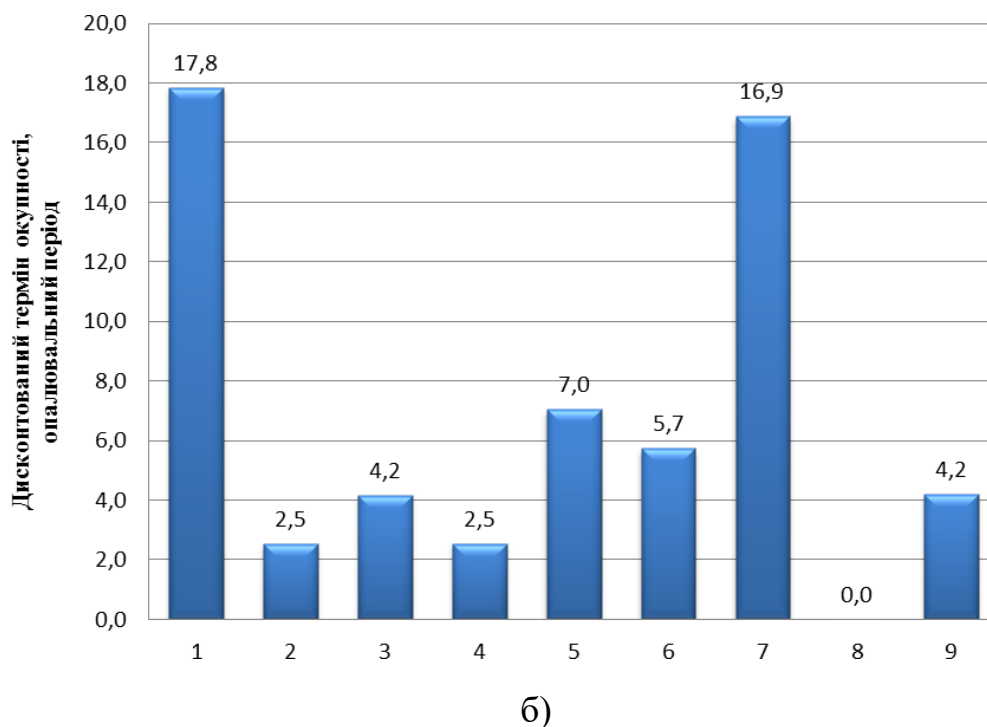


Рис. А.5. Дисконтований термін окупності теплонасосної установки з фанкойлами (а) та з підлоговим водяним опаленням (б) в порівнянні з системами: 1 – теплонасосна установка з радіаторним опаленням; 2 – електрокотел з підлоговим опаленням; 3 – електрокотел з радіаторним опаленням; 4 – газовий котел з підлоговим опаленням; 5 – газовий котел з радіаторним опаленням; 6 – система електричних конвекторів; 7 – система газових конвекторів; 8 – централізована система теплопостачання; 9 – електричне кабельне підлогове опалення.

Виходячи з результатів порівняльного економічного аналізу, можна зробити висновок, що теплонасосні установки з підлоговим опаленням мають найбільшу рентабельність при порівнянні з системами теплозабезпечення на основі електро- або газового котла із підлоговим опаленням, чи з електричним підлоговим опаленням.

ДОДАТОК Б. ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Аналіз показав, що під час роботи енергоменеджера при обслуговуванні систем енергопостачання житлової будівлі на нього можуть впливати шкідливі і небезпечні фактори:

- фізичні (параметри мікроклімату, недостатнє освітлення, рівень шуму, вібрація, випромінювання, ураження електричним струмом, пожежна безпека, безпека вибуху);

- психофізіологічні (нервово-психічні перевантаження).

Виходячи з цього, слід надати велику увагу забезпеченню безпеки роботи устаткування, електробезпеки, нормативних метеорологічних умов на робочих місцях та забезпеченню необхідного рівня освітленості.

Небезпечні фактори Механічна безпека

На об'єкті можуть бути присутні ємкості та посудини, що працюють під тиском. Також сама система опалення знаходиться під тиском.

