

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Підвищення енергоефективності об'єктів різного призначення за рахунок застосування електричних кабельних систем обігріву**

Виконав: студент **6** курсу, групи **ЕТм-61**

напряму підготовки (спеціальності)

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<b>Гавдера М.В.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Белякова І.В.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Мовчан Л.Т.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Тарасенко М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<b>Габрусєв Г.В.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

## РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 84 сторінки. В роботі міститься 24 рисунки, 16 формул і 10 таблиць.

Технології теплопостачання та тепловикористання є складовими стратегічної безпеки держави. Крім того, вони характеризуються великими обсягами споживання енергетичних ресурсів та інтенсивністю антропогенного навантаження навколишнього середовища. Тому розвитку цих технологій, підвищенню їхніх енергоощадних та екологічних характеристик, доведенню їх до сучасного світового рівня необхідно постійно приділяти велику увагу. Особливої уваги потребує питання розробки сучасних технологій електрообігріву для об'єктів різного призначення.

**Метою кваліфікаційної роботи** є аналіз ефективності застосування для обігріву та опалення електротеплоакумуляційних технологій на базі електричних кабельних систем.

**Об'єктом дослідження** є процеси теплообміну в електричній кабельній системі обігріву як опалювального приладу періодичної дії.

**Предметом дослідження** є закономірності режимів теплообміну та їх особливості в електричній кабельній системі обігріву, конструктивні вирішення та відповідне технологічне обладнання.

**Перелік ключових слів:**

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОБІГРІВ, ЕЛЕКТРИЧНА КАБЕЛЬНА СИСТЕМА ОБІГРІВУ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ КАБЕЛЬ, ТЕПЛООБМІН, ЕНЕРГО-ЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ.

## ЗМІСТ

с.

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	8
1.1 Аналіз ефективності різних видів обігріву .....	8
1.1.1 Ефективність застосування електричних систем опалення.....	8
1.1.2 Ефективність застосування газових систем опалення.....	9
1.2 Оцінка можливостей впровадження акумуляційного електрообігріву в Україні.....	12
1.3 Використання електричної енергії для обігріву заміських будинків в Україні .....	15
1.4 Закордонний досвід використання електричної енергії для обігріву заміських будинків.....	17
1.5 Оцінка ефективності застосування електричних кабельних систем для обігріву .....	19
1.6 Висновки до розділу 1 .....	23
<b>2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	25
2.1 Розрахунок режимів теплообміну та критеріїв електрообігріву.....	25
2.1.1 Критерії технології електрообігріву.....	25
2.1.2 Розрахунок режимів теплообміну.....	28
2.2 Розрахункові параметри зовнішнього середовища.....	31
2.3 Дослідження ґрунтових умов України для теплотехнічного розрахунку.....	36
2.4 Розрахунок теплових втрат через підлогу.....	40
2.5 Висновки до розділу 2 .....	45

<b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	46
3.1 Застосування електричних кабельних систем обігріву в кліматичних умовах України.....	46
3.2 Дослідження енергоощадних режимів роботи електричних кабельних систем обігріву .....	47
3.3 Нагрівальні кабелі для електричних кабельних систем обігріву.....	55
3.4 Вплив теплофізичних властивостей матеріалів на роботу електричних кабельних систем обігріву .....	60
3.5 Ефективність застосування для обігріву електричних кабельних систем .....	61
3.6 Елементна база облаштування електричних кабельних систем обігріву .....	64
3.7 Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання електричних кабельних систем для обігріву .....	65
3.8 Висновки до розділу 3 .....	69
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> ....	71
4.1 Охорона праці та техніка безпеки при будівництві та експлуатації електричних кабельних систем обігріву .....	71
4.2 Розрахунок захисного занулення електричних кабельних систем обігріву .....	72
4.3 Організація безпеки на енергетичних об'єктах в умовах надзвичайних ситуацій.....	75
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	79
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	80

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасний період характеризується глибокими змінами в енергетиці країни. Кількість атомних електростанцій розширює сферу економного застосування електричної енергії і сприяє існуванню в більшості регіонів України певної кількості надмірної «нічної» електроенергії. Диференційовані за періодами часу тарифи на споживання надмірної «нічної» електроенергії впливають на розвиток нових енергоощадних електротехнологій, зокрема електротеплоаккумуляційних технологій обігріву.

Сучасний етап розвитку електроопалення в Україні не можна уявити без широкого використання енергоефективних технологій електротеплоаккумуляційного опалення на базі електричних кабельних систем обігріву. Попередниками електротеплоаккумуляційного опалення були системи електроопалення з електрокотлами, обладнаними водяними баками-акумуляторами. Також електротеплоаккумуляційне опалення реалізовувалось за допомогою теплоаккумуляційних електродечей різних типів з гарячим (до 650 °С) магнезитовим осердям. В Україні в ході оптимізації комфортної технології «тепла підлога» (пряме опалення нагрівальними кабелями) у житлових приміщеннях був знайдений спосіб використання теплоаккумуляційних властивостей приміщення та підлоги для підтримки комфортних температур при компенсації добових коливань температури навколишнього середовища при аварійному або «віяловому» відключенні електроживлення домогосподарства. Аварійні або «віялові» відключення споживачів були характерним явищем у 90-х роках, особливо за часи відокремлення енергетичної системи України від енергосистем інших країн. Так негативні явища в системі енергопостачання були одним із мотивів появи електротеплоаккумуляційного опалення на базі електричних кабельних систем обігріву.

Відомі пристрої електрообігріву за своєю конструкцією не спроможні повністю забезпечити технологічні вимоги, виготовлені на морально і технічно застарілій базі, не відповідають сучасним вимогам енергоощадності при масо-

вому застосуванні. Практично не розроблені електро- та теплотехнічні засади технологій електротеплоакумуляційного обігріву, які передбачають більш високий якісний рівень створення таких систем і забезпечують підтримку заданих параметрів мікроклімату в приміщеннях та спорудах різного функціонального призначення.

**Метою кваліфікаційної роботи** є аналіз ефективності застосування для обігріву та опалення електротеплоакумуляційних технологій на базі електричних кабельних систем.

**Об'єктом дослідження** є процеси теплообміну в електричній кабельній системі обігріву як опалювального приладу періодичної дії.

**Предметом дослідження** є закономірності режимів теплообміну та їх особливості в електричній кабельній системі обігріву, конструктивні вирішення та відповідне технологічне обладнання.

**Апробація роботи.** Гавдера М.В. Ефективність застосування для обігріву електричних кабельних систем. // І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, М.В. Гавдера // Збірник тез доповідей. Матеріали XI міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» ( м. Тернопіль, 7 - 8 грудня 2022р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2022. С. 75.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (27 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 84 сторінки, 10 таблиць і 24 рисунка.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз ефективності різних видів обігріву

#### 1.1.1 Ефективність застосування електричних систем опалення

Масовому застосуванню електроопалення за кордоном сприяла енергетична криза 1973 року, яка виникла в результаті введення арабськими країнами ембарго на експорт нафти. З того часу в більшості країн активувалося створення і застосування енергозберігаючих установок і технологій на основі нових енергоресурсів. Одним з перспективних напрямів стало використання електричних систем для забезпечення мікроклімату приміщень, що привело до повної електрифікації побуту.

Згідно показників 2019 р., споживання електроенергії в державах Європейської Співдружності склало біля третини від загальних затрат енергії в побуті і сфері послуг, що в 2,5 рази вище за споживання енергії від тепломереж. Безумовно, що житловий сектор має найбільший потенціал для енергозбереження.

Європейський союз останніми роками багато уваги приділяє вибору енергоефективних інженерних систем опалення будівель. Розповсюдження того, або іншого способу використання електроенергії для опалення в кожній країні вирішується з врахуванням місцевих умов. В першу чергу це залежить від балансу споживання ПЕР, режиму споживання електроенергії і порівняльної її вартості з іншими енергоносіями.

Активне використання електроопалення в Україні почалося після розпаду СРСР з імпортом якісно нових технологій і обладнання. Але масового розповсюдження немало, за браком досвіду у фахівців, які залишились від скромного застосування цих систем, або відсутності такого взагалі. Реанімація цих знань і негативних узагальнень через відсутність неупередженої інформації

про світовий досвід приводить до неаргументованих висновків фахівців, які іноді зустрічаються в публікаціях.

Проведені в Україні санітарно-гігієнічні дослідження про нешкідливість для людини електричних систем кабельного опалення стали підставою для створення і введення в дію з червня 2004 р. ДБН «Електрична кабельна система опалення».

Набагато складніше йде справа з техніко-економічним обґрунтуванням систем при проектному виборі. У нас не здійснювалося широкомасштабних досліджень у цьому напрямку. Тому, при вирішенні даної задачі ми, перш за все, повинні використовувати досвід країн з подібною енергетичною структурою, і таких, які не мають власних великих газових і нафтових родовищ.

Україна входить до країн з високими витратами на теплопозабезпечення, вона витрачає на це майже половину своїх енергетичних ресурсів. Хоча є Україна є країною з 50 % часткою атомної електроенергетики. Застосування енергоефективних технологій в опалюванні у нас і ЄС є актуальним завданням.

Таким чином, Україні вже сьогодні необхідно усувати наявні перекоси в співвідношенні між водяними і електричними системами опалення, а також створювати умови співставлення з державами ЄС.

### **1.1.2 Ефективність застосування газових систем опалення**

У 2022 році вартість газу зросла порівняно з минулими роками в усіх країнах. На міжнародному ринку оптова вартість тисячі кубічних метрів природного газу сягає до 1350 доларів. А поки газ дійде до споживача, його ціна зростає ще в декілька разів.

У Великобританії, наприклад, в зв'язку з вичерпанням покладів газу у Норвезькому морі, та постачанням газу танкерами у зрідженому вигляді з Алжиру, вартість газу у 2022 році для населення становила в середньому 2000 \$ за тисячу кубометрів.



У зв'язку з подорожчанням газу в європейських країнах зменшується кількість систем автономного обігріву з допомогою газових котлів. Частка газових котлів у системах автономного обігріву наприклад Швеції та Швейцарії у 2022 рік зменшилась з 28% до 22%.

В Україні з травня 2021 року вартість газу для населення становила 899 гривень за 1000 м<sup>3</sup>.

Особливості споживання ПЕР та теплової генерації в ЖКГ України. У 2021 споживання природного газу в Україні становило 30 млрд. м (без врахування споживання підприємствами енергетичного комплексу та бюджетних установ), з яких тільки половина (точніше 45,9% або 13,8 млрд. м<sup>3</sup>) була використана продуктивно в промисловості, будівництві, на транспорті. Більше половини (54,1 % або 16,2 млрд. м<sup>3</sup>) усього обсягу природного газу було витрачено на теплозабезпечення населення - 32 % або 9,6 млрд. м<sup>3</sup>, понад 19,3 % або 5,8 млрд. м - на комунально-побутові потреби; 1,9% або 0,570 млрд. м<sup>3</sup> - на виробничо- технологічні потреби газового господарства. Втрати газу в газотранспортних мережах становили 0,9 % або 0,270 млрд. м<sup>3</sup>.

Але в наслідок низки причин ефективність використання зазначених обсягів ПЕР у процесах теплозабезпечення низька. Перша причина визначається структурою теплогенерауючих потужностей. Основу комунальної енергетики Україні складають котельні, які споживають традиційне котельнопiчне паливо, головним чином експортний природний газ та вiтчизняне, але дотацiйне вугiлля. У структурi споживання палива домінує природний газ (загалом близько 70... 80% або 31... 33 млрд. м<sup>3</sup> на рік), зокрема газоподібне (64,3 % від усього котельно-пiчного палива), тверде (33,1 %) > рідке (1,9 %) паливо [5]. За даними [5] на кінець 2007 року на комунальних підприємствах усіх форм власності та відомчого підпорядкування працювало 29 965 котелень загальною потужністю 138,3 тис. Гкал/год (160,8 ГВт). У містах та селищах міського типу знаходилось 18 816 (62,8 %), у сільській місцевості - 11 149 (37,2 %) котелень. Більша частина (82,3 %) енергетики складається з котелень одиничною потужністю до 3 Гкал/год (3,5 МВт).

Але ці котельні в сумарній потужності всіх котелень країни становлять лише 15,5 %. На котельні потужністю від 20 до 100 Гкал/год (23... 116 МВт) припадає лише 2,7 % від загальної кількості котелень, але їх питома потужність сягає 22,4 %. Котельні потужністю 100 Гкал/год (116 МВт) і більше, яких за кількістю було найменше (0,8 % від загальної кількості), за сумарною потужністю є найбільшими - їхня частка в сумарній потужності всіх котелень становить 39,4 %. При цьому ці великі котельні (23... 116 МВт і більше) зосереджені в міських (відповідно 89 % та 95 % від загальної кількості), а не сільських поселеннях. Важливим є те, що в міських поселеннях питома вага потужності котелень 116 МВт і більше є найбільшою - 44,3 %, а найменшу (11,1 % сумарної потужності всіх котелень) складає потужність котелень до 3,5 МВт. У сільській місцевості навпаки - питома вага "малих" (до 3,5 МВт) котелень у сумарній потужності є найбільшою - 45,1 %, а найменшою (6,7 %) - потужність котелень більше 116 МВт.

З аналізу структури потужностей комунальної теплоенергетики випливає, що основна (приблизно дві третини) частина первинних енергоресурсів споживається на великих (23... 116 МВт і більше), але нечисленних (3,5 % або 1050) котельних потужністю 22,4 % + 39,4 %=61,8 % від сумарної потужності усього котлового господарства і розташованих здебільшого у міських поселеннях. У міських поселеннях також концентруються "середні" (3,5... 23 МВт) котельні і розташовується певна частина "малих" котелень. Решта первинних енергоресурсів (приблизно одна третина) споживається на "малих" (потужністю до 3,5 МВт) котельних, переважно дифузно-розсіяних, у сільській місцевості. Іншими словами для України є характерним поєднання широкого розповсюдження централізованої (в умовах міської забудови, тобто у 455 містах і 886 селищах міського типу) і автономної (у сільській місцевості, у якій розташовано 28 597 сільських населених пунктів) систем теплопостачання. З розглянутого розподілу потужностей комунальної теплоенергетики випливає висновок про важливість модернізації котельних як великої, так і малої потужності. Але вибираючи напрямки підвищення енергоефективності

комунальної енергетики України треба пам'ятати, що в абсолютному виразі підвищення к.к.д. на одиницю обладнання має більший ефект з економії ПЕР на котельних великої потужності, ніж на малих котельних.

## **1.2 Оцінка можливостей впровадження акумуляційного електрообігріву в Україні**

Проблема електрообігріву має два аспекти. Перший включає розгляд структури і кількісну оцінку ємності ринку електроопалення, другий - аналіз існуючої технічної бази для задоволення потреб цього ринку. Обсяг впровадження електрообігріву не тільки не може перевищити можливості електроенергетики України, але має залишатись у рамках техніко- економічної доцільності. Розвиток електроопалення не повинен нести загрозу енергобезпеці країни, зокрема, порушувати її електроенергобаланс, руйнувати ринок електроенергії.

З іншого боку наявність численних типів електронагрівачів, складність їх асортименту, велика кількість регіональних виробників, швидкий технічний прогрес зумовлюють труднощі вибору і надання рекомендацій щодо конкретного типу електронагрівача для даного об'єкту або кластеру об'єктів електроопалення.

За офіційними даними, значення нижньої межі розвитку систем електроопалення в Україні не перевищує кількох десятих чи сотих відсотка [3, 21]. У міжсезонні періоди кількість систем електроопалювання різко зростає. Ці, переважно нелегітимні, споживачі обліку не піддаються. Але їх наявність свідчить, що електроопалення, як окремий вид опалення, є життєздатним явищем у масштабах країни і фактично вирішує проблеми теплопостачання населення, коли ще не працює система централізованого теплопостачання (СЦТ) і до того ж, навіть у такій вульгарній формі, воно вже котрий рік поспіль не руйнує ОЕС України.

Верхньою межею кількісної величини впровадження електрообігріву може служити загальна кількість споживачів електричної енергії (приблизно 19 млн. абонентів). Але ця оцінка має суто гіпотетичний характер, оскільки, по-перше, легко продемонструвати, що на електрообігрів усіх користувачів не вистачить енергобалансу країни. По-друге виконання директиви «всі абоненти електромережі України переходять на електроопалення» не витримує ніякої критики. Хоча б тому, що у техніко-економічному плані СЦТ міцно утримують і будуть утримувати свою позицію, якщо СЦТ експлуатується відповідно до технічних нормативів (коли теплотраси мають задовільний стан, тобто трубопроводи якісно, в заводських умовах, теплоізольовані; їх довжина не перевищує оптимального значення; користувачі у повному обсязі використовують прилади автоматичного регулювання теплових режимів як на теплових пунктах будинків, так і поквартирні). Більше того, здається, що в Україні ще не вичерпано резерв теплофікаційного циклу. На великих конденсаційних електростанціях, що працюють на українському вугіллі (їх загальна кількість складає 11 ТЕС), доцільно, особливо у східних та південних промислових регіонах України, у ході планової (на цих ТЕС велику частину турбін вже зараз виведено з експлуатації, а ресурс більшої частини обладнання практично вироблено) модернізації замінити конденсаційні турбіни на теплофікаційні з відбором пари для теплопостачання за температурним графіком [14]. Крім того, альтернативою як СЦТ, так і системам електроопалення є дуже перспективний сектор автономних (децентралізованих) систем енергопостачання на базі ВДЕ, динамічний розвиток якого спостерігається у таких країнах, як США, Японія, Китай. Тому при впровадженні електрообігріву необхідно дотримуватися диференційованого підходу залежно від категорії потенційних користувачів.

Є кілька категорій потенційних користувачів електрообігрівом, які характеризуються різним пріоритетом. Можна вважати, що найбільший пріоритет має населення сільських пунктів, газифікацію яких не передбачено найближчим часом. На сьогодні рівень газифікації житлового фонду в містах

складає близько 77 %, а в сільській місцевості - 32 %. В табл. 1.1 наведено інформацію про благоустрій населених пунктів та житлові умови населення.

Таблиця 1.1 – Благоустрій населених пунктів, житлові умови населення України у 2021 році [12]

Показник	Місто	Селище міського типу	Селище	У міських поселеннях	У сільських поселеннях
Загальна кількість населених пунктів в Україні, шт.	455	886	28597		
Забезпечені природним та скрапленим газом, шт.	452	861	26762		
У тому числі тільки природним газом, шт.	407	533	3444		
Питома вага, %, житлової площі, обладнаної:					
- природним та скрапленим газом				82,0	83,8
- ГВП				59,1	4,71
- центральним опаленням				73,9	22,2
- підлоговими електроплитами				5,1	0,1
- водопроводом				76,3	19,1

Таблиця 1.2 – Оцінка обсягів потужності, потрібної для електроопалення за групами споживачів

Групи споживачів та можливості електроенергетики України	Установлена потужність, річне споживання* і виробництво електроенергії		
	МВт	%	млн. кВт·год
Будинки у сільській місцевості	14 867	26,0	50 649
Будинки аварійного і погіршеного стану в містах	41 900	73,4	
Новобудови, середньорічні обсяги	340,95	0,6	
Всього	57 108	100	

Потужність електростанцій і виробництво електроенергії	52000		185 236
Примітка. Енергоспоживання було розраховано за діючими нормативами для 1 -ї кліматичної зони (кількість градусо-днів > 3500).			

У таблиці 1.2 підсумовано оцінки потенціалу впровадження електроопалення (усіх видів) в Україні. Найбільшу групу складають будинки аварійного та погіршеного стану в містах. Фактична установлена потужність електростанцій України у 2021 р. становила 52 000 МВт. Тобто, установлена потужність діючих ТЕС, АЕС, ГЕС, особливо з урахуванням коефіцієнта використання потужностей (0,4), недостатня для повного задоволення потреб опалення. Необхідно встановити пріоритети впровадження акумуляційних систем електроопалення.

Іншим джерелом оцінки масштабів впровадження електроопалення можуть бути відомості про так звані проблемні та кризові будинки, у яких відсутні теплопостачання та гаряча вода через місце їх розташування. Такі будинки переважно знаходяться на околицях міста, отже, значно віддалені (понад 1 км) від котельні або від основних тепломереж. Є також категорія нерентабельних для теплового господарства будинків/квартир. Відключення таких будинків особливо актуальне в тих регіонах, де рівень втрат у теплових мережах найвищий (близько 30 %), а також таких будинків, у яких на сьогодні понад 25 % мешканців уже відключилися від центрального опалення та самостійно перейшли на індивідуальну систему теплопостачання.

### **1.3 Використання електричної енергії для обігріву заміських будинків в Україні**

Електрообігрів у приватному секторі тривалий час мав дуже обмежений характер. Тільки в останні десятиріччя ХХ ст., особливо після розробки за кордоном теплоаккумуляційних варіантів електрообігріву, застосування

опалення в приватному секторі стало поступово розширюватися [11-15]. Проте навіть у Прибалтиці – традиційному лідері за радянських часів впровадження західних електротехнологій – теплопостачання за допомогою трансформації електричної енергії у теплову здійснювалось виключно за допомогою електрокотлів або промислового електрообладнання, пристосованого для обігріву будинків [16,17].

В середині 80-х років минулого століття в Україні була запропонована і почала розроблятися ідея використання в якості споживачів-регуляторів сільських електричних мереж [12,19,23]. Уявлення про якісну і кількісну картину розповсюдження електрообігріву в Україні на початку 90-х років минулого століття дають фактичні дані таблиці 1.3 [19].

В Україні діяло кілька експериментальних програм (кількість об'єктів не перевищує сотні тисяч осель), метою яких є було розповсюдження електрообігріву заміських житлових будинків.

Таблиця 1.3 – Кількісні дані з електрообігріву заміських будинків у 1993 році.

Назва виробничих енергетичних об'єднань	Кількість населених пунктів, од.	Кількість житлових будинків, од.			Потуж. одного будинку, кВт
		Всього	З автоматикою	Без автоматики	
Київенерго (4)	669	3883	3447	436	3 – 30
Вінницяенерго (4)	213	2914	2138	776	4,1- 11,2
Львівенерго (5)	194	1118	612	506	2 – 15
Дніпроенерго (3)	87	328	61	267	4,0-10,6
Донбасенерго (2)	46	148	128	20	4,0-18,0
Одесаенерго (3)	42	252	59	193	3 – 12
Харківенерго (3)	4	16	15	1	
Крименерго					
Всього по Україні (25)	1255	8659	6460	2199	3-30

*Примітка. У графі 1 у дужках зазначена кількість областей, які входять до енергетичних об'єднань; у графі 2 – кількість населених пунктів, в яких є будинки з електроопаленням; у графі 3...5 – кількість житлових будинків з електроопаленням.*

З аналізу вітчизняного досвіду електрообігріву випливає, що, по-перше, електрообігрів приватних заміських будинків в Україні на початку 90-х років

XX ст перебував на початковому етапі впровадження. По-друге, на початковому етапі найбільш поширеним засобом впровадження електрообігріву було використання звичайних електротеплових приладів типу електродних котлів, іноді обладнаних акумулюючими ємностями для гарячої води. По-третє, ані якісні, ані кількісні (приблизно, до 1 %) показники електрообігріву заміських будинків не відповідали сучасним вимогам.

Разом з тим, як зазначено в [16], економічно виправдана частка загальної потужності електричних систем опалення становить приблизно 30 % добового електроспоживання в Україні в зимовий період, що відповідає нічному провалу добового графіка електроспоживання. Вже зараз навіть без реконструкції існуючих розподільних електромереж є можливість розширити частку електрообігріву в заміських будинків у загальному балансі споживання електроенергії в Україні до 10 % [20].

#### **1.4 Закордонний досвід використання електричної енергії для обігріву заміських будинків**

На відміну від колишнього радянського союзу, за кордоном електрообігрів заміських будинків у сільській місцевості давно знайшов широке застосування, цьому сприяло розповсюдження забудови односімейними будинками.

Оскільки США переважно розташовані у теплій кліматичній зоні, то потужність енергетики внутрішніх приміщень визначається літом, у період інтенсивної роботи систем кондиціонування. Взимку створюється надлишок електричної потужності, який зараз використовується для електрообігріву, головним чином, повітряного. В період 1960-1970 рр. частка електрообігріву збільшилася вдвоє, досягнувши 8 % від загальної величини теплопостачання. У 1975 р. 60 % індивідуальних житлових будівель було обладнано електрообігрівом [27]. Уже в 1983 р. системи акумуляційного електрообігріву стали рівноеконічними по оплаті за енергоносії з газовими системами опалювання. Однак з 1985 р. ціни на енергоносії знизилися і значніше зниження



цін було на газ і нафтопродукти [28], що відповідно відобразилося на використанні електрообігріву. Із усіх побудованих у 1986 р. односімейних житлових будинків тільки 44,4 % були запроектовані з електроопаленням. Аналогічна ситуація в Канаді, де вже в 1971 р. більш 30 % індивідуальних житлових будинків мали електричне опалення [29].

Найбільшого розвитку технологія електрообігріву досягла в Норвегії, багатій гідроресурсами. Електрообігрівом обладнано 60 % усіх нових житлових будинків, а з урахуванням будинків старої забудови електрообігрів досягає більш 70 % [30]. Завдяки акумуляційним електрообігрівним приладам та спеціальним тарифам на електроенергію було досягнуто зменшення максимального навантаження і продовження терміну використання приладів. У Швеції і Фінляндії електрообігрів мають біля 30 % одно- і двосімейних будинків, причому усі нові житлові будинки обладнуються виключно електрообігрівним устаткуванням, якщо поблизу відсутнє централізоване теплопостачання [31]. У Німеччині та Англії енергокомпанії стимулюють позапікове споживання електроенергії у зв'язку зі значною нерівномірністю добових графіків навантаження, обмеженістю регульованого резерву потужності, високими цінами на рідке паливо. Особливо цікаві дані в Німеччині, де нічний тариф на електроенергію нижчий від денного більш ніж у 2 рази, а обсяг електрообігріву у житлових будівлях зріс з 8...9 % від загальної кількості в 1990 р. до 17 % у 1995 р. [32]. У Німеччині 96 % електрообігрівних пристроїв (2,2 млн) є акумуляційними, що підвищує мінімальне нічне навантаження з 25 % до 60 % [33]. Високий рівень розвитку акумуляційного електрообігріву в Німеччині знайшов відображення у розробці саме цією країною державних стандартів (DIN 44573, 44573, 44574, 44576 тощо) на електрообігрів, у тому числі на технологію електротеплоакумуляційного обігріву.

В Англії [34] нічний пільговий тариф та законодавство по боротьбі із забрудненням зовнішнього середовища стимулювали широке застосування різноманітних теплоакумуляційних обігрівних пристроїв: електрочайників для

одно- та багатоквартирних будинків, електропечей, панелей з нагрівальним кабелем у підлозі та стінах. Вже в 1970 р. з таким електрообігрівом було 23 % нових помешкань та 35 % помешкань у будинках старої забудови. У проектах нових забудов багатоповерхових будинків передбачається електрообігрів. Характерним для Англії є використання теплоаккумуляційних нагрівальних блоків, які працюють на систему водяного обігріву будинку, доповненням до яких використовуються електрорадіатори потужністю 1...2 кВт з виносним терморегулятором, електропанелі потужністю до 6 кВт, електрорефлектори, електрокаміни та інші електротеплові прилади прямої дії. У Франції [35] в 1988 р. опалення нових будинків забезпечувалось на 78 % за рахунок електроенергії різними засобами електрообігріву.

Значну увагу приділяють теплоізоляції та вентиляції приміщень. Найбільшого розповсюдження тут набула вентиляція з подачею свіжого повітря в головні кімнати з виходом відпрацьованого повітря з підсобних приміщень (обновляється не менше 70 % об'єму повітря за годину).

В Італії, враховуючи її більш м'який клімат, широко використовують, крім акумуляційного електрообігрівного устаткування, радіаційні панелі та електроконвектори невеликої (0,3...2 кВт) потужності, пристосовані для встановлення на стінах, підлозі та стелі [36]. В Японії для електрообігріву застосовують електродні котли, які залежно від кліматичного району працюють в прямому або акумуляційному режимах. У колишніх соціалістичних країнах значного успіху у використанні електроенергії для опалення житла набули Чехія, Словачія, Болгарія, країни колишньої Югославії.

Проведені дослідження підтверджують велику розбіжність споживання електроенергії при однакових умовах обігріву. Також виявлено, що при внутрішній температурі в приміщенні 18...20 °С зниження її на 1 °С зменшує споживання електроенергії на 7...10 %. Широко застосовується регулювання режиму роботи електрообладнання, що економить до 10...15 % споживаної електроенергії [36].

Підсумовуючи вище викладене, для електрообігріву за кордоном застосовуються різноманітні опалювальні пристрої як акумуляційної, так і прямої дії. До них відносять акумуляційні печі; водяні котли та водонагрівачі; опалювальні панелі; кабельний обігрів підлоги, стін або стелі; електроконвектори; радіатори, каміни, тепловентилятори тощо. У всіх країнах при застосуванні електрообігріву великого значення надається використанню пільгових тарифів на електроенергію та зниженню теплових втрат будинків.

### **1.5 Оцінка ефективності застосування електричних кабельних систем для обігріву**

Система опалення з допомогою електричного кабелю є однією з різновидів систем розподіленого електроопалення (електрообігріву), в якій електрична енергія перетворюється у теплову в спеціальному нагрівальному кабелі, вбудованому в будівельну конструкцію, і призначена для забезпечення заданої температури повітря в приміщенні та/або на визначеній поверхні конструкції.

Таким чином, у технології електрообігріву головними є операції генерування теплоти за допомогою ефекту Джоуля – Ленца і подальшої її віддачі до приміщення, яке обігрівається. Остання технологічна операція пов'язана головним чином з конвективним механізмом передачі теплоти. Природно, що розвиток даної технології відстежує й відповідає як прогресу загальної і будівельної теплофізики, будівельного матеріалознавства, кабельної техніки, так і характеру нових соціально- економічних викликів та відповідних завдань у промисловому, громадському, сільськогосподарському будівництві. Узагальнення літературних даних дозволяє визначити приблизно три періоди історичного розвитку технології електричної кабельної системи обігріву.

Перший період пов'язаний з емпіричним засвоєнням технології опалювальних панелей, у тому числі вмонтовуваних у підлогу. Він припадає на початок ХХ століття і пов'язаний з початком широкого застосування бетону як відносно нового будівельного матеріалу. Майже синхронно з розповсюд-

женням бетону в громадському будівництві одночасно у ряд країн були зроблені винаходи щодо можливості використання водяного опалення шляхом монтування труб з гарячою водою у товщині бетонних будівельних конструкцій, у том числі в огорожувальних конструкціях і підлозі.

Але рівень розвитку будівельної теплотехніки того часу не дав змоги зробити відповідні теплові розрахунки, і вибір конструктивних і режимних параметрів здійснювався виключно емпіричним шляхом. Таким чином, як досвід використання бетону, глибина ознайомлення з його властивостями, так і розвиток будівельної теплофізики, у тому числі санітарно-гігієнічних уявлень щодо променистого опалення, у цей час були ще на початковому рівні. У 20-30-ті роки минулого століття було запропоновано використовувати у нагрівальних панелях в якості тепловиділяючих елементів провід, по якому пропускався постійний або промислової частоти електричний струм різної напруги.

Найбільш важливим позитивним результатом першого періоду розвитку вмонтованих у будівельні конструкції нагрівальних елементів стала поява практичних доказів привабливості нового методу обігріву як із точки зору його комфортності, так і його надійності та довговічності.

Другий період розвитку технології електрообігріву з допомогою кабелю і впровадження її у техніку обігріву приміщень умовно починається у післявоєнні роки, коли раніше панівний, виключно інженерний підхід, який склався на базі узагальнення досвіду проектування і експлуатації замонолічених до бетонної плити тепловиділяючих елементів типу трубних змійовиків з проточною гарячою водою або парою, був доповнений аналізом механізмів перенесення теплоти у системі «лінійне джерело теплоти – приміщення – зовнішнє середовище», визначенням основних мікрокліматичних факторів і засобів керування ними [28]. Санітарно-гігієнічні переваги панельного обігріву, які обумовлені променисто-конвективним механізмом передачі теплоти, були обґрунтовані у 50-60-х роках минулого століття [13-15]. У ці ж часи були започатковані дослідження електротехнологій прискореного сушіння бетону в зимовий період за допомогою джоулевої теплоти, яку

одержували шляхом підключення до низьковольтних трансформаторів спеціального типу або до зварювальних трансформаторів арматури спеціально замоноліченого проводу [16].

У зв'язку з широкомасштабним поширенням панельного домобудівництва з середини 60-х років ініціюється підвищений інтерес до теоретичного обґрунтування використання нагрівальних панелей. Етапним явищем для техніки обігріву була розробка методики теплового розрахунку опалювальної панелі [12,14], яка базувалась на результатах пошуку аналітичних розв'язків рівняння теплопровідності.

На другому періоді розвитку технологій електрообігріву з допомогою кабелю були виконанні і розроблені головні складові її елементної бази (нагрівальні кабелі та апаратура для керування режимом обігріву). Проте технологічні режими використання електрообігріву були опрацьовані тільки для стаціонарного випадку прямої дії, саме для тих випадків, які відповідали аналітичним розв'язкам декількох нечислових практичних задач. Продовжувалось вивчення променисто - конвективного опалення.

Загалом, соціально-економічні умови колишнього СРСР на той час, на відміну від більшості європейських країн, скоріше гальмували, ніж стимулювали розвиток енергоощадних технологій електроопалення.

Третій період розвитку технології електрообігріву з допомогою кабелю припадає на роки незалежності України. Він протікає в умовах значних структурних перетворень її економіки і характеризується:

- 1) Гострою енергетичною кризою в країні, яка стимулює пошук енергоощадних електротехнологій;
- 2) Наявністю якісно нової елементної високотехнологічної бази;
- 3) Появою сучасних комп'ютерних технологій розрахунку і моделювання теплових об'єктів будь-якого ступеня складності, що забезпечує можливість одержання розв'язків, оптимальних за часом і якістю їх впровадження;
- 4) Появою затвердженої нормативної документації;

5) Появою спеціалізованих підприємств, основною діяльністю яких є впровадження кабельного обігріву в різних галузях народного господарства.

За минулі роки незалежності України системи кабельного обігріву зазнали змін – від найпростіших закладок кабелів типу ПОСХВ до цілком автоматизованих енергоощадних систем. Протягом цього часу в будівельній та електротехнічній галузях країни відбулись структурні перетворення. По-перше, були змінені пріоритети теплозахисту будинків

– практично завершився перехід на системне теплотехнічне нормування, відповідно до якого нормуються лише функціональні вимоги з теплозахисту будинків. По-друге, цінова революція, у першу чергу, торкнулася енергетичного ринку – диференційовані за часом тарифи на відпуск електроенергії стали однією з передумов на користь такого вирішення електрообігріву, при якому воно стає не тільки висококомфортним, надійним, дешевим, екологічним (щодо встановлення й експлуатації), але й економічно вигідним (з обліком основних зведених витрат) способом обігріву приміщень .

Як один з видів система кабельного обігріву поєднує в собі, з одного боку, санітарно-гігієнічні переваги, властиві променистому способу обігріву, з іншого боку, численні переваги, властиві тільки електричним приладам і відсутні в будь-яких інших способах обігріву. З урахуванням того, що Україна належить до країн з розвинутою атомною енергетикою (третя країна в світі з вироблення ядерної електроенергії на душу населення), це сприяє існуванню в більшості регіонів певної кількості надмірної «нічної» електроенергії і розширює зону еконо-мічного використання електроенергії, роботи з електрообігрівом є актуальними і дозволять ефективно використовувати електричну енергію для обігріву.

## **1.6 Висновки до розділу 1**

З проведеного аналізу наукових даних і вітчизняного досвіду електрообігріву можна зробити такі висновки:

1. Аналіз проблеми підтверджує необхідність розробки сучасної енергоощадної технології електрообігріву у напрямі розвитку технології електротеплоакумуляційного обігріву, в умовах, коли економічно виправдана частка електрообігріву у загальному балансі споживання електроенергії України в зимовий період становить близько 30 %.

2. Розвиток електрообігріву здійснювався суто емпіричним шляхом без проведення моделювання як гіпотетичних, так і найбільш важливих практичних випадків, особливо у нестационарному режимі.

3. Через відсутність результатів моделювання режимів теплообміну в приміщеннях з гріючою підлогою та з урахуванням температурного поля у багатошаровій оболонці нагрівального кабелю, електрична кабельна система опалення не оптимізована як складова частина технологічних процесів чи як система опалення у житловому секторі.

4. Відсутня відповідна нормативна і техніко-економічна документація, яка б сприяла масовому застосуванню технології електротеплоакумуляційного обігріву як технології енергоощадного напрямку.

6. Незважаючи на численність джерел, присвячених тематиці електрообігріву приміщень з використанням гріючої підлоги, а також набутий досвід експлуатації таких систем, залишаються не вивченими багато питань. З метою розширення впровадження енергоощадної технології електротеплоакумуляційного обігріву є доцільним продовження досліджень технології обігріву.

## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розрахунок режимів теплообміну та критеріїв електрообігріву

#### 2.1.1 Критерії технології електрообігріву

Розрахунок режимів теплообміну і параметрів технології електрообігріву вимагає постановки і розв'язування задач, які пов'язані з подоланням труднощів принципового і технічного характеру.

У сучасних умовах доцільно звернутися до комп'ютерного числового моделювання, яке дає змогу одержати розв'язки цих задач, у тому числі й рівнянь теплопровідності практично будь-якої складності. Кінцевою метою використання моделей теплообміну на об'єктах з електричною кабельною системою електрообігріву є визначення параметрів і режимів енергоощадної технології електрообігріву, які обумовлені відповідають певному комплексу критеріїв.

Функцією технології обігріву в холодний період року і перехідних умовах є підтримка розрахункової або технологічної температури для біологічних об'єктів у сільському будівництві, тваринництві, рослинництві тощо, яка визначається відповідними нормативами. Для прикладу візьмемо випадок опалення сільського будинку. Згідно з [3] амплітуда коливань результуючої температури повітря впродовж доби знаходиться у межах  $18 \pm 2,5$  °C (відносна амплітуда коливання температури повітря у приміщенні  $2,5/18=0,14$ ). Внаслідок того, що електрообігрів є випадком панельно-променистого опалення і допускає зниження значення комфортної температури (до 3 °C) у порівнянні з конвективним опаленням, перший критерій електрообігріву для випадку електроопалення сільського будинку (інші біологічні об'єкти мають свої фізіологічно або техноло-гічно обумовлені значення середньодобової температури і відносної амплітуди коливань) формулюється так:

– середня впродовж доби температура повітря  $t_{п}$  у зоні, яка опалюється,



приймається не менше 15,5 °С і не більше 20,0 °С з відносною амплітудою коливання температури повітря у приміщенні  $m_{tc}=4,5/15,5=0,29$ . Тоді

$$t_{п} \in [15,5...20,0]^{\circ}\text{C}. \quad (2.1)$$

Перший критерій з урахуванням вимог щодо енергоощадності витікає з функціонального призначення технології електрообігріву. З нього природним чином формулюється задача оптимізації технології електрообігріву, цільовою функцією якої є мінімум експлуатаційних і капітальних витрат.

Для випадку традиційного опалення критерій вигляду (4.1) є єдиним. Проте при розрахунках систем опалення з кабельною системою електрообігріву та теплоаккумуляцією виникають додаткові критичні або порогові величини й обмеження, яким повинна задовольняти електротехнологія обігріву. Визначимо комплекс інших основних обмежень і умов (для стислості – термін “критерій”) електроаккумуляційної системи обігріву та їхні кількісні значення.