Під механічними небезпеками розуміються небажані впливи на людину, які обумовлені кінетичною енергією тіла або силами гравітації. Ці небезпеки створюються об'єктами, що обертаються, рухаються або падають. Механічні небезпеки природного походження - це сніжні лавини, обвали, каменепаді, селі, слизькі поверхні, що сприяють падінню.

Штучні механічні небезпеки з огляду на різні обставини діють на людину своєю вагою, кінетичною енергією й іншими властивостями. Це можуть бути машини і механізми, що рухаються; рухливі частини виробничого устаткування; вироби, що пересуваються; заготовки, матеріали .

До перерахованого вище варто додати: при експлуатації вантажопідйомних машин і механізмів існує потенційна безпека. Можуть виникнути наступні ситуації:

- зрив вантажу;
- перекидання баштових кранів у результаті перевищення дозволеної вантажопідйомності;
- деформація й руйнування несучих конструкцій;
- несправності електропроводу.

Небезпеку становлять ємкості та посудини, що працюють під тиском. У силу різних причин: перевищення надлишкового тиску, несправності запобіжних клапанів, аварійного зниження рівня води в котлі, утворення статичної електрики, зношування стінок посудини, руйнування зварних швів тощо - може відбутися вибух з руйнуванням елементів конструкції й масовим ураженням людей.

Безпека експлуатації посудин і систем, що працюють під тиском, досягається за рахунок суворого дотримання технологічних режимів роботи, справності приладів, своєчасного проведення оглядів і випробувань.

До потенційних небезпек механічного впливу належать й такі небезпеки, як знаходження робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги); нерівні поверхні, відкриті люки. Перераховані вище небезпеки є причиною численних травм, падінь, переломів, забитих місць та синців. Щоб захистити людину в умовах її взаємодії з потенційно небезпечними об'єктами використовують два основних методи: перешкоджання доступу до небезпечних частин машин й устаткування, та застосування пристосувань, що захищають людину від небезпечних виробничих факторів.

Електрична безпека

Електробезпека — система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, статичної електрики і електромагнітного поля. Правила електробезпеки регламентуються правовими і технічними документами, нормативно-технічною базою. Знання про електробезпеку необхідні всім людям, особливо тим, хто виконує електротехнічне обслуговування.

На основі «Правил улаштування електроустановок» практично всі приміщення об'єкта та теплопункт відносяться до 2-ої категорії «Приміщення з

підвищеною небезпекою».

Від підстанції до будинку підходить кабель живлення, що прокладається під землею. Кабель заходить в електрощитову, що сполучається з розподільним щитом, після цього розходить по будівлі [26].

Все електрообладнання в житловому будинку працює від мережі напругою 220 В (для теплопункту можливе підключення до 380В). У приміщеннях відсутні відкриті струмопровідні частини з напругою більше 12 В. Ураження електричним струмом можливо тільки у разі несправності апаратури і кабелів живлення та при несанкціонованому доступі. Вся електропроводка проведена в захищених від людини місцях, що виключає можливість пошкодження її ізоляції.

Для захисту від ураження електричним струмом в будівлі наявні:

- заземлення всіх установок з опором не більш 4 Ом;
- недоступність струмопровідних частин;
- застосовується прихована електропроводка в захищаючих від механічних пошкоджень трубах;
- аварійні рубильники виключення всього електроживлення.

Інші небезпечні фактори залежать від місця розташування досліджуваного об'єкта.

Шкідливі фактори. Мікроклімат

Метеорологічні умови характеризуються наступними показниками:

- температура навколишнього повітря в приміщенні;
- відносна вологість;
- швидкість руху повітря в приміщенні;
- інтенсивність теплового випромінювання;
- температура поверхонь, що оточують робочу зону.

Ці параметри повітряного середовища багато в чому впливають на самопочуття людини. Організм людини володіє властивостями терморегуляції. Температура тіла постійна, оскільки зайве тепло віддається навколишньому середовищу за допомогою конвекції, випромінювання або випаровування відділяючого поту при перегрівих, порушення терморегуляції призводить до

запаморочення, нудоти, втрати свідомості і теплового удару.

На сьогодні основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень є ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88.

На об'єкті для вентиляції житлових та комунальних приміщень використовується природна вентиляція.