Другим критерієм електрообігріву є гранична температура гріючої поверхні підлоги  $\tau_{п}$ , яка повинна відповідати вимогам санітарних норм, що визначаються біофізичними властивостями і потребами біологічного об’єкта. Температура поверхні підлоги може залежати від часу. Так, для підлоги станків молодняка свиней існує місячний період поступового зниження середньодобової температури до нормального значення від її максимального значення 37 °С у перші години після народження поросяти. Температура на поверхні захищеного ґрунту теж нормується. Наприклад, у рослинному покриві й шарі, в якому знаходиться коріння трави, температура ніде не повинна бути нижче точки замерзання.

Для житлового приміщення значення граничної температури поверхні гріючої підлоги у новому нормативному документі [3] прийнято  $\tau_{п}=28$  °С, причому враховується її умовний характер щодо призначення приміщення, а також типу і матеріалу лицьової поверхні підлоги. Тоді

$$t_{п} \square_{п} \leq 28 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.2)$$

Третім критерієм електрообігріву є гранична (максимально допустима) температура жили (оболонки) кабелю  $t_k$ , електрична ізоляція якого, як правило, виконана з полівінілхлориду. Залежно від типу і матеріалів кабелю ця температура становить 60... 120 °С, у середньому  $t_k=70$  °С, і обмежуються термостійкістю матеріалів як оболонки кабелю, так і середовища, у яке замонолічується нагрівальний кабель. Верхня межа досягається при використанні високотемпературних кабелів, прокладених в жаростійких бетонах. Для визначеності вважатимемо  $t_k=70$  °С. Тоді

$$t_k \leq 70 \text{ °С.} \quad (2.3)$$

Температура дегідратації звичайного бетону, в який вбудовано нагрівальний кабель, сягає близько 90 °С, також може бути прикладом критерій-ного значення в теплових розрахунках.

Четвертим критерієм є вимога рівномірності розподілу температури по поверхні. Нерівномірність температури лицьової поверхні підлоги у житловому приміщенні не може перевищувати 1,0 °С між значеннями на лініях над віссю нагрівального кабелю і в нейтральній площині між кабелями. Тоді

$$\Delta t \leq 1 \text{ °С.} \quad (2.4)$$

За рахунок вибору раціональних видів конструкції і матеріалів шару, в який вбудований нагрівальний кабель, та шарів, що лежать вище глибини закладання кабелю, ефект температурної “зебри” у площині закладання кабелів повинен нівелюватись з достатньою точністю на лицьовій поверхні підлоги.

П’ятим критерієм електрообігріву у випадку опалювальної системи, яка працює у періодичному режимі, є обмеження на величину добутку  $\Pi_{ГГ}$  [3]

$$\Pi_{ГГ} = (\tau_{п\Delta} - \tau_{п}) d_{\Delta} / 2 \leq 4,0 \text{ °С} \cdot \text{год} \quad (2.5)$$

де  $\tau_{п\Delta}$ ,  $d_{\Delta}$  – відповідно, величина надмірної температури за поверхнею гріючої підлоги за добу, °С, і тривалість її дії, год.

Для нестационарного випадку актуальні усі п’ять критеріїв. У стаціонарних задачах виключається п’ятий критерій.

Часто з основної задачі можна виділити декілька простих підзадач, що мають практичне значення, але розв'язки яких у вигляді елементарних співвідношень можуть бути отримані спрощеними методами і далі використовуватися для одержання якісних та кількісних оцінок, важливих для практики. Тому для розрахунку параметрів технології електрообігріву і відповідного устаткування використаємо можливості як спрощених, так і повномасштабних методик математичного моделювання теплових режимів теплообміну в об'єктах з електрообігрівом.

### **2.1.2 Розрахунок режимів теплообміну**

Розглянемо багатовимірну за просторовими координатами картину теплового стану приміщення з гріючою підлогою довільної конструкції із вбудованими лінійними джерелами теплоти.

Теплообмін із зовнішніми і внутрішніми огороженнями моделювався за допомогою температурних і теплоємнісних опорів з урахуванням конвективної та радіаційної складових коефіцієнтів теплоперенесення між внутрішніми поверхнями огорожень і лицьовою поверхнею підлоги. Такий підхід дав змогу вперше оперувати як параметрами системи керування мікрокліматом приміщення, так і температурами елементів конструкції нагрівального кабелю (тепло-виділяючої жили, ізоляційних оболонок тощо). Ці температури є одними з основних критичних величин задач електричної кабельної системи обігріву., за значенням яких здійснюється вибір параметрів, що забезпечують енергоощадний режим обігріву.

Обов'язковою умовою в цьому випадку є те, що температура цих тіл повинна бути вищою від температури внутрішнього повітря (інакше теплота буде передаватися не від цих тіл до повітря, а навпаки). Як показують дослідження [12,13], температура внутрішніх поверхонь зовнішніх стін і вікон у стаціонарному режимі вища за температуру повітря, тому вони в додаток до променистого потоку від підлоги і внутрішніх стін одержують теплоту

конвекцією від повітря. Отже, передатними тілами між підлогою і внутрішнім повітрям у розглянутому приміщенні є внутрішні поверхні стін та стелі. Такий механізм теплообміну дозволяє вважати електричну кабельну систему обігріву променисто-конвективною системою (рисунок 2.1). Уточнена схема теплообміну була використана при розробці методики і програм розрахунку акумуляційного опалення [13].

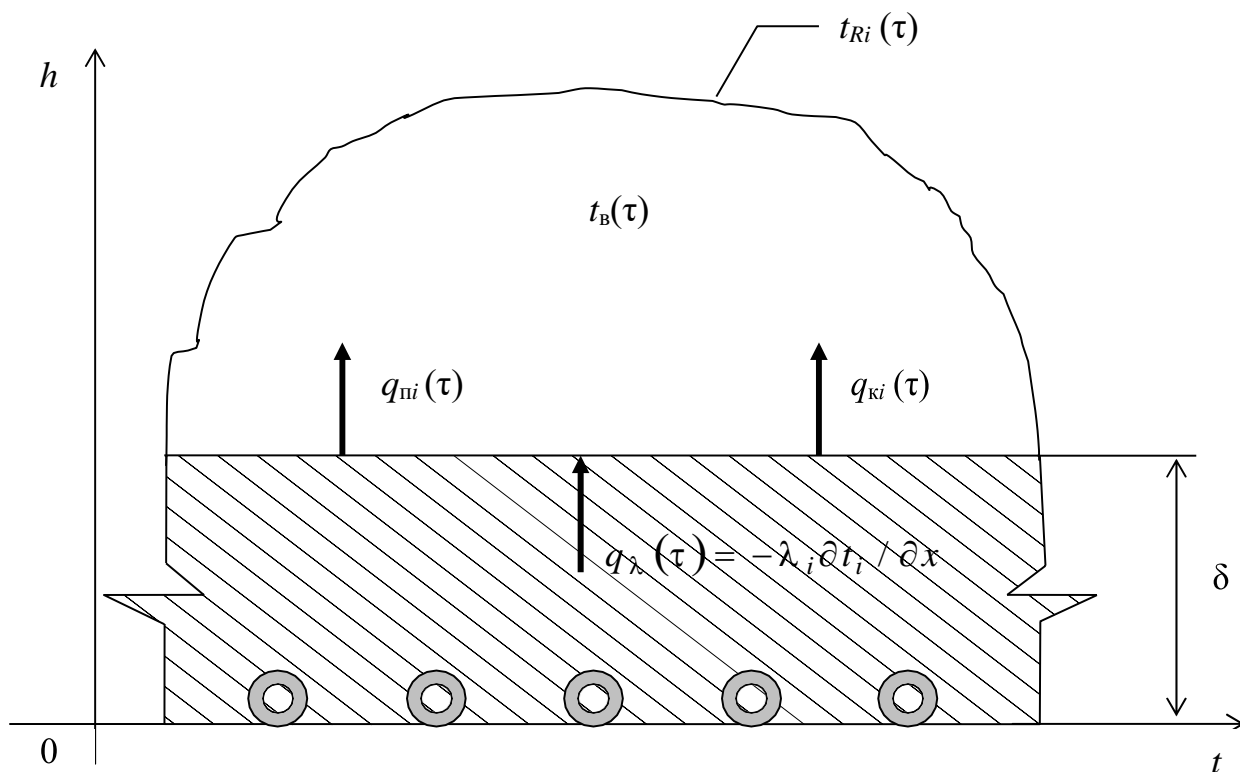


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема теплообміну гріючої підлоги з внутрішнім повітрям приміщення

Оскільки співвідношення променистої і конвективної складових теплообміну в приміщенні безперервно змінюється в часі, відмінне і сумарне за величиною, необхідно їх враховувати окремо. При цьому при визначенні конвективної частини теплонадходжень у розрахунках береться коефіцієнт конвективного теплообміну  $\alpha_{ki}(\tau)$  і різниця температур внутрішніх поверхонь  $t_i(\delta_i, \tau)$  та внутрішнє повітря приміщення  $t_B(\tau)$ , а саме:

$$q_k(\tau) = \alpha_{ki}(\tau) [t_i(\delta_i, \tau) - t_B(\tau)]. \quad (2.6)$$

де  $\alpha_{ki}$  - коефіцієнт конвективного теплообміну стін з повітрям.

Як видно з формули (2.6), коефіцієнт конвективного теплообміну  $\alpha_{ki}(\tau)$  за часом залежить від різниці температур внутрішніх поверхонь  $t_i(\delta_i, \tau)$  і повітря приміщення  $t_b(\tau)$ . Температура внутрішнього повітря залежить від температури усіх внутрішніх поверхонь, у тому числі й від температури гріючої підлоги. У теплоакмуляційному режимі електрична кабельна система обігріву та температури внутрішніх поверхонь огорожень вищі від традиційних систем опалення і змінюються в часі. Таким чином, коефіцієнт конвективного теплообміну буде залежати в часі від цих температур, і задача розрахунку теплового режиму приміщення з електричною кабельною системою обігріву буде нелінійною і залежатиме від коефіцієнта конвективного теплообміну стін та температури повітря.

Складність розрахунків променистого теплообміну в приміщенні полягає в тому, що він відбувається в замкнутому просторі, поверхні якого відрізняються від абсолютно чорних тіл і промениста енергія, яка падає на сіру поверхню частково відбивається від неї. Повітря вважаємо променистопрозорим середо-вищем (багаторазовим відображенням променистих потоків від поверхонь знехтуємо).

Для зручності розрахунків при визначенні променистої частини теплових надходжень користуємось спрощеними залежностями, наприклад відомою залежністю променистих теплонадходжень від коефіцієнта променистого теплообміну  $\alpha_{pi}$  і різниці радіаційної температури огороження  $t_{Ri}(\tau)$  та температури його внутрішньої поверхні  $t_i(\delta_i, \tau)$ :

$$q_{pi}(\tau) = \alpha_{pi} \cdot [t_{Ri}(\tau) - t_i(\delta_i, \tau)]. \quad (2.7)$$

У порівнянні з традиційною водяною конвекційною системою опалення, схема теплообміну з ЕКСО ТА у приміщенні має такі особливості теплообміну:

- внутрішня нестационарність, яка обумовлена періодичною подачею електроенергії в опалювальну систему;
- зовнішня нестационарність, яка обумовлена зміною температури зовнішнього повітря за законом косинуса;

- поглинання променистої теплоти огорожувальними конструкціями підвищує температуру їхніх внутрішніх поверхонь і приводить до зміни коефіцієнтів конвекційного теплообміну внутрішніх поверхонь з повітрям;

- радіаційні температури кожної внутрішньої огорожувальної поверхні будуть різними.

Процес теплообміну в типовому житловому приміщенні, який обладнаний електричною кабельною системою обігріву, включає:

- участь внутрішніх огорожень у теплообміні;

- тепловтрати через зовнішні огороження при зміні температури зовнішнього повітря за гармонійним законом і при постійній зовнішній температурі, відповідають розрахунковій температурі опалення;

- теплоту, яка періодично віддається електричною підлогою у приміщення; у цьому розрахунку окремо враховується конвективна і промениста частини подачі теплоти;

- тепловтрати внаслідок вентиляційного повітрообміну;

- внутрішні тепловиділення.

Таким чином, розрахунок теплового режиму приміщення з електричною кабельною системою є розв'язанням нестационарної нелінійної двовірної задачі теплообміну в приміщенні з урахуванням залежності від температури коефіцієнта конвекційного теплообміну внутрішніх поверхонь із внутрішнім повітрям і з відокремлюваними визначеннями конвекційної і променистої складових [13]. Облік радіаційної температури всіх огорожень приводить до необхідності визначення не тільки температури внутрішнього повітря, як зазвичай, але й температур внутрішніх поверхонь усіх огорожувальних конструкцій.

Розрахункова схема приміщення, для якого розробляється математична модель, наведена на рис. 2.2.

## **2.2 Розрахункові параметри зовнішнього середовища**

Основні кліматичні показники, які використовуються при теплотехнічних розрахунках – температура і вологість повітря, рівень промерзання ґрунту, опади, вітер та сонячна радіація [2]. Враховуючи особливості формування теплового режиму конструкції, яка досліджується, впливовими показниками будуть температура зовнішнього повітря та глибина промерзання ґрунту.

За новими будівельними нормами України розрахункова зимова температура зовнішнього повітря –  $t_{zn}$ , залежить лише від температурної зони району будівництва.

Відповідно попереднім нормам розрахункова зимова температура зовнішнього повітря визначалась більш точно – відповідно клімату міста будівництва та з урахуванням теплової інерції  $D$  огорожувальної конструкції.

Теплова інерція  $D$  огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} s_2 + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} s_n, \quad (2.8)$$

де  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  – товщини шарів конструкції, м;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – відповідні коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів, Вт/(м·К);

$s_1, s_2, \dots, s_n$  – розрахункові коефіцієнти теплосвоєння шарів конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Цоколь – це масивна конструкція з бетону, залізобетону, буту чи повнотілої цегли.

Навколофундаментну зону можна розглядати як огорожувальну конструкцію, внутрішньою поверхнею якої є поверхня підлоги, зовнішньою – поверхня ґрунту. Це теж багатошарова масивна конструкція з тепловою інерцією  $D > 7$ . Середня температура найбільш холодних 5 діб забезпеченістю 0,92 за для міст I температурної зони – -21÷-25°C; для II – -19÷-23°C; для III – -18÷-20°C; для IV – -6÷-16°C. Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря за є приблизно середнім значенням відповідно до кожної з температурних зон.

Розрахункові формули для визначення глибини промерзання ґрунту запропоновані в враховують всі основні природні фактори, які обумовлюють і

впливають на процеси промерзання-відтавання ґрунту: температуру на поверхні ізоляції, періоди промерзання-відтавання, теплоізоляцію на поверхні ґрунту, тепловий вплив підстильних горизонтів ґрунту, теплоту фазових переходів і теплофізичні характеристики ґрунту. Але точність визначеного значення не компенсує громіздкість розрахунку.

Нормативну глибину сезонного промерзання ґрунту  $d_{fn}$ , м, при відсутності даних багаторічних спостережень, слід визначати на основі теплотехнічних розрахунків. За формулою 2.9 можна визначити нормативне значення для районів, де глибина промерзання не перевищує 2,5 м:

$$d_{fn} = d_o \sqrt{M_t}, \quad (2.9)$$

де  $M_t$  – безрозмірний коефіцієнт, який чисельно дорівнює сумі абсолютних значень середньомісячних від’ємних температур за зиму в даному районі;

$d_o$  – величина, яка дорівнює, м, для:

суглинків та глин – 0,23;

супісків, пісків дрібних пилюватих – 0,28;

пісків крупних та середньої крупності – 0,30;

великоуламкових ґрунтів – 0,34.

Розрахункова глибина сезонного промерзання ґрунту  $d_f$ , м, визначається за формулою:

$$d_f = k_h d_{fn}, \quad (2.10)$$

де  $d_{fn}$  – нормативна глибина промерзання за формулою (2.9);  $k_f$  – коефіцієнт, який враховує вплив теплового режиму споруди.

Для споруд без підвалів з підлогами по ґрунту:

$t_e = 0^\circ\text{C}$  –  $k_f = 0,9$ ; при  $t_e = 5^\circ\text{C}$  –  $k_f = 0,8$ ; при  $t_e = 10^\circ\text{C}$  –  $k_f = 0,7$ ; при  $t_e = 15^\circ\text{C}$  –  $k_f = 0,6$ ; при  $t_e \geq 20^\circ\text{C}$  –  $k_f = 0,5$ .

Було проведено розрахунки температурних полів навколофундаментної зони для визначення впливу коефіцієнту, який враховує тепловий режим споруди в формулі (2.10), на розподіл температур на поверхні підлоги. За



результатами моделювання температурного поля за методом скінчених елементів визначено, що при влаштуванні фундаменту з відносно високим термічним опором або утепленої підлоги навіть при внутрішній температурі приміщення  $18^{\circ}\text{C}$   $k_f > 0,9$ . Також при  $\lambda_M/\lambda_T \approx 1$  зміна глибини промерзання біля фундаменту опалюваної споруди практично не змінює картину температурного поля (рисунок 2.2).

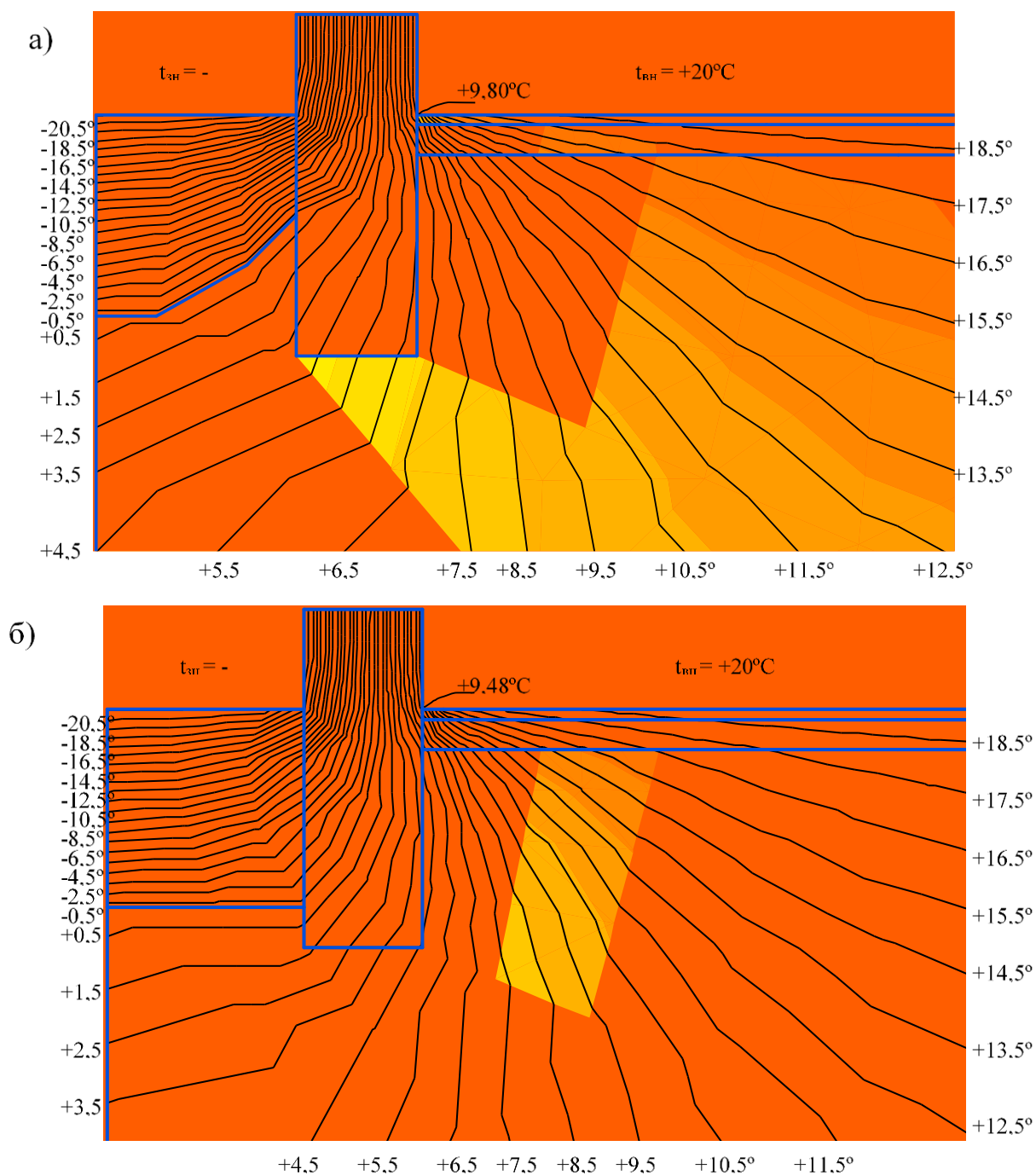


Рисунок 2.2 – Визначення впливу зменшення глибина промерзання ґрунту біля фундаменту на картину температурного поля навколофундаментної зони:

а) з врахуванням коефіцієнту, який враховує тепловий режиму споруди,  $k_f = 0,5$ ;

б) без врахуванням коефіцієнту, який враховує тепловий режиму споруди. Глибина промерзання ґрунту визначається температурою найбільш холодного періоду та тривалістю морозного періоду ( $t_n \leq 0^\circ\text{C}$ ) та залежить від характеристики ґрунту (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Залежність коефіцієнту теплопровідності ґрунту від його щільності та вологості

Густина сухого ґрунту, кг/м <sup>3</sup>	Сумарна вологість ґрунту, долі одиниці	Коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К)							
		пісок		супісок		суглинок, глина		торф	
		$\lambda_T$	$\lambda_M$	$\lambda_T$	$\lambda_M$	$\lambda_T$	$\lambda_M$	$\lambda_T$	$\lambda_M$
100	9	-	-	-	-	-	-	0,8	1,3
100	6	-	-	-	-	-	-	0,4	0,7
100	4	-	-	-	-	-	-	0,2	0,4
100	2	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2
200	4	-	-	-	-	-	-	0,8	1,3
200	2	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5
300	3	-	-	-	-	-	-	0,9	1,4
300	2	-	-	-	-	-	-	0,4	0,7
400	2	-	-	-	2,1	-	2,1	0,9	1,4
700	1	-	-	-	2,1	-	2	-	-
1000	0,6	-	-	-	2	-	1,9	-	-
1200	0,4	-	-	-	1,9	1,55	1,8	-	-
1400	0,35	-	-	1,8	1,85	1,55	1,7	-	-
1400	0,3	-	-	1,75	1,9	1,45	1,55	-	-
1400	0,25	1,9	2,15	1,55	1,8	1,3	1,5	-	-
1400	0,2	1,6	1,85	1,3	1,5	1,1	1,2	-	-
1400	0,15	1,4	1,6	1,1	1,3	0,9	1	-	-
1400	0,1	1,1	1,3	0,9	1	0,7	0,75	-	-
1400	0,05	0,75	0,8	0,6	0,7	0,5	0,55	-	-
1600	0,3	-	-	1,85	2	1,7	1,8	-	-
1600	0,25	2,5	2,7	1,8	1,9	1,5	1,7	-	-
1600	0,2	2,15	2,4	1,6	1,75	1,3	1,5	-	-
1600	0,15	1,8	2	1,55	1,55	1,1	1,2	-	-
1600	0,1	1,45	1,6	1,15	1,3	0,9	0,9	-	-
1600	0,05	1	1,1	0,8	0,9	0,6	0,65	-	-
1800	0,2	2,7	2,8	1,85	2	1,55	1,8	-	-
1800	0,15	2,25	2,6	1,7	1,8	1,4	1,55	-	-
1800	0,1	2	2,2	1,45	1,55	1,05	1,2	-	-
1800	0,05	1,45	1,5	1	1	0,7	0,75	-	-
2000	0,1	1,3	2,9	1,75	1,85	1,3	1,4	-	-
2000	0,05	2,1	2,15	-	-	-	-	-	-



Таблиця 2.2 – Ґрунтові умови міст України

Назва міста	Верхні шари ґрунту	Щільність сухого ґрунту, кг/м <sup>3</sup>	Сумарна вологість ґрунту, долі одиниці	Рівень ґрунтових вод від поверхні, м	Глибина промерзання, м, за (2.9)	Коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К), за табл. 2.1.	
						$\lambda_T$	$\lambda_M$
Полтава (плато)	суглинок	1550	0,15	5,0	1,0	1,1	1,2
Вінниця	суглинок	1720	0,21	7,0	0,9	1,45	1,68
Донецьк Луганськ	суглинок	1620	0,15	8,5	0,95	1,1	1,2
Запоріжжя	суглинок	1600	0,13	7,5	0,8	1,0	1,1
Херсон	суглинок	1610	0,14	7,7	0,6	1,1	1,2
Дніпропетровськ	суглинок	1500	0,10	8,0	0,85	0,8	0,83
Миколаїв	суглинок	1710	0,12	18,0	0,6	1,15	1,23
Одеса	суглинок	1650	0,12	9,0	0,5	1,1	1,13
Кіровоград	супісок	1660	0,12	4,0	1,0	1,42	1,51
Київ	суглинок	1510	0,10	5,9	0,9	0,8	0,83
Івано-Франківськ	суглинок	1890	0,22	4,5	0,8	1,67	1,94
Тернопіль	суглинок	1880	0,21	5,5	0,8	1,64	1,9
Львів	суглинок	1890	0,20	3,5	0,8	1,66	1,93
Луцьк	суглинок	1900	0,20	4,5	0,75	1,7	1,99
Хмельницький	суглинок	1890	0,22	3,2	0,85	1,67	1,94
Луганськ	суглинок	1750	0,20	6,2	0,85	1,49	1,73
Суми	суглинок	1650	0,19	4,0	1,0	1,36	1,56
Сімферополь	суглинок	1630	0,14	4,5	0,3	1,2	1,3
Рівне	суглинок	1730	0,19	4,9	0,8	1,46	1,7
Ужгород	глина	1800	0,16	5,1	0,45	1,42	1,571
Харків	суглинок	1900	0,16	12,1	1,0	1,32	1,73
Черкаси	суглинок	1500	0,10	15,3	0,9	0,8	0,83
Чернівці	глина	1740	0,30	4,5	0,75	1,82	2,1
Чернігів	пісок	1690	0,06	6,1	1,15	1,2	1,28
Середнє по Україні		1700	0,16	5,9		1,28	1,42

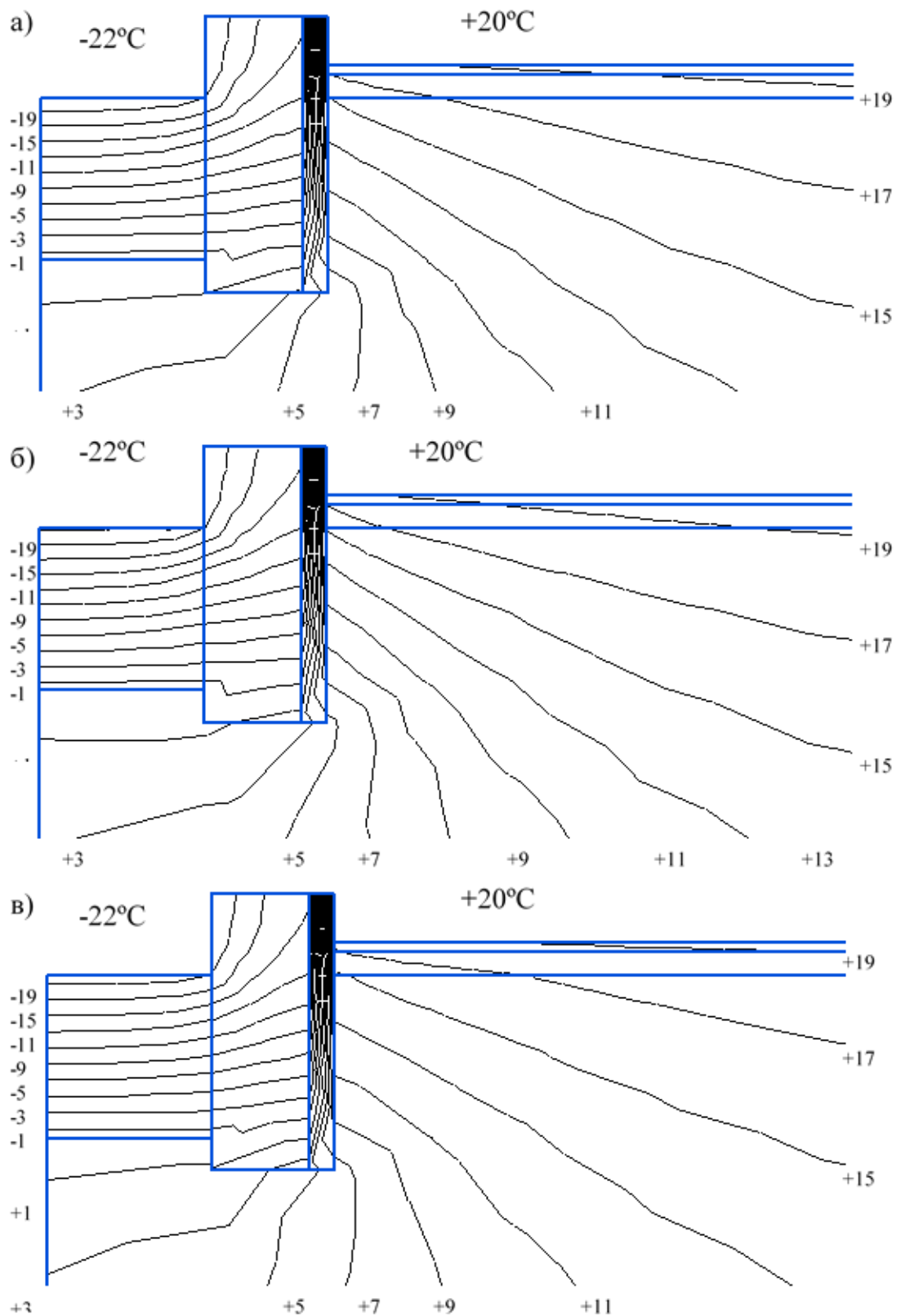


Рисунок 2.3 – Температурне поле навколо фундаментної зони при: а)  $\lambda_T^{\text{cp}} = 1,28 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda_M^{\text{cp}} = 1,42 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; б)  $\lambda_T^{\text{min}} = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda_M^{\text{min}} = 0,83 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; в)  $\lambda_T^{\text{max}} = 1,82 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda_M^{\text{max}} = 2,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

Таблиця 2.3 – Залежність температури поверхні підлоги і теплового потоку від коефіцієнта теплопровідності талого і мерзлого ґрунту

Відстань від зовн. стіни, м	$\lambda_T^{\min} = 0,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)},$ $\lambda_M^{\min} = 0,83 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$		$\lambda_T^{\text{cp}} = 1,28 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)},$ $\lambda_M^{\text{cp}} = 1,42 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$		$\lambda_T^{\max} = 1,82 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)},$ $\lambda_M^{\max} = 2,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	
	$t_{\text{пов}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	$t_{\text{пов}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	$t_{\text{пов}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$
0,0	18,1	16,83	18,0	18,01	18,0	19,22
0,2	18,7	11,34	18,5	12,78	18,3	14,14
0,4	18,9	8,89	18,7	10,70	18,5	12,33
0,6	19,1	7,40	18,9	9,37	18,7	11,14
0,8	19,2	6,40	19,0	8,40	18,8	10,23
1,0	19,3	5,66	19,1	7,63	18,9	9,46
1,2	19,4	5,06	19,1	6,98	18,9	8,79
1,4	19,4	4,56	19,2	6,41	19,0	8,18
1,6	19,5	4,17	19,3	5,95	19,1	7,67
1,8	19,5	3,84	19,3	5,55	19,1	7,22
2,0	19,5	3,55	19,4	5,20	19,2	6,83
2,2	19,6	3,32	19,4	4,90	19,2	6,49
2,4	19,6	3,13	19,4	4,65	19,2	6,19
2,6	19,6	2,95	19,4	4,41	19,3	5,92
2,8	19,6	2,80	19,5	4,22	19,3	5,67
3,0	19,6	2,67	19,5	4,04	19,3	5,47
3,2	19,7	2,57	19,5	3,91	19,3	5,29
3,4	19,7	2,47	19,5	3,77	19,4	5,14
3,6	19,7	2,38	19,5	3,65	19,4	4,99
3,8	19,7	2,32	19,5	3,56	19,4	4,87
4,0	19,7	2,27	19,5	3,49	19,4	4,79
4,2	19,7	2,24	19,6	3,44	19,4	4,72
4,4	19,7	2,20	19,6	3,40	19,4	4,66
4,6	19,7	2,17	19,6	3,35	19,4	4,61
4,8	19,7	2,14	19,6	3,31	19,4	4,56
5,0	19,7	2,11	19,6	3,27	19,4	4,51
5,2	19,7	2,07	19,6	3,22	19,4	4,46
5,4	19,7	2,04	19,6	3,18	19,4	4,40
5,6	19,7	2,02	19,6	3,15	19,5	4,36
5,8	19,7	2,00	19,6	3,11	19,5	4,32

Температура денної поверхні ( $t_n$ ) в природних умовах є результуючою характеристикою складного процесу тепло-масообміну надґрунтових покривів та ґрунту з шаром атмосфери біля землі. На практиці при теплотехнічних розрахунках часто використовують зв'язок температури денної поверхні з температурою повітря ( $t_n$ ) та складовими теплового балансу ( $R, LE, B$ )

$$t_n = t_n + \frac{R - LE - B}{\alpha_k}, \quad (2.11)$$

де  $\alpha_k$  – коефіцієнт конвективного теплообміну;  $R$  – радіаційний баланс;  $LE$  – затрати теплоти на випарування;  $B$  – тепловий потік через поверхню.

Розрахунок температури поверхні доцільний тільки для теплої пори року. В холодний період значення складових радіаційного балансу за абсолютним значенням незначні, та згідно залежності (2.11) температура поверхні буде близька до температури повітря. Це підтверджують і чисельні дослідження.

## 2.4 Розрахунок теплових втрат через підлогу

Для визначення метода дослідження теплового режиму навколофундаментної зони, який дає можливість максимально наблизити розрахунок до реальних умов, проведено порівняльний аналіз існуючих методів розрахунку тепловтрат через підлогу. Розрахунок проведено для кліматичних умов м. Полтава та розрахункових параметрів за попередніми будівельними нормами при наступних вихідних даних:

- район будівництва м. Полтава;
- розрахункова температура внутрішнього повітря –  $t_b = 18^\circ\text{C}$ ;
- відносна вологість внутрішнього повітря –  $\varphi_b = 55\%$ ;
- зовнішня температура повітря –  $t_n = -23^\circ\text{C}$ ;
- довжина будинку – 36 м;
- ширина будинку – 16 м;
- товщина стіни – 0,51 м;
- коефіцієнти теплопровідності ґрунту, бетонних підлоги і фундаменту дорівнюють  $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Розрахункові схеми підлоги та огорожувальної конструкції наведені на рисунках 2.4, 2.5.

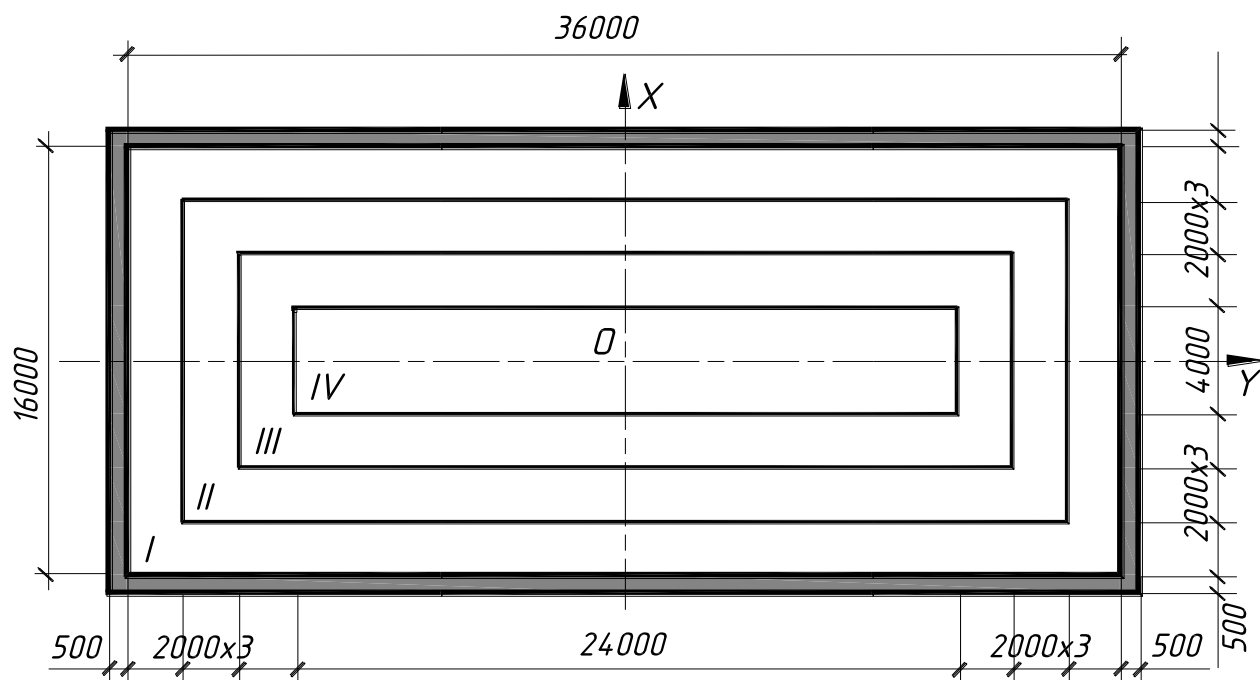


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема для визначення тепловтрат через підлоги по ґрунті

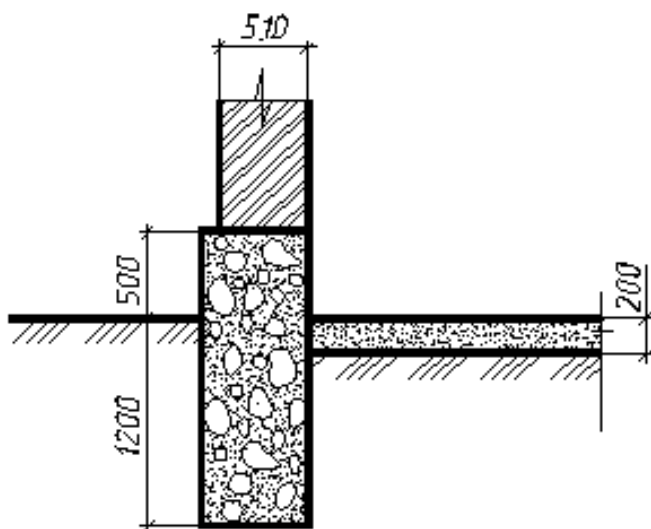


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема огорожувальної конструкції

За методом професора В.М.Чапліна тепловтрати через підлогу на 1 метр погонний зовнішнього периметру складають:

$$Q' = 0,6K(t_{вн} - t_{зн}) \times 1,2 = 0,6 \times 1,32 \times 41 \times 1,2 = 38,92 \text{ Вт}$$



$$\text{при } K = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,6}{1,0} + \frac{1}{23}} = 1,32 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{м} \cdot \text{К}$$