Освітлення

В теплопунктах будинків застосовується штучне освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується ДБН В.2.5-28-2006 і визначається, в основному, характеристикою зорової роботи (табл. 4.4). Норми носять міжгалузевий характер. На їх основі, як правило, розробляють норми для окремих галузей промисловості.

Захист від шуму та вібрації

Розташування теплового пункту не вимагає особливих заходів щодо захисту від шуму та вібрацій, створених роботою обладнання систем опалення, але передбачено заходи для запобігання перевищення рівня шуму та вібрацій, які припустимі за ГОСТ12.1.003, ГОСТ 12.1.012 і СНиП II –12–77:

- під опори трубопроводів, насосів та іншого обладнання при їх кріпленні до будівельних конструкцій передбачені віброізолюючі прокладки;
- перевірка регулюючого обладнання на безшумну роботу;
- шумоізоляція стелі.

Пожежна безпека

Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою визначають шляхом перевірки належності приміщень до категорій від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії А до найменш небезпечної категорії Д, за винятком категорії Г . Житловий будинок відноситься до категорії “В” пожежонебезпечних приміщень.

Пожежу супроводжують такі небезпечні фактори: відкритий вогонь та іскри, висока температура повітря, предметів, обладнання, токсичні продукти горіння, дим, низька концентрація кисню, обвалення, пошкодження будинків та споруд, вибух.

Якщо виникла пожежа - рахунок часу йде на секунди. Не панікуйте та остерігайтеся: високої температури, задимленості та загазованості, обвалу конструкцій будинків і споруд, вибухів технологічного обладнання і приладів, падіння обгорілих дерев і провалів. Знайте де знаходяться засоби пожежогасіння та вмійте ними користуватися. Правильно використовуйте засоби гасіння пожеж:

- переносні вогнегасники (порошкові, вуглекислотні, водопінні) використовують згідно з інструкцією, наведеною у вигляді малюнків і тексту на корпусі вогнегасників;
- для приведення в дію пожежних кранів, які знаходяться в будинку (споруді), необхідно відкрити дверцята шафи і розкласти в напрямку осередку пожежі рукав, який з'єднаний з краном і стволом. Відкрити вентиль поворотом

маховичка проти ходу годинникової стрілки і спрямуйте струмінь води із ствола на осередок горіння.

Правила виконання робіт на висоті

Роботи на висоті — це роботи, при виконанні яких працівник перебуває на відстані менше 2 м від межі неогороджених зовнішніх або не перекритих внутрішніх перепадів по вертикалі 1,3 м і більше від робочої поверхні (грунту, перекриття, робочого настилу), а також роботи на похилій робочій поверхні незалежно від відстані від межі перепадів по вертикалі та наявності огороження.

Основним засобом захисту, що запобігає падінню з висоти, є захисне огороження перепадів по вертикалі або перекриття робочим настилом внутрішніх прорізів робочої поверхні, а допоміжним — безлямковий запобіжний пояс, який за функціональним призначенням використовують лише для підтримування працівника.

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

- професійний добір відповідно до Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі, затвердженого спільним наказом Міністерства охорони здоров'я України та Державного комітету України з нагляду за охороною праці від

23.09.94 N 263/121, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 25.01.95 за N 18/554;

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

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

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

Вимоги безпеки перед початком робіт

Керівник робіт і працівники, які безпосередньо виконують роботи, перед початком робіт повинні:

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

Щоденно перед початком робіт проводити огляд спеціальних страхувальних засобів, що використовуються, із занесенням результатів у журнал.

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

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

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

Перевірити наявність та працездатність засобів сигналізації та зв'язку.

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

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

захисту від води, ураження електричним струмом.

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

Працівники, які мають незадовільне самопочуття, керівником робіт до роботи не допускаються.

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

Вимоги безпеки під час виконання робіт

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

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

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

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

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

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

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

повинен експлуатуватись на висоті не менше 4 м над рівнем ґрунту або опорної поверхні, при цьому закріплення карабіном за опорні конструкції повинно виконуватись не нижче рівня кріплення стропа до пояса. Для закріплення стропа до пояса в цьому разі необхідно використовувати наспинний або нагрудний страховальні вузли.

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

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

Під час виконання робіт на висоті керівник робіт повинен забезпечити виконавців:

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

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