За методом В. Д. Мачинського по формулі (1.12) тепловтрати через підлогу на 1 метр погонний зовнішнього периметру:

$$Q' = 2 \times \frac{20 \times (18 + 23)}{(18 + 26)} + 2 \times \frac{10 \times (18 + 23)}{(18 + 26)} + 2 \times \frac{5 \times (18 + 23)}{(18 + 26)} + 2 \times \frac{3 \times (18 + 23)}{(18 + 26)} =$$

$$= 37,27 + 18,64 + 9,32 + 5,59 = 70,82 \text{ Вт} \cdot \text{м}.$$

За методом С.М. Шоріна:

$$\text{Згідно формул (2.3) та (2.4) маємо } z_1 = \frac{1,0}{8,7} = 0,115 \text{ м}; \quad z_2 = \frac{1,0}{23} = 0,043 \text{ м}$$

$$\text{та за (2.6) і (2.7): } A_0 = 8,3 + \frac{0,115 + 0,043}{\pi} = 8,35; \quad B_0 = 18,3 + \frac{0,115 + 0,043}{\pi} = 18,35.$$

По формулі (1.25) тепловтрати через підлогу складатимуть:

$$q_{x,y} = \frac{1}{\pi} (18 + 23) \left( \frac{2 \times 8,35}{8,35^2 - x^2} + \frac{2 \times 18,35}{18,35^2 - y^2} \right) = 13,06 \left( \frac{16,7}{69,72 - x^2} + \frac{36,7}{336,72 - y^2} \right)$$

при  $x = 0, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 4,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 1 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 2 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 4,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 3 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 5,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 4 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 5,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 5 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 6,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 6 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 7,89 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 7 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 11,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

при  $x = 8 \text{ м}, y = 0$  питомий тепловий потік –  $q = 39,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Згідно СНиП тепловтрати за смугами на 1 м через підлогу визначають за формулою:

$$Q_I = (18 + 23) \times 0,4 \times \frac{2}{2,1} = 15,62 \text{ Вт} \cdot \text{м}; \quad Q_{II} = (18 + 23) \times 0,4 \times \frac{2}{4,3} = 7,63 \text{ Вт} \cdot \text{м};$$

$$Q_{III} = (18 + 23) \times 0,4 \times \frac{2}{8,6} = 3,81 \text{ Вт} \cdot \text{м}; \quad Q_{IV} = (18 + 23) \times 0,4 \times \frac{2}{14,2} = 2,31 \text{ Вт} \cdot \text{м}.$$

За методом А. Г. Гіндяна стаціонарна складова тепловтрат визначається за допомогою формул (1.22) та (1.23) по двохметровим зонам

$$R_I = \frac{1}{8,7} + \frac{1,6}{1} + \frac{1}{23} = 1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}; \quad Q_I = \frac{18-7}{1,76} \times 2 = 12,5 \text{ Вт};$$

$$R_{II} = \frac{1}{8,7} + \frac{7}{1} + \frac{1}{23} = 7,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}; \quad Q_{II} = \frac{18-7}{7,16} \times 2 = 3,07 \text{ Вт};$$

$$R_{III} = \frac{1}{8,7} + \frac{9}{1} + \frac{1}{23} = 9,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}; \quad Q_{III} = \frac{18-7}{9,16} \times 2 = 2,4 \text{ Вт};$$

$$R_{IV} = \frac{1}{8,7} + \frac{15,5}{1} + \frac{1}{23} = 15,66 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}; \quad Q_{IV} = \frac{18-7}{15,66} \times 2 = 1,4 \text{ Вт}.$$

За методом скінчених різниць по розрахунковим схемам на рисунках 2.4, 2.5 визначено розподіл температур по поверхні підлоги (рисунок 2.6).

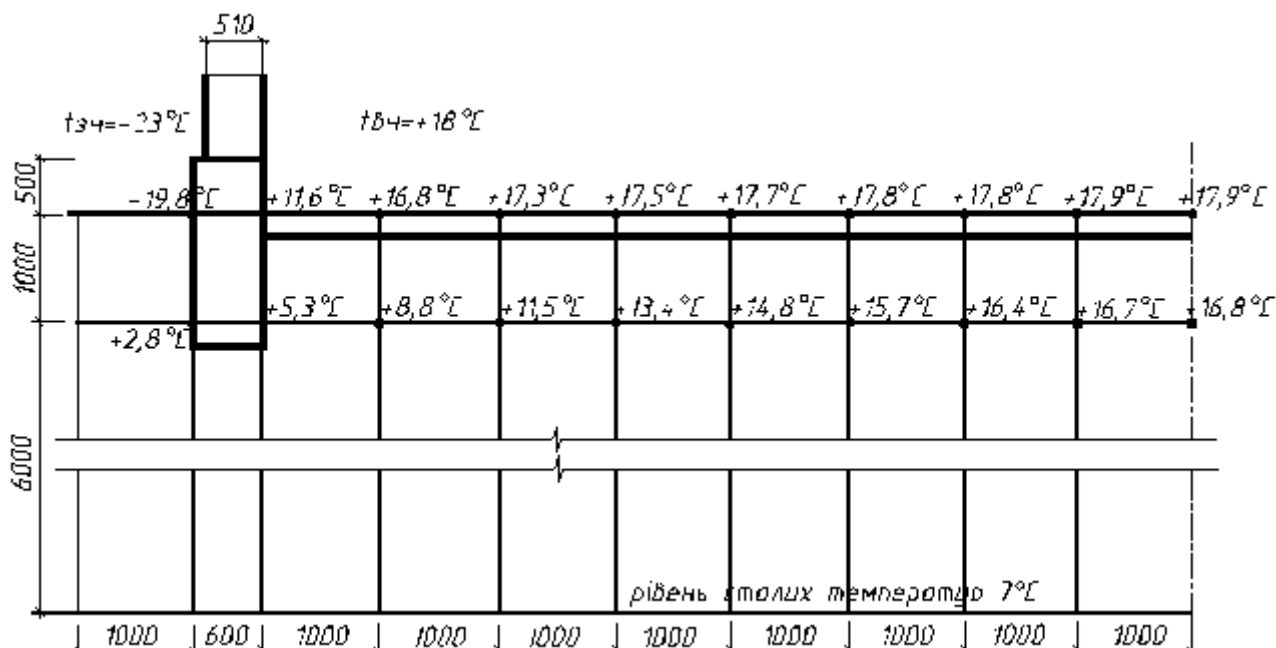


Рисунок 2.6 – Розподіл температур в навколофундаментній зоні за методом скінчених різниць.

За методом скінчених елементів за аналогічними розрахунковими схемами визначено температурне поле навколофундаментної зони (рисунок 2.7) і тепловтрати підлогою (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Розподіл температури по поверхні підлоги за методом скінчених елементів

Відстань від стіни, м	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0
Температура, °С	11,1	16,4	17,1	17,4	17,5	17,6	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,8	17,8
Тепловтрати, Вт	46,8	14,3	7,88	5,39	4,07	3,38	2,95	2,66	2,46	2,32	2,24	2,19	2,17	2,16	2,12

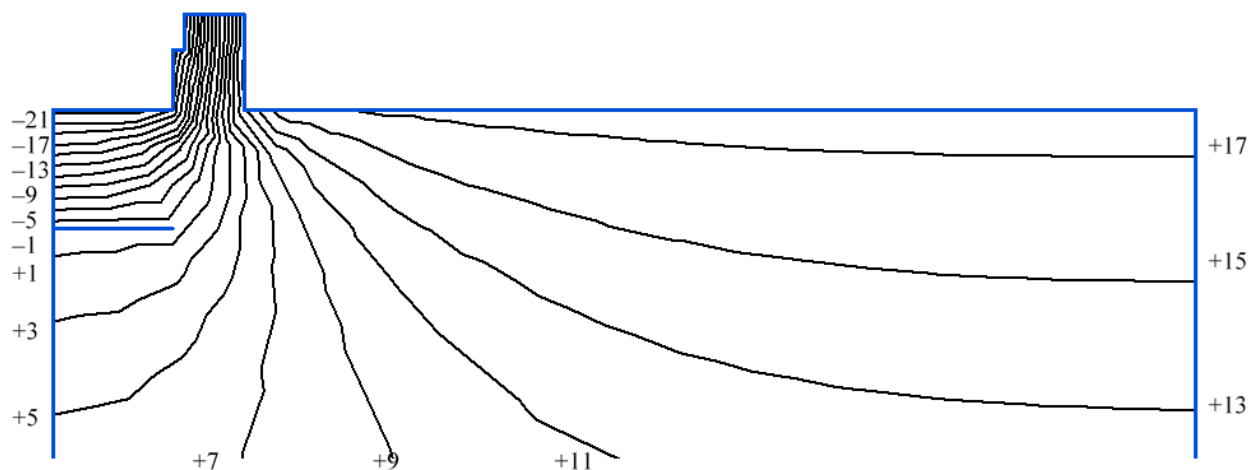


Рисунок 2.7 – Температурне поле навколофундаментної зони за методом скінчених елементів

За отриманими результатами розрахунку тепловтрат підлогою на ґрунті різними методами, але за єдиними вихідними даними, проведено їх порівняння (рисунок 2.8).

Методи визначення тепловтрат підлогою розрахунком за двохметровими смугами зменшують дійсне значення тепловтрат підлогою біля зовнішньої стіни в декілька разів та не дають змогу оцінити ступінь впливу теплотехнічних властивостей конструкції цокольної частини будинку та фундаменту на формування температурного режиму навколофундаментної зони. Розрахунок температурних полів методом сіток і скінчених елементів дозволяє проводити дослідження теплового режиму конструктивних вузлів будь-якої складності. На сучасному етапі розвитку комп'ютерного забезпечення простіше моделювати двомірні температурні поля методом скінчених елементів, що вимагає

побудови розрахункової моделі з відповідними граничними умовами та геометричними параметрами.

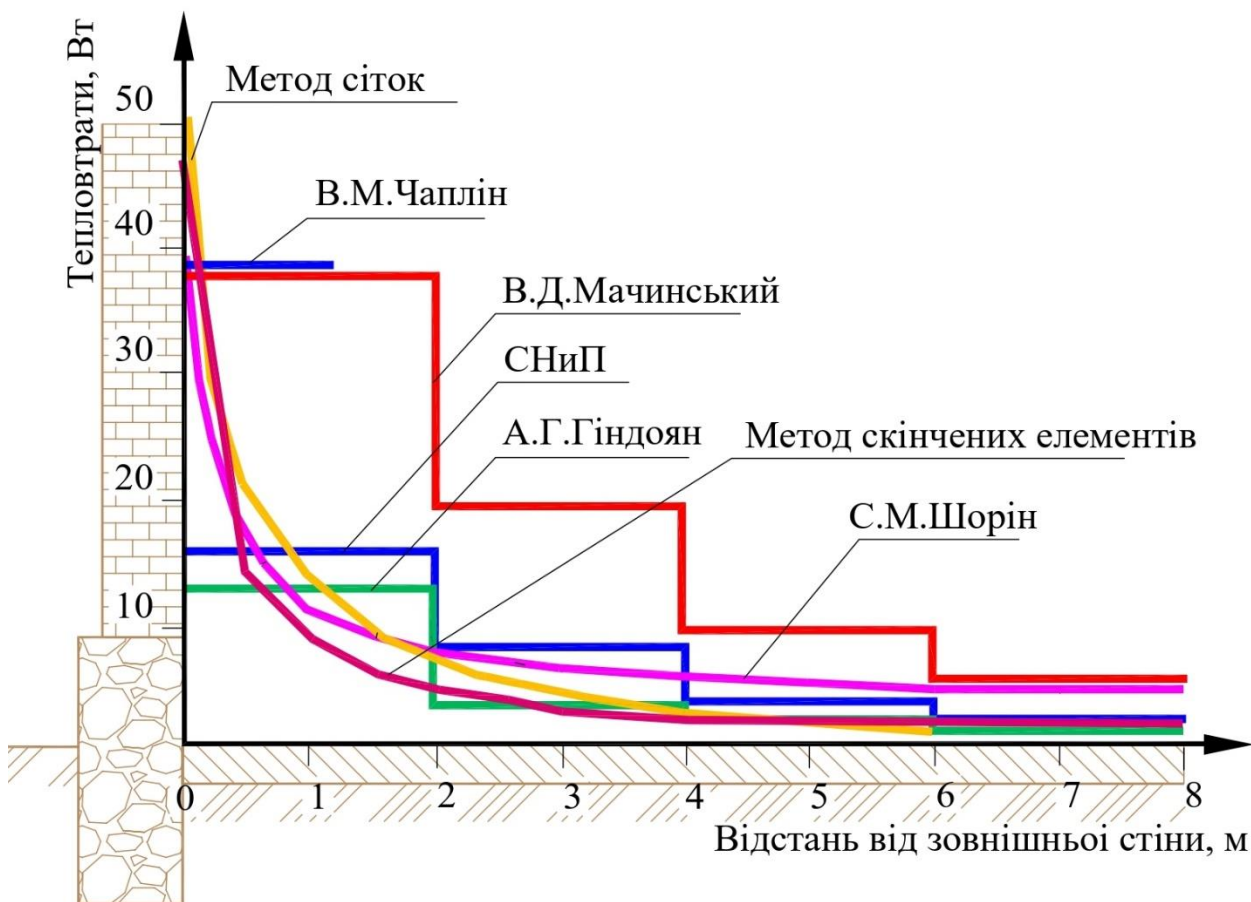


Рисунок 2.8 – Теплові втрати підлоги на ґрунті, розраховані різними методами

## 2.5 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто багатовимірну за просторовими координатами картину теплового стану приміщення з електричною теплою підлогою.

2. Визначено конструктивний склад підлоги яка має характерні теплофізичні властивості, для подальшого їх використання в дослідженні обґрунтування ефективності використання електричних кабельних систем для обігріву.

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Застосування електричних кабельних систем обігріву в кліматичних умовах України

Однією з перших задач, розв'язання якої варто шукати є дослідження можливості застосування електричних кабельних систем обігріву для найбільш типових для України кліматичних умов. На рисунку 3.1 наведено монтажну схему кабельного підігріву підлоги.

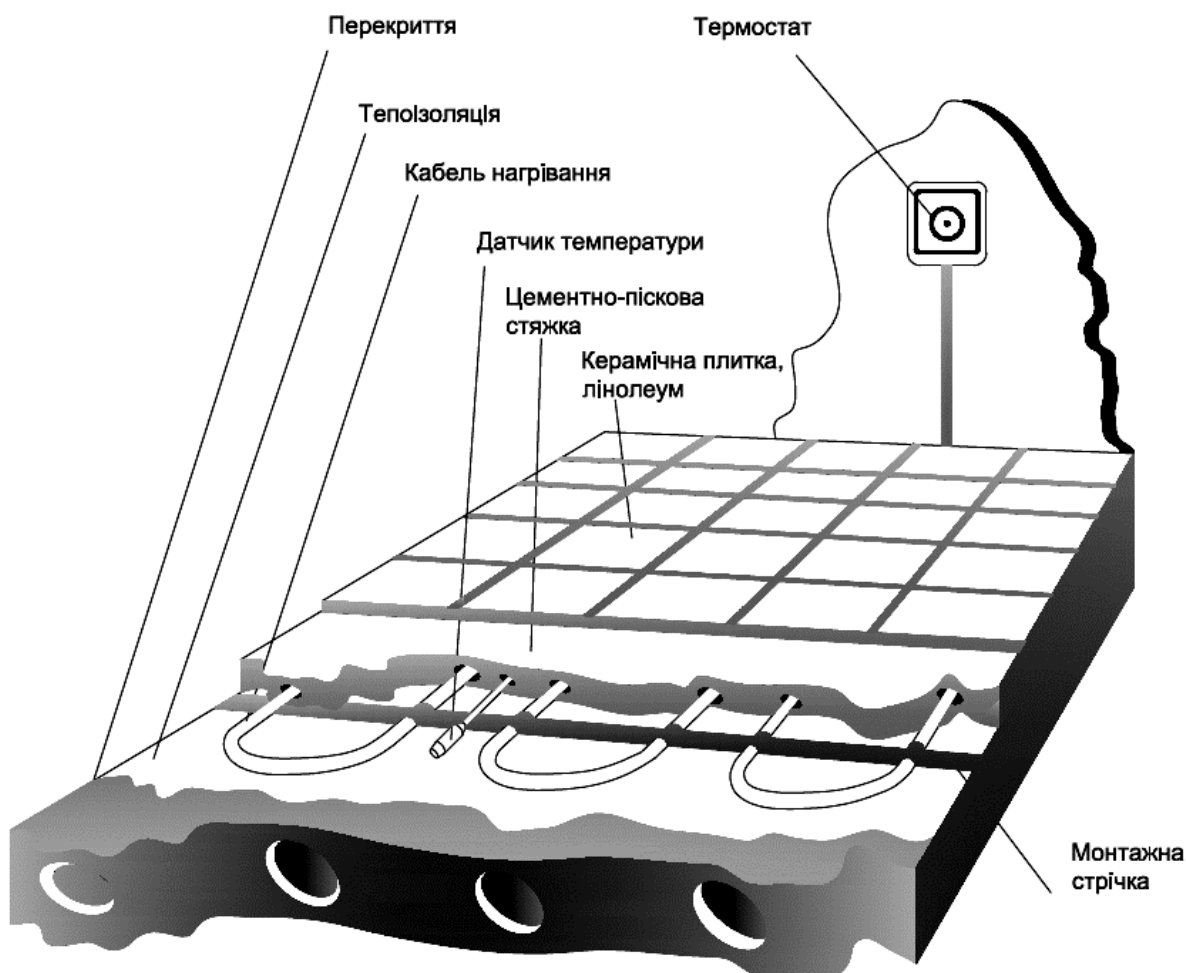


Рисунок 3.1 – Монтажна схема електричного кабельного обігріву

Найхарактерніші для України кліматичні умови знайшли відображення в

таких середніх величинах, як розрахункова температура (температура найбільш холодної п'ятиденки), середня температура найбільш холодного місяця, середня опалювальна температура, величина градусо-діб тощо. З цих даних випливає, що основний час експлуатації опалювальних систем приміщень відбувається не при розрахунковій температурі (наприклад, найхолоднішої п'ятиденки для Тернопільської області з температурою мінус 22 °С), а при температурних напорах у 1,5-2,0 рази менших. Ця обставина стимулює пошук нових планувально-технічних вирішень, у тому числі в галузі електроопалювальних технологій. Таким чином, виходячи з існування двох характерних режимів – середньоопалювального й екстремального – при дослідженні було б доцільно передбачати можливість його проведення для двох випадків експлуатації: в середньоопалювальному режимі (з розрахунковою температурою мінус 5,1 °С; фактично в експерименті мінус 6 °С) і в екстремальному режимі (з розрахунковою температурою мінус 22 °С; фактично в експерименті мінус 25 °С).

Результати експериментального дослідження свідчать, що навіть екстремальний режим може бути забезпечений технологією кабельного обігріву. Тобто без перевищення допустимої температури жили кабелю при нормованих опорах теплопередачі зовнішніх огорожень і без додаткових енергоощадних заходів, технологія кабельного обігріву спроможна утримати температуру приміщення на нормованому рівні при розрахунковій температурі мінус 22 °С (в експерименті фактично  $t_3 =$  мінус 25 °С) і тим більше при середньоопалювальній температурі.

### **3.2 Дослідження енергоощадних режимів роботи електричних кабельних систем обігріву**

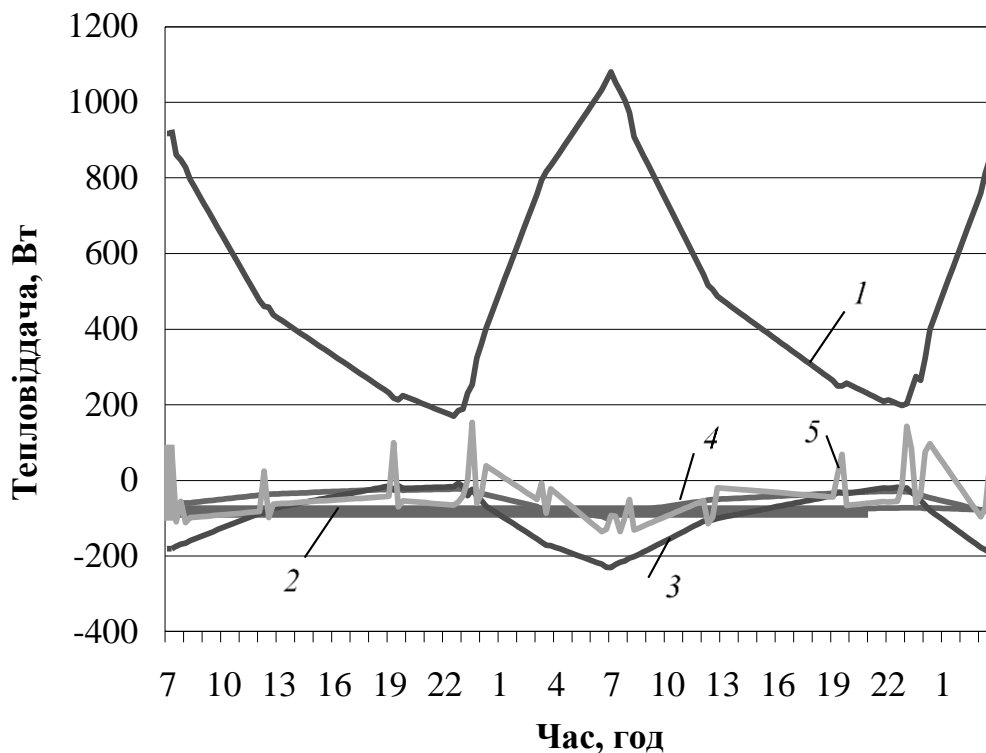
Основним енергоощадним фактором кабельної технології обігріву, що дає змогу одержати прямі чисельні дані про її енергоощадний ефект, є можливість її роботи в теплоаккумуляційному режимі. В процесі досліджень

реалізовувались найбільш прості теплоакumuляційні режими – з однократною 8-годинною зарядкою. При цьому, внаслідок того, що варіація конструктивних характеристик (наприклад, зміна товщини і типу теплоізоляційного шару, акумуляційного шару, глибини залягання нагрівального кабелю та його типу тощо) у натурному експерименті дуже обмежена, постало вирішення питання про доцільну товщину акумуляційного шару підлоги (тобто про теплоємність акумуляційного шару підлоги). Експериментальні дослідження були проведені тільки для двох товщин акумуляційного шару – 90 см і 160 см. При збільшенні товщини шару збільшується здатність підлоги акумулювати теплоту, але при цьому зростає витрата матеріалів і навантаження на будівельні конструкції. При циклічних коливаннях теплового навантаження, відповідно до теорії теплопровідності, існує гранична товщина шару більше якої подальше нарощування товщини акумуляційного шару не впливає на температуру приміщення. Товщина акумуляційного шару для випадку важкого бетону лежить у межах 100 см. Як і очікувалося, у теплоакumuляційних процесах «взяла» участь теплоємність усіх огорожувальних конструкцій, у тому числі внутрішніх стін та стелі.

В цілому виявилось, що температура поверхні підлоги й амплітуда коливання температури внутрішнього повітря при заданих розрахункових температурах зовнішнього повітря і даних тепловтратах не завжди відповідали відповідним нормативним значенням.

При цьому перепад температур між внутрішнім повітрям і поверхнею стін і, відповідно, теплові потоки до стін (рисунок 3.2) (криві 2,3,4,5) в процесі зарядження підлоги та збільшення його температури зростають. Водночас аналіз показів термопар, розміщених на зовнішній поверхні стін показав, що перепад температур між стінами і зовнішнім повітрям і, відповідно, теплові втрати у навколишнє середовище залишаються практично постійними. Це дає підставу для висновку про те, що всі внутрішні зміни теплового стану приміщення при переході на електроакumuляційне опалення практично не впливають на величину втрат теплоти будинку в навколишнє середовище.

Тому має місце підвищення теплових потоків до стін у період зарядження, що сприяє зменшенню теплових потоків до стін у період його розрядження, і, таким чином, згладжується коливання температури внутрішнього повітря у приміщенні.



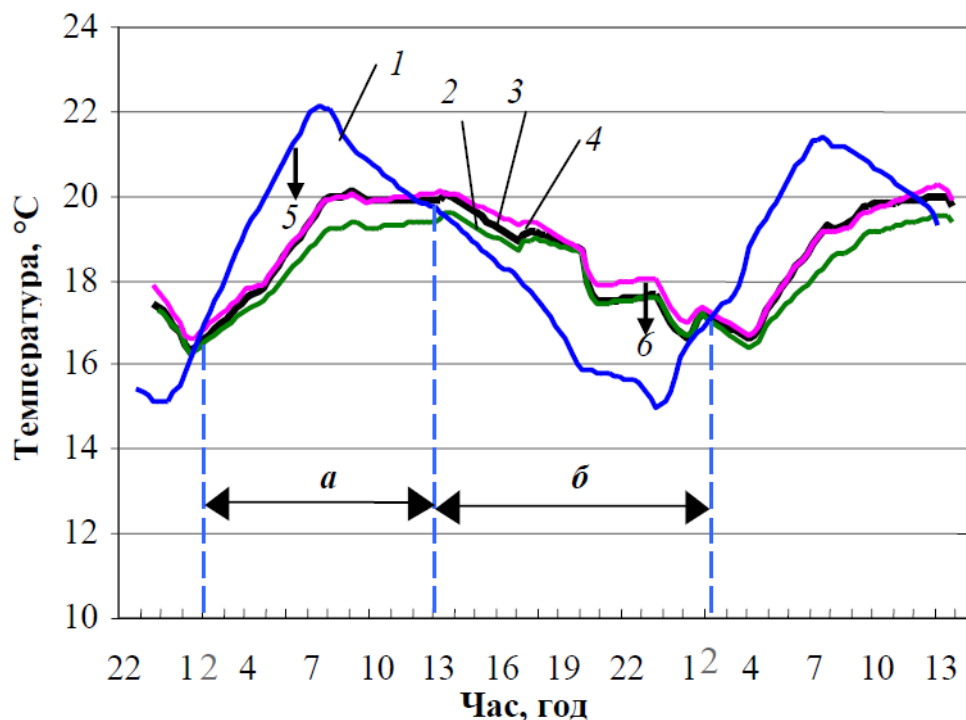
1 – крива тепловіддачі підлоги у приміщення; 2 – вікна; 3 – фасадної стіни; 4 – торцевої стіни; 5 – підвал.

Рисунок 3.2 – Графік коливань тепловіддачі підлоги та зовнішніх огорожень.

Ще більш наочне уявлення про позитивну участь стін будинку дають графіки зміни температур поверхні внутрішніх стін і стелі, на якому чітко (рис. 3.2) видно періоди, коли температури поверхонь (криві 2,3,4) нижче, а коли вище температури повітря в приміщенні (крива 1). З рисунку 3.2 видно, що тепла підлога працює 8 годин (з 23-ї години ночі до 7-ї години ранку), то внутрішні стіни й стеля протягом 11 годин (починаючи з 2-х годин ночі до 13-ти годин дня) одержують теплоту (стрілка до стін, позиції 5, інтервал *a*) від внутрішнього повітря в приміщенні, а віддають теплоту (стрілка від стін, позиція 6, інтервал *b*) повітря протягом інших 13 годин (до 2-х години ночі),



коли електропідлога не працює. Це згладжує коливання температури повітря, створювані періодичною роботою електропідлоги.



*Криві температури:* 1 – внутрішнього повітря; 2 – глухої внутрішньої стіни;

3 – внутрішньої стіни з дверима; 4 – стелі.

Рисунок 3.2 – Графік коливань температури внутрішніх стін, стелі та внутрішнього повітря.

*а* – внутрішні стіни одержують теплоту від повітря протягом 11-ти годин;

*б* – внутрішні стіни віддають теплоту повітря протягом 13-ти годин.

Оцінку значимості участі внутрішніх стін можна одержати із зіставлення кількості теплоти, переданої теплою підлогою, з теплосприйняттям (або тепловіддачею, залежно від напрямку теплових потоків у певний момент часу) внутрішніх стін і стелі.

З графіків рисунок 3.2 видно, що сумарна амплітуда коливань теплосприйняття внутрішніх огорожень: для стелі – 436 Вт, для глухої стіни – 291 Вт і для стіни з дверима – 363 Вт. Сумарну теплову акумулюючу потужність, яка

віддається внутрішніми огороженнями, можна оцінити як  $(436 + 363 + 291) / 2 = 545$  Вт.

Якщо врахувати, що електропідлога віддає в приміщення в середньому 1 103,5 Вт, а максимальна потужність, що віддається в приміщення, становить 2 100 Вт, то стає очевидним, що внутрішні огороження вносять досить істотний внесок у процес теплообміну в приміщенні з теплою підлогою, що працює за періодичним графіком.

На досліджуваному модулі відтворювалися розрахункові зовнішні й внутрішні впливи, у тому числі температура й швидкість зовнішнього повітря, розрахунковий приплив у приміщення вентиляційного повітря з розрахунковою зовнішньою температурою, заданий режим і регламент опалення. Нестационарні режими теплоакumuляційного опалення для кожного дослідження задавалися за даними попередньо дослідженого стаціонарного режиму з цілодобовим опаленням. Після стабілізації теплового стану всіх елементів моделі виконувались прямі виміри всіх потрібних теплових параметрів.

Електрична потужність при рівномірній цілодобовій роботі двох ярусів нагрівальних кабелів гріючої підлоги становить 1 315 Вт. При імпульсній роботі в інтервалі зарядження (8 год/діб) електрична потужність зростає втричі і складає 3 945 Вт.

Гріюча підлога була змонтована на поверхні типових 6-пустотних панелей по типовій п'ятишаровій конструкції, що включає нагрівальний кабель, 25 мм теплоізолювальний шар, 80 мм теплоакumuляційний шар з важкого бетону (суміш щебеню з розмірами фракцій 20...40 мм і гравію з розмірами фракцій не більше 10 мм) і систему контролю й керування, з якої для спрощення експерименту був виключений лицьовий шар (лінолеум, паркет і т.п.), а технологічна цементно-піщана стяжка висотою 10 мм в особливий шар не виділялася. На рисунку 3.3 зображено момент бетонування елементів системи у гріючу підлогу.

Вимірювання температури в середині електропідлоги здійснювалась групами хромель-копелевих термопар.

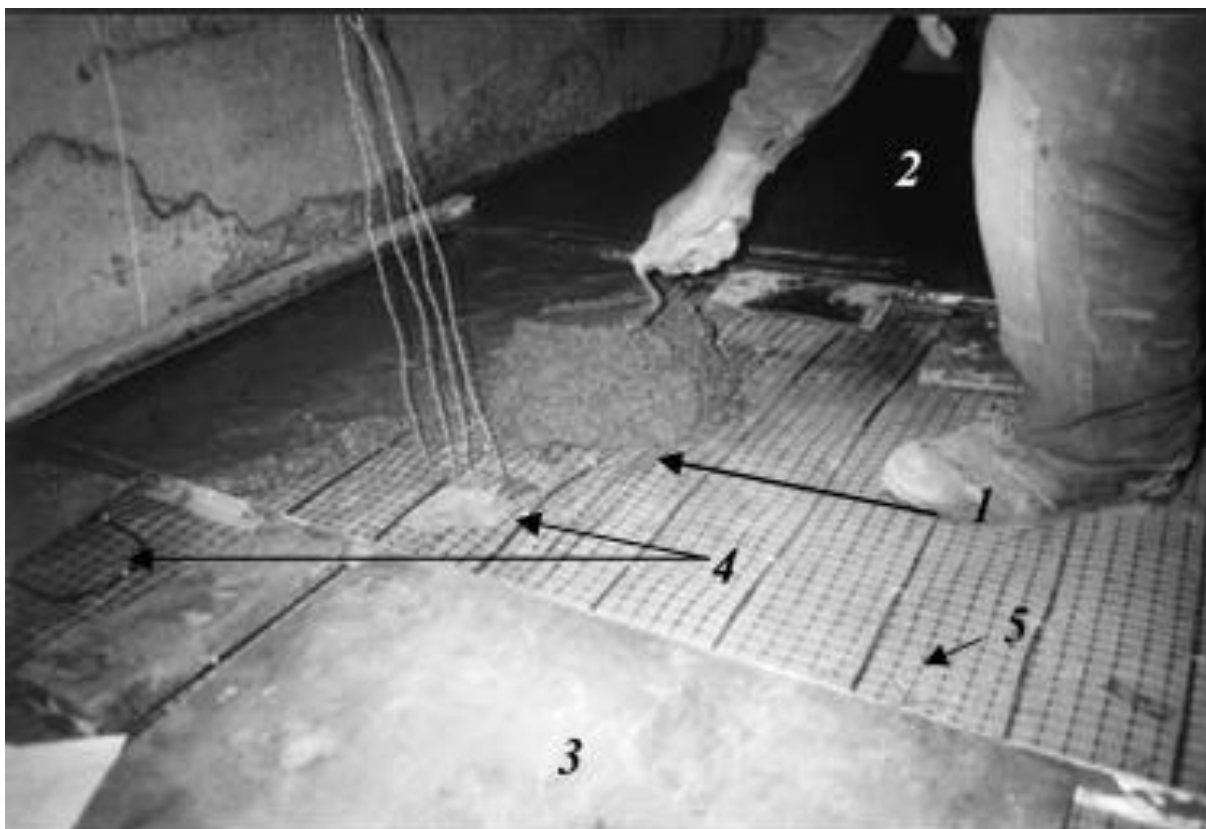


Рисунок 3.3 – Монтаж датчиків температури (1); свіжозалита (2) та готова секції (3) гріючої підлоги. Нагрівальний кабель (4), змонтований на монтажній сітці (5) в проміжній цементно-піщаній стяжці.

Вимірювання проводилися за графіком: зарядження з 9-ї до 17-ї (8 год); розрядження з 17-ї до 9-ї (16 год), тобто основні операції і вимірювання, пов'язані з вмиканням і вимиканням електропідлоги, припадали на денний час, а вночі проводились тільки вимірювання при ввімкненій системі опалення. Вимірюванням параметрів електропідлоги, в кожному експерименті при теплоаккумуляційному режимі її роботи передували вимірювання в сталому стані. Умовами виходу на стале значення приймалися незмінність чисельних значень характерних температур протягом доби при безперервному надходженні електроенергії. Було проведено п'ять серій експериментів при зміні за інших рівних умов одного або декількох основних параметрів.

На рисунках 3.4 - 3.11 наведені дані коливання температур на тепло-передавальних огороженнях натурального приміщення у порівнянні з розрахунковими значеннями.

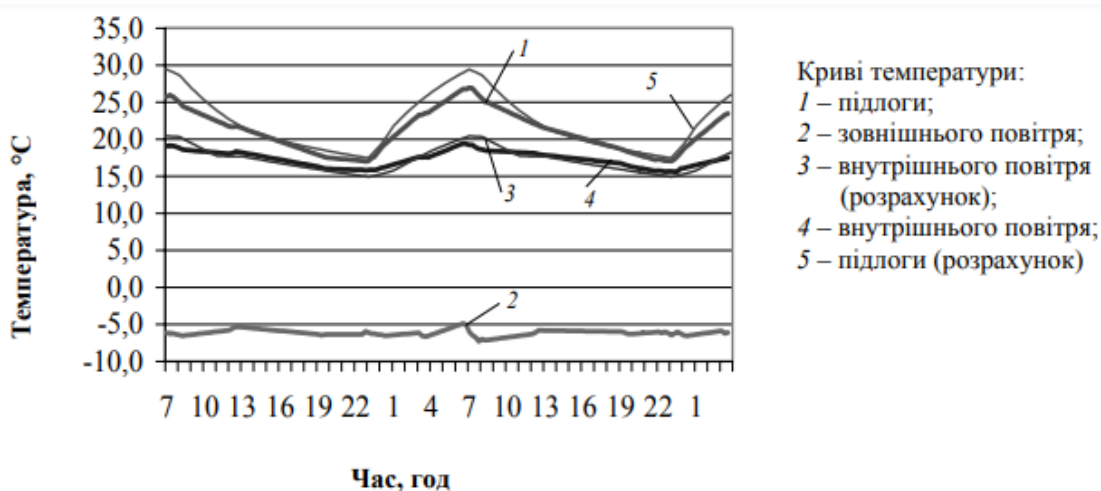


Рисунок 3.4 Графіки коливань температури підлоги та внутрішнього повітря

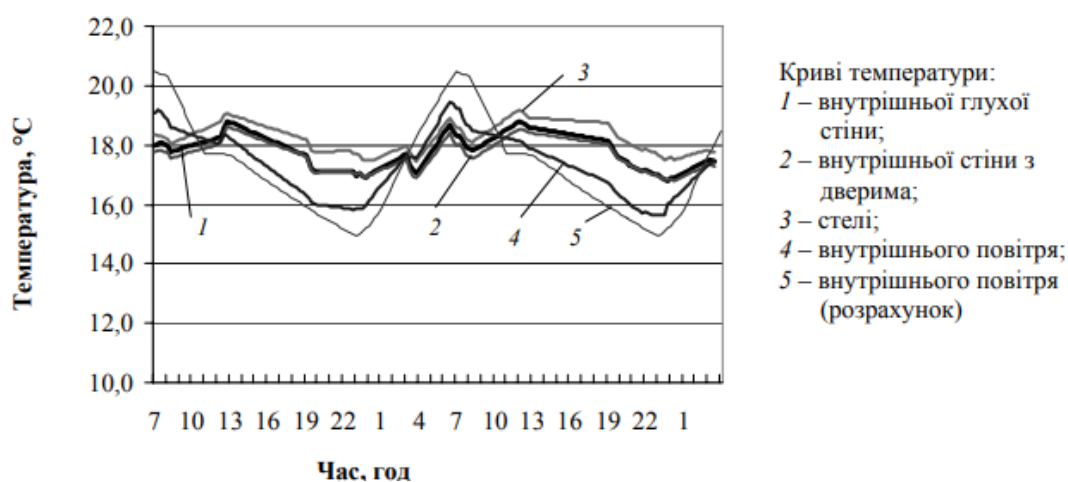


Рисунок 3.5 – Графіки коливань температури внутрішніх стін, стелі та внутрішнього повітря

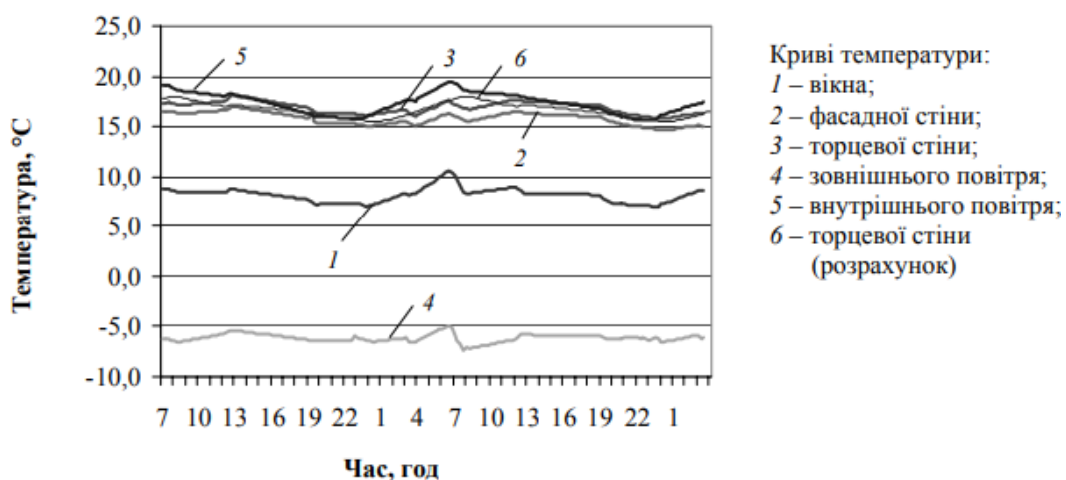


Рисунок 3.6 – Графіки коливань температури зовнішніх огорожень та внутрішнього повітря

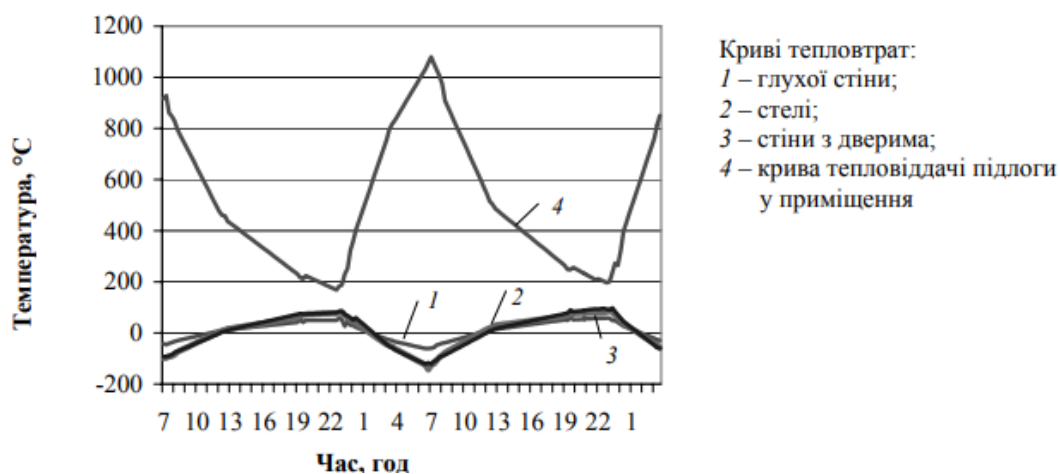


Рисунок 3.7 – Графіки коливань температури підлоги та внутрішніх стін.

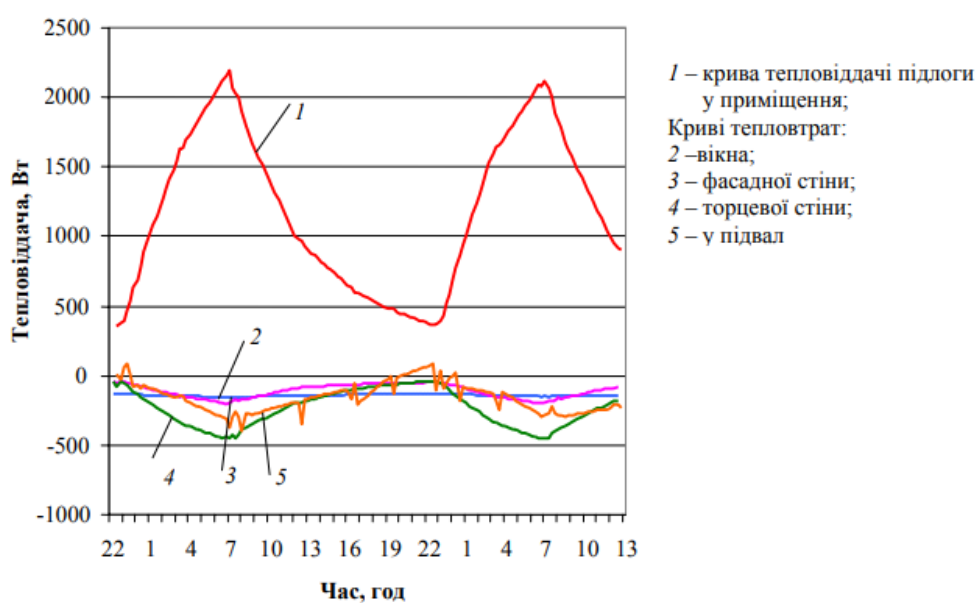


Рисунок 3.8 – Графіки коливань тепловіддачі підлоги та зовнішніх огорожень

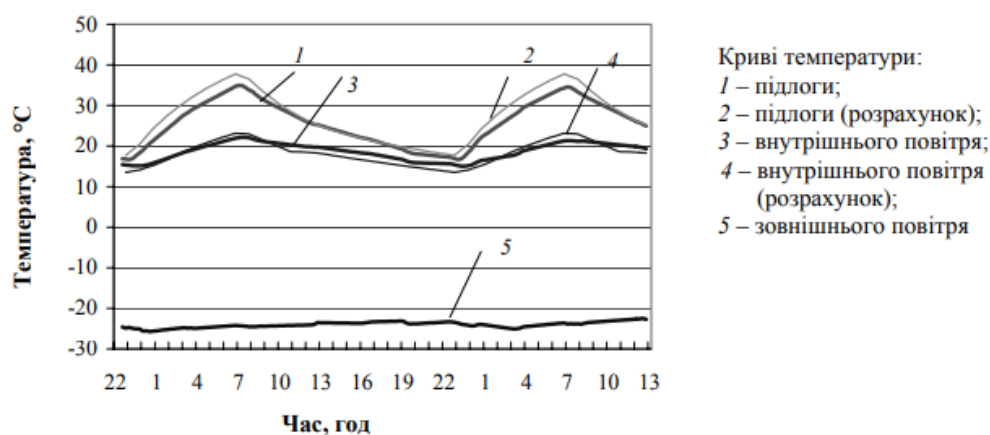


Рисунок 3.9 – Графіки коливань температури підлоги та внутрішнього повітря.

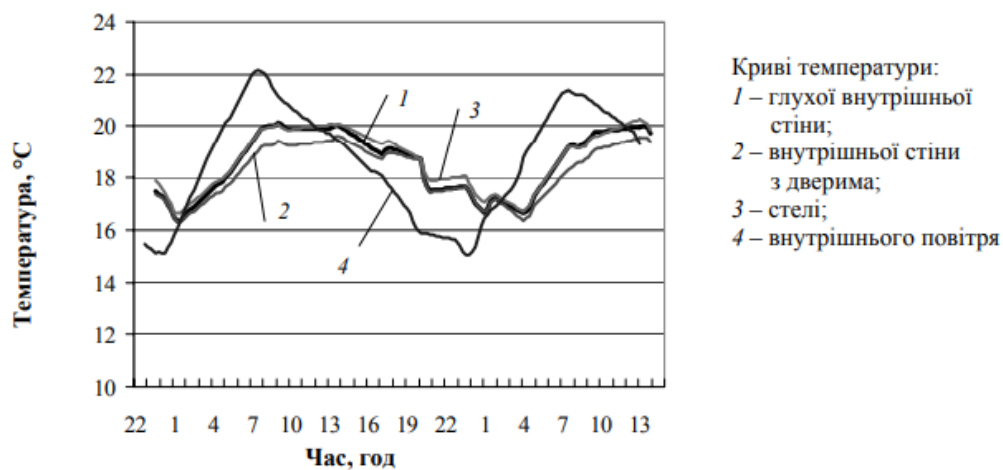


Рисунок 3.10 – Графіки коливань температури внутрішніх стін, стелі та внутрішнього повітря.

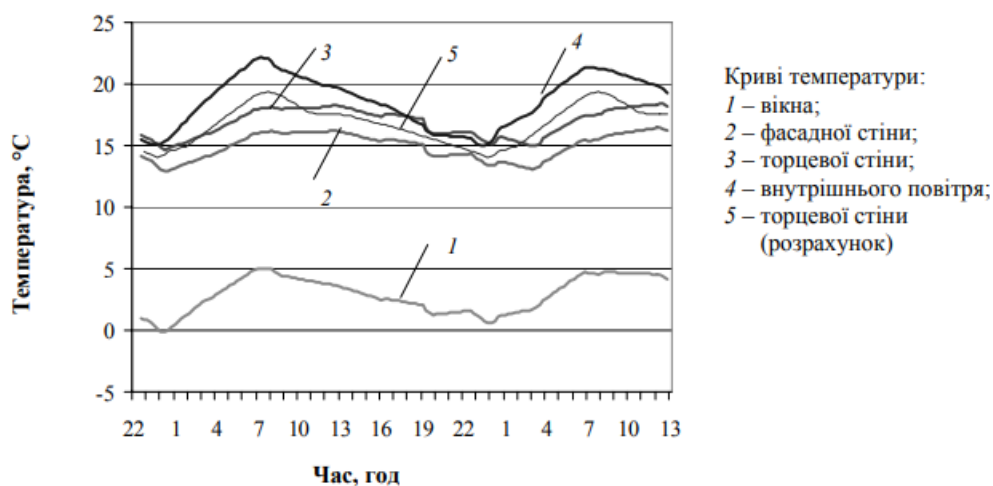


Рисунок 3.11 – Графіки коливань температури зовнішніх огорожень та внутрішнього повітря.

### 3.3 Нагрівальні кабелі для електричних кабельних систем обігріву

Набільшою статтею капітальних вкладень при облаштуванні кабельної системи електрообігріву є нагрівальний кабель - високотехнологічний складний електротехнічний виріб. Раніше якісні кабелі виготовлялися лише обмеженим колом компаній. На ринку домінувала продукція декількох іноземних (норвезьких, датських, фінських, канадських, іспанських) фірм. Нещодавно Україна також стала однією з країн де організовано виробництво сучасних

нагрівальних кабелів широкої номенклатури, застосування яких дає змогу відчутно знизити собівартість послуг з електрообігріву.

Нагрівальні кабелі призначені, насамперед, для систем обігріву житлових і промислових будівель та споруд, причому обігрів підлоги (стін) у будівлях будь-якого типу в жодному разі не вичерпує можливий діапазон їх використання. Так, ці кабелі використовуються для обігріву дахів будинків (захист від намерзання), наземних майданчиків, продуктопроводів, водопроводів тощо. Широкий діапазон застосування кабелів обумовлений як тривалим досвідом їх експлуатації у всіх регіонах, так і раціональною конструкцією самих кабелів. На рисунку 3.12 наведено будову нагрівального кабелю.

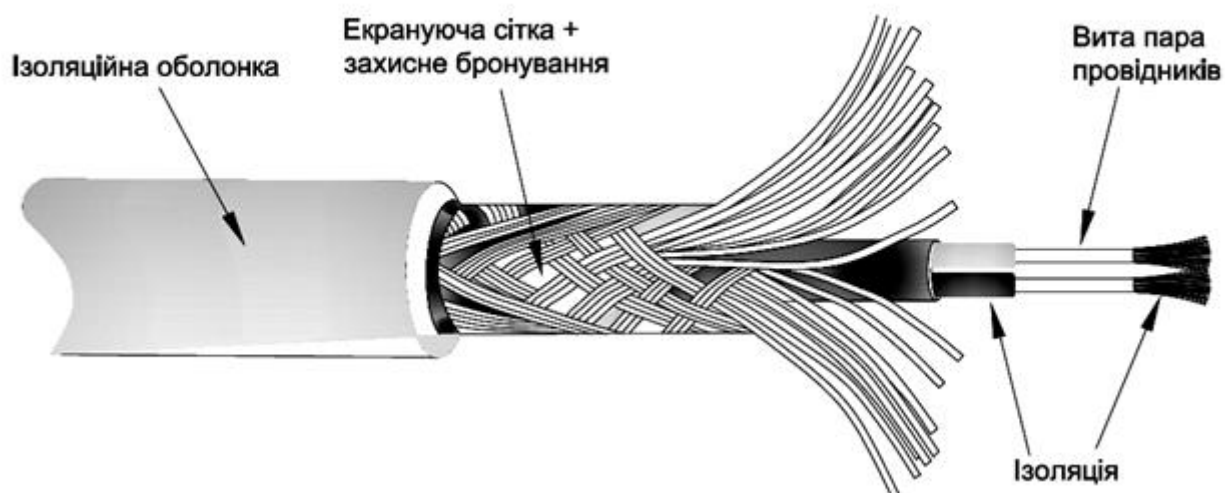
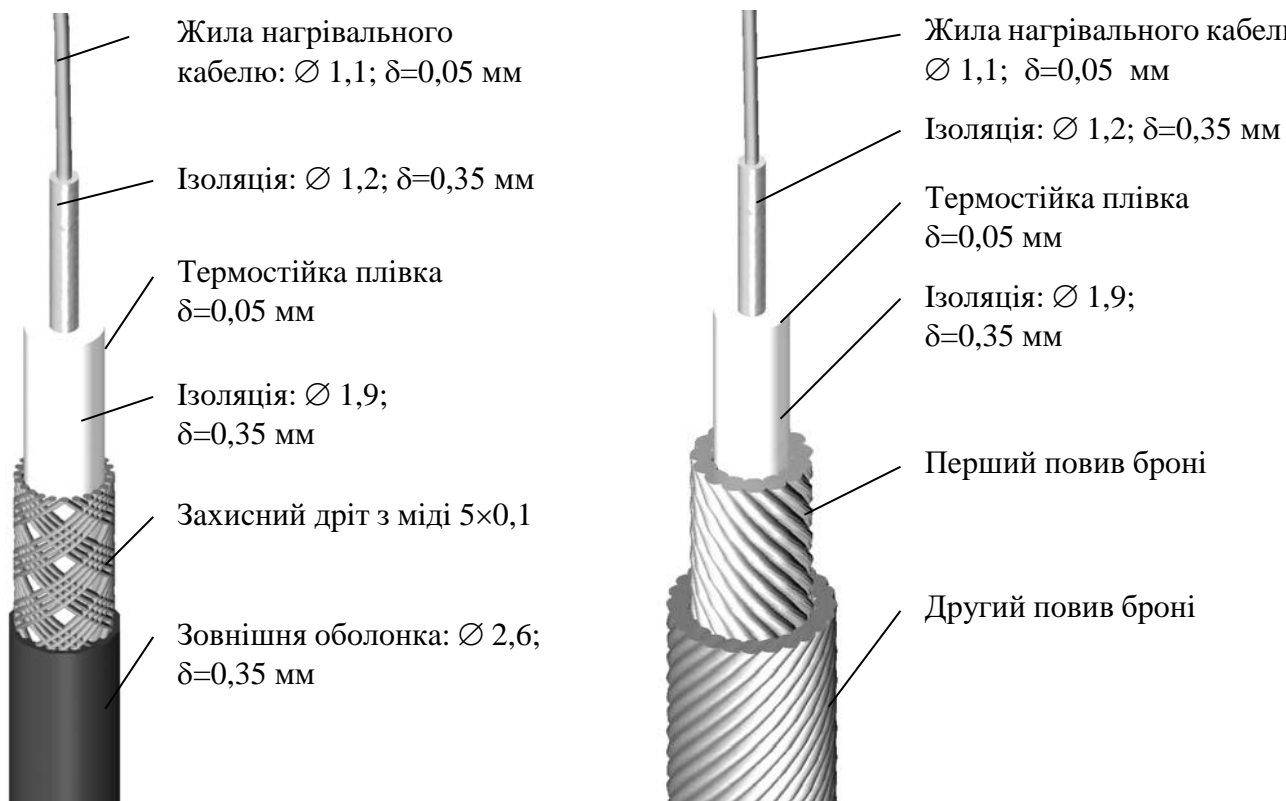


Рисунок 3.12 – Конструкція нагрівального кабелю для електроопалення.

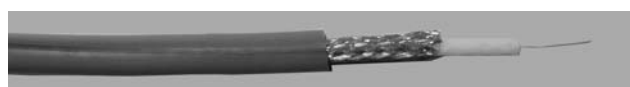
Розглядаючи конструкцію нагрівальних кабелів ВАТ «Одескабель», необхідно відзначити також високу надійність усіх її складових. Наприклад, досить відомий в Україні одножильний екранований кабель виготовляється з ізоляцією зі зшитого поліетилену - найбільш стабільного та довговічного електроізолятора, що використовується при виготовленні нагрівальних кабелів. Екран виготовлюється з мідного обплетення, яке захищене від механічних впливів міцною оболонкою з ПВХ. Ці особливості дають змогу використовувати кабель у будь-яких атмосферних умовах, не боячись за його електричну і механічну міцність.



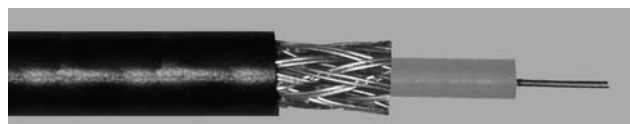
а



Одножильний нагрівальний кабель



Одножильний нагрівальний кабель



Одножильний нагрівальний кабель з ізоляцією яка не піддається ультрафіолетовому випромінюванню



Двожильний нагрівальний кабель

б



Одножильний броньований кабель з одноповивною бронєю



Одножильний броньований кабель з одноповивною бронєю та ПВХ ізоляцією

в

Рисунок 3.13 – Нові нагрівальні кабелі (ТУ У 31.3-05758730-029-2004):

а – структура броньованих нагрівальних кабелів; б – нагрівальні кабелі з ПВХ ізоляцією; в – броньовані нагрівальні кабелі



Тепловиділяючим елементом нагрівальних кабелів є металева жила одно- або багатодротова із іржостійкої сталі, міді або латуні з лінійним тепловиділенням 18-30 Вт/м.

Одним із основних конструктивних елементів нагрівальних кабелів є ізоляція.

Для нагрівальних кабелів було підбрано двошарову комбіновану ізоляцію, що дозволяє витримувати робочу температуру до 105-420 °С. А оскільки температура нагрівальної жили не перевищує 70 °С, то завдяки такій ізоляції легше витримуються експлуатаційні перевантаження та подовжується термін експлуатації кабелю.

Для систем електроопалення розроблено броньований кабель з одного і двох шарів броні. Його можна застосовувати у складних умовах, коли в процесі монтажу й експлуатації діють механічні навантаження ударного, згинального, крученого, стискаючого видів. Броньовані кабелі відзначаються підвищеною стійкістю до теплових перевантажень завдяки незначному термічному опору броні та підвищеній теплостійкості ізоляції. Нові кабелі характеризуються підвищеною теплостійкістю, досягнутою за рахунок оптимізації характеристик теплоізоляційних матеріалів за їх тепловими властивостями й геометричним розміром.

У таблиці 3.1 та 3.2 наведено відомості про деякі нагрівальні кабелі.

Таблиця 3.1 – Номенклатура одножильного екранованого нагрівального кабелю

Марка кабелю	Питомий опір, Ом/м	Секції, число відповідає лінійному тепловиділенню, Вт/м			
		«ЕКСОН» 18		«ЕКСОН» 25	
		потужність, Вт	довжина, м	потужність, Вт	довжина, м
1	2	3	4	5	6
КННаВЕВ	80,15	100	6	150	6,3
КННаВЕВ	54,50	100	9	170	6,9
КННаВЕВ	44,08	150	8	250	10,0
КННаВЕВ	20,99	200	12	360	14,5
КННаВЕВ	10,03	300	17	480	19,4
КНСаВЕВ	5,60	400	23	600	24,3
КНСаВЕВ	3,57	500	29	600	24,3
КНСаВЕВ	2,55	600	34	720	28,8

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
КНСaBEВ	1,115	900	51	1100	43,6
КНСaBEВ	0,909	1000	57	1200	48,2
КНСaBEВ	0,631	1200	68	1400	57,9
КЛСаВЕВ	0,463	1400	80	1700	67,6
КЛСаВЕВ	0,319	1700	96	2000	81,4
КЛСаВЕВ	0,212	2100	118	2500	99,9
КЛСаВЕВ	0,155	2400	138	2900	116,8 _
КЛСаВЕВ	0,098	3100	173	3700	146,9 _
КЛСаВЕВ	0,068	3700	208	4400	176,4 _
КЛСаВЕВ	0,056	4100	229	4900	194,4 _
КЛСаВЕВ	0,04	4900	271	5800	230,0

Для зручності використання нагрівального кабелю при його монтажі на будівельному об'єкті попередньо в цеху виготовляють нагрівальні секції (або комплекти), які відповідають модельному ряду для площі підлоги яку планується обігрівати (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Рекомендована потужність системи обігріву «тепла підлога»

Площа підлоги, м <sup>2</sup>	Рекомендована потужність при напрузі	
	220В, Вт	Довжина кабелю, м
1,5-2,0	275	17,6
2,0-3,0	370	23,5
3,0-3,8	460	29,4
3,8-4,5	550	35,3
4,5-5,3	640	41,2
5,3-6,5	780	50
6,5-7,5	910	58,8
7,5-9,5	1140	73,5
9,5-10,5	1280	82,3
10,5-13,3	1600	102,9
13,3-16,5	2000	129,4
16,5-21,0	2550	164,7
21,0-27,0	3280	211,7

У таблиці 3.2 та 3.3 містяться рекомендації щодо вибору кабельних секцій та укладання кабелю залежно від типу приміщення та площі його обігріву. Дані справедливі для усіх видів покриття підлоги.

Таблиця 3.3 - Рекомендована потужність обігріву для різних типів приміщень і вибір лінійної потужності кабельних секцій.

Тип приміщення	Питома потужність, Вт/м <sup>2</sup>		Потужність секції, Вт/м <sup>2</sup>		
	середня	максим.	10	18	25
Ванна	100-150	200	+	+	-
Вітальня	90 -120	160	+	+	-
Прихожа	80 -120	200	+	+	-
Туалет			+	+	-
Спальня			+	+	-
Коридор			+	+	-
Дитяча			+	+	-
Підвал	80-160	200	+	+	+
Кімната для прання	80-100	200	+	+	-
Дерев'яна підлога на лагах	60-80	90	+	-	-
Тонка підлога	100-120	160	+	+	-
_Офіс	80-100	200	+	+	-
Система акумуляції тепла		200	-	-	+

### 3.4 Вплив теплофізичних властивостей матеріалів на роботу електричних кабельних систем обігріву

З теорії теплопровідності будівельних конструкцій відомо, що затухання теплових коливань у стіні залежить від коефіцієнта теплопровідності матеріалу. Отже, іншим методом зміни коливань температури в середині підлоги і, отже, в середині опалюваного ним приміщення, є зміна зазначених властивостей матеріалу підлоги. Водночас практично не вивчене питання застосування для гріючих підлог легких матеріалів з низькою теплопровідністю, що успішно застосовуються в конструкціях електричних теплоакуюлюючих підлог.

Як показує аналіз довідкових даних, у зміну коефіцієнта теплопровідності найменший внесок дає теплоємність матеріалу, що для багатьох будівельних матеріалів без великої похибки може бути прийнята постійною  $c = 840$  Дж/(кг·°С). Це дозволяє зменшити кількість факторів, що залежать від вибору матеріалу, до двох: теплопровідність і щільність. Зміна цих властивостей для виробів з різних бетонів наведені в таблиці 3.4. Як видно з цих даних, для

бетонів закономірним є одночасне зменшення і теплопровідності, і щільності. Там ж наведені значення добутку ( $\lambda \cdot \rho$ ), які змінюються в дуже широкому діапазоні від 5 до майже 5 000 і комплексу  $(\lambda \cdot \rho)^{0,5}$ , що входить у коефіцієнт тепло-провідності.

Таблиця 3.4 – Деякі властивості бетонів, що застосовуються у будівництві

Тип бетону	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda \cdot \rho$	$(\lambda \cdot \rho)^{0,5}$
Бетон на гравію та щебеню з природного каменю	2,04	2400	4896	70
Пемзобетон	0,68	1600	1088	33
	0,26	800	208	14,4
Керамзитобетон	0,92	1800	1656	40,7
	0,23	500	115	10,7
Перлітобетон	0,50	1200	600	24,5
	0,23	600	138	11,7
Газо- та пінобетон	0,47	1000	470	21,7
	0,13	300	39	6,2
Перлітопластобетон	0,06	200	12	3,5
	0,05	100	5	2,2

Наведені дані не претендують на узагальнення за властивостями бетонів, вони тільки ілюструють припущення про те, що властивості матеріалу підлоги можуть бути змінені в широкому діапазоні, здатному вплинути на температуру його поверхні, температуру повітря й інші параметри приміщення.

### 3.5 Ефективність застосування для обігріву електричних кабельних систем

Більша частина України за кліматичними умовами належить до першої температурної зони, у якої величина градусо-днів більш ніж 3 501. Кількість міст з розрахунковою температурою зовнішнього повітря, менших за мінус 18 °С становить 30 або 79 % (у тому числі Київ, Запоріжжя, Хмельницький, Івано-Франківськ, Львів, Одеса, Суми, Харків, Херсон тощо) із загальної кількості 38-ми міст, для яких ці температури нормовані). Аналіз кліматичних умов України свідчить, що в Україні навіть при найбільш жорстких кліматичних умовах у принципі можливий обігрів об'єктів різного призначення за рахунок

застосування електричних кабельних системи обігріву (таблиця 3.5). Проте оскільки середньоопалювальна температура (наприклад, для Києва мінус 1,1 °С)

Таблиця 3.5 – Параметри і режими електрообігріву типового житлового модуля відповідно до розрахункових умов І кліматичної зони (Київська і Хмельницька області)

Параметри		Одиниці вимірювання	Значення	
1		2	3	
Розрахункова зовнішня температура		°С	- 22	
Інтенсивність тепловиділення		Вт/м <sup>2</sup>	60	
Крок укладання кабелю		м	0,16	
Параметри підлоги	лицьовий шар	матеріал	ковролін	
		товщина	м	0,012
	теплоаккумуляційний шар	матеріал	важкий бетон	
		товщина	м	0,1
	товщина стяжки під кабелями		м	0,03
	товщина теплогідроізоляції під стяжкою		м	0,03
	товщина залізобетонного перекриття під теплогідроізоляцією		м	0,06
товщина залізобетонних перекриттів		м	0,06	
Параметри кабелю	радіус жили кабелю		мм	0,28
	радіус 1-го шару ізоляції ПХВ		мм	1,48
	радіус шару обплетення		мм	2,08
	радіус 2-го шару ізоляції ПХВ		мм	2,88
Параметри приміщення	висота		м	3,0
	розмір стін 1 і 3		м	5,0
	розмір стін 2 і 4		м	3,0
	площа вікна 1 на стіні 1		м <sup>2</sup>	0,0
	площа вікна 2 на стіні 2		м <sup>2</sup>	3,96
Товщини стін	товщина стіни 1		м	0,1
	товщина стіни 2		м	0,34
	товщина стіни 3		м	0,1
	товщина стіни 4		м	0,1
Товщина стелі (товщина підлоги 2-го поверху)		м	0,307	
Товщина вікон		м	0,1	
Багат шарова стіна 1	товщина шару 1		м	0,01
	товщина шару 2		м	0,03
	товщина шару 3		м	0,03
	кількість дільниць в шарі 1		шт.	5
	кількість дільниць в шарі 2		шт.	6
	кількість дільниць в шарі 3		шт.	5

Продовження таблиці 3.5

1		2	3
Багатошарова стіна 2	товщина шару 1	м	0,01
	товщина шару 2	м	0,09
	товщина шару 3	м	0,18
	кількість дільниць в шарі 1	шт.	2
	кількість дільниць в шарі 2	шт.	8
	кількість дільниць в шарі 3	шт.	6
Багатошарова стіна 3	товщина шару 1	м	0,01
	товщина шару 2	м	0,03
	товщина шару 3	м	0,03
	кількість дільниць в шарі 1	шт.	5
	кількість дільниць в шарі 2	шт.	6
	кількість дільниць в шарі 3	шт.	5
Багатошарова стіна 4	товщина шару 1	м	0,01
	товщина шару 2	м	0,03
	товщина шару 3	м	0,03
	кількість дільниць в шарі 1	шт.	5
	кількість дільниць в шарі 2	шт.	6
	кількість дільниць в шарі 3	шт.	5
Розрахункова температура в кімнаті	середнє значення	°C	16,55
	максимальне значення	°C	17,42
	мінімальне значення	°C	15,61
	амплітуда коливань $A_Q/2$	°C	0,90
Температура на лицьовій поверхні підлоги	середнє значення	°C	26,19
	максимальне значення	°C	29,90
	мінімальне значення	°C	22,70
	амплітуда коливань $A_Q/2$	°C	3,60
Інтенсивність тепловиділення з лицьової поверхні підлоги	середнє значення	Вт/м <sup>2</sup>	50,23
	максимальне значення	Вт/м <sup>2</sup>	66,86
	мінімальне значення	Вт/м <sup>2</sup>	36,16
	амплітуда коливань $A_Q/2$	Вт/м <sup>2</sup>	15,36
Максимальна температура жили кабелю		°C	69,48
Середнє значення температури підлоги над віссю кабелю		°C	26,22
Середнє значення температури підлоги між кабелями		°C	26,17
Максимальна температура над віссю кабелю		°C	29,94
Значення критерію (4.5) $P_{гг}$	над віссю кабелю	°C · год	2,21
	між кабелями	°C · год	1,97
	середнє значення	°C · год	2,09

менше розрахункової (для Києва розрахункова температура мінус 22 °C), приблизно, у 20 разів, то на практиці при здійсненні технології електрообігріву необхідно шукати оптимальне співвідношення між капітальними і

експлуатаційними витратами, компроміс між потужністю встановлених джерел теплоти прямої і теплоаккумуляційної дії при безумовному виконанні нормативних вимог щодо опору теплопередачі.

### **3.6 Елементна база облаштування електричних кабельних систем обігріву**

Важливим компонентом технологічного обладнання для електричних кабельних систем обігріву є системи автоматичного керування і різноманітні терморегулятори, до яких підключають нагрівальні кабелі.



Рисунок 3.14 – Загальний вигляд регулятора температури з давачем температури

Функціями системи регулювання є:

- визначення часу і ступеня повноти використання встановленої потужності нічного «заряджання» системи обігріву з одночасним врахуванням (базової) температури приміщення режиму (довільного або циклічного) обігріву та погодних умов з короткочасним метеорологічним прогнозом;
- визначення характеристик теплових імпульсів (амплітуди, частоти, тривалості), найбільш раціональних до конкретного режиму обігріву;

- мінімізації ефекту «зебри» (поперечної нерівномірності температури лицьової поверхні) внаслідок квазістаціонарності режимів «нагрів-охолодження» системи обігріву;
- комутація з централізованими системами обліку енергії.

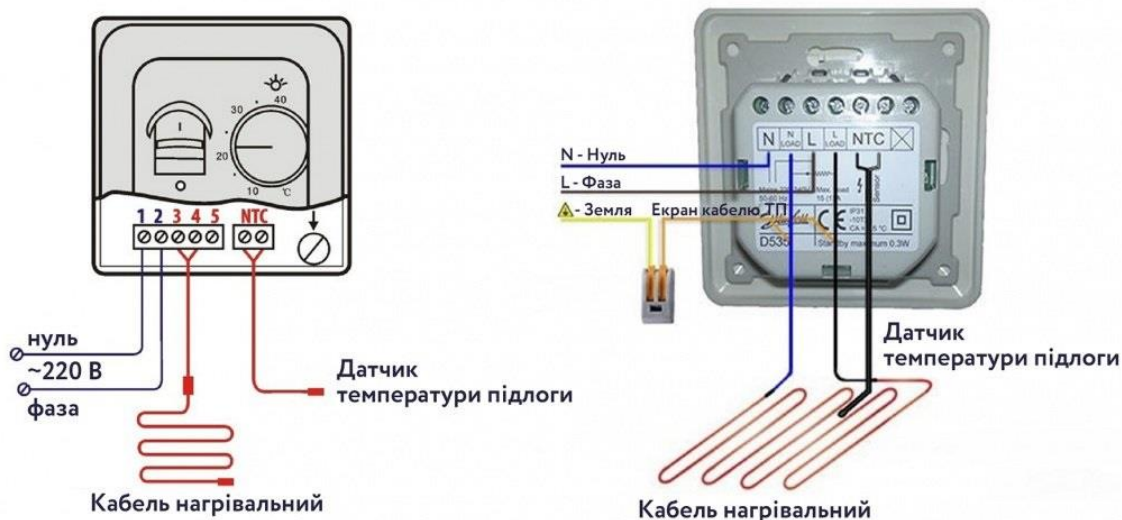


Рисунок 3.15 – Електрична схема підключення регулятора температури

### 3.7 Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання електричних кабельних систем для обігріву

Системи електротеплоаккумуляційного опалення доцільно впроваджувати у такій сільській місцевості, яка, з одного боку, є проблемною з точки зору газифікації, а з іншого боку, в неї існує або передбачається наявність резерву «нічної» електроенергії.

Розглянемо приклад впровадження електричної кабельної систем обігріву школи в с. Ярчівці Тернопільського району. Характеристики типового приміщення школи і параметри кабельної системи електрообігріву наведені у таблиці 3.6. Розрахунок проводився методом приведених витрат, який набув широкого застосування.

Школа на 162 учні (типовий проект № 224-1-441.85), розміщена у



двоповерховому будинку загальною площею  $F=1467,6 \text{ м}^2$ . Відповідно до енергоаудиту розрахункові теплові втрати даного шкільного будинку становлять  $Q=120 \text{ кВт}$ . В якості базового розглядається варіант автономного водяного опалення з секційним котлом, який працює на вугіллі, і теплова потужність якого на кам'яному вугіллі дорівнює  $0,119 \text{ МВт}$ .

Електрична кабельна система обігріву за узгодженням з підприємством електричних мереж, споживає електроенергію у часи нічного мінімуму графіка навантажень електромережі з обов'язковим відключенням в години ранкового та вечірнього максимуму енергоспоживання (з 7-ми до 10-ти та з 18-ти до 21-ї години). Проектом також передбачено індивідуальне автоматичне регулювання температури в кожному з опалювальних приміщень, що економить близько 20 ...30 % електроенергії.

Хмельницька область належить до першої температурної зони з числом градусо- днів опалювального періоду 3763 градусо-доби і допустимими тепловими втратами для двоповерхових будинків  $94 \text{ Вт/м}^2$ .

Таблиця 3.6 – Економічне обґрунтування електричної кабельної системи обігріву у порівнянні з базовим варіантом для школи у с. Ярчівці

Найменування параметра	Одиниці вим.	Вид опалення	
		ЕТА	Вугілля
1.Тривалість опалювального періоду	доба	191	191
2.Середня кількість робочих днів у місяці	доба	21,4	21,4
3.Площа опалення	$\text{м}^2$	1500	1500
4.Розрахункова температура внутрішнього повітря	$^{\circ}\text{C}$	15,5	18
5.Середня температура опалювального періоду	$^{\circ}\text{C}$	-1,1	-1,1
6.Розрахункова температура зовнішнього повітря	$^{\circ}\text{C}$	-22	-22
7.Розрахункові втрати теплоти	кВт	120	120
8.ККД опалювального устаткування	%	97,5	67
9.Коефіцієнт «перетопу»	–	1	1,25
10. Коефіцієнт втрат палива при транспортуванні та зберіганні	–	1	1,05
11. Нижня теплота згоряння вугілля	МДж/кг	–	12
12. Вартість базового енергоносія (кам'яне вугілля )	грн/т	–	9000

## Продовження таблиці 3.6

13. Вартість антрациту для розпалювання	грн/т	–	15750
14. Вартість транспортування 1 т твердого палива	грн/т	–	1600
15. Вартість електричної енергії, звичайний тариф	грн/кВт·год	1,68	1,68
16. Вартість електричної енергії, пільговий тариф	грн/кВт·год	0,672	0,11
17. Витрати на проектування, обладнання і його встановлення	тис.грн	140	73
18. Вартість обладнання	тис. грн	98	51,1
19. Щорічні амортизаційні відрахування	%	6,1	6,1
20. Щорічні амортизаційні відрахування	тис. грн	5,98	3,12
21. Оплата праці обслуговуючого персоналу:			
– денна заробітна плата	грн	–	450
– місячна заробітна плата працівника	грн	–	10000
– за опалювальний період	тис. грн	–	180000
22. Річний обсяг енергії на опалення	кВт·год	243502	262663
23. Технологічні витрати на електроенергію	кВт·год	1300	1875
24. Необхідна кількість вугілля	кг	–	154364
25. Вартість базового твердого палива	кг	–	9,725
26. Необхідна кількість вугілля для розпалювання	тис. грн	–	7718,18
27. Вартість палива для розпалювання	тис. грн	–	0,818
28. Вартість витраченого енергоносія загальна	тис. грн	26,93	10,75
29. Те саме при пільговому тарифі	тис. грн	6,12	10,75
30. Умовні витрати на теплопостачання:			
- при звичайному тарифі на електроенергію	тис. грн	32,91	18,17
- при пільговому тарифі на електроенергію	тис. грн	12,10	18,17
31. Вартість обігріву 1 м <sup>2</sup> , тариф на електричну енергію:			
- при використанні тільки звичайного тарифу	грн/м <sup>2</sup>	210,94	120,11
- при використанні тільки пільгового тарифу	грн/м <sup>2</sup>	80,07	120,11

Фактичні питомі втрати теплоти  $q_0$  на 1 м<sup>2</sup> загальної площі зазначеного будинку такі:

$$q_0 = Q/F = 120000/1467,6 = 81,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Тобто визначені питомі втрати теплоти відповідають існуючим нормативам. Для подальшого обґрунтування доцільності впровадження електричних кабельних систем обігріву визнаються і порівнюються умовні витрати для двох варіантів.

Щорічні витрати на підігрів складаються з витрат на ремонт теплового обладнання, на щорічні амортизаційні відрахування (відповідно 1,2 % і 6,1 %

від вартості обладнання), на оплату праці обслуговуючого теплове обладнання персоналу. Річний обсяг енергоносія  $E_e$  визначається за виразом:

$$E_e = 86,4 Z Q (t_B - t_{\text{сер}}) / (t_B - t_3), \text{ МДж}$$

де  $Z$  – тривалість опалювального періоду, діб;  $t_B$  – розрахункова температура внут- рішнього повітря, °С;  $t_{\text{сер}}$  – середня температура опалювального періоду, °С;  $t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;  $Q$  – розрахункові втрати теплоти, кВт.

Необхідна кількість вугілля  $E_i$ , визначається за виразом:

$$E_i = 86,4 Z Q (t_B - t_{\text{сер}}) / (t_B - t_3) k_1 \cdot k_2 / (\eta Q_H), \text{ кг}$$

де  $Q_H$  – нижня теплота згоряння вугілля, МДж/кг;  $\eta$  – ККД опалювального устаткування;  $k_1$  – коефіцієнт запасу, який визначає «перетоп» внаслідок відсутності автома-тичної системи регулювання внутрішньої температури повітря будинку (знаходиться в межах 1,2 ...1,3; для розрахунку приймаємо  $k_1=1,25$ );  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує витрати палива при його транспортуванні та зберіганні (береться 1,05).

Результати розрахунків приведених у таблиці 3.6 показують що витрати на впровадження електричних кабельних систем обігріву з термоаккумуляцією при використанні пільгового тарифу на електроенергію менші, ніж при використанні вугілля (відповідно 80,07 і 120,11 грн/м<sup>2</sup>). Річний економічний ефект буде складати 160 тис. грн. Фактично дані з експлуатаційних витрат підтверджують економічну доцільність впровадження електричних кабельних систем обігріву з термоаккумуляцією при використанні пільгового тарифу (0,672 грн/кВт·год.) у порівнянні із застосуванням газу у аналогічній школі тієї самої кліматичної зони. Оскільки умовні витрати на опалення шкільного будинку при використанні електричної кабельної системи обігріву з термоаккумуляцією менші, чим при використанні вугілля чи газу, приймається варіант електрообігріву.

Таким чином, проведений розрахунок техніко-економічної ефективності технології електричної кабельної системи обігріву з термоаккумуляцією підтверджує прогноз можливості широкого їх застосування не тільки у містах, але й у сільській місцевості.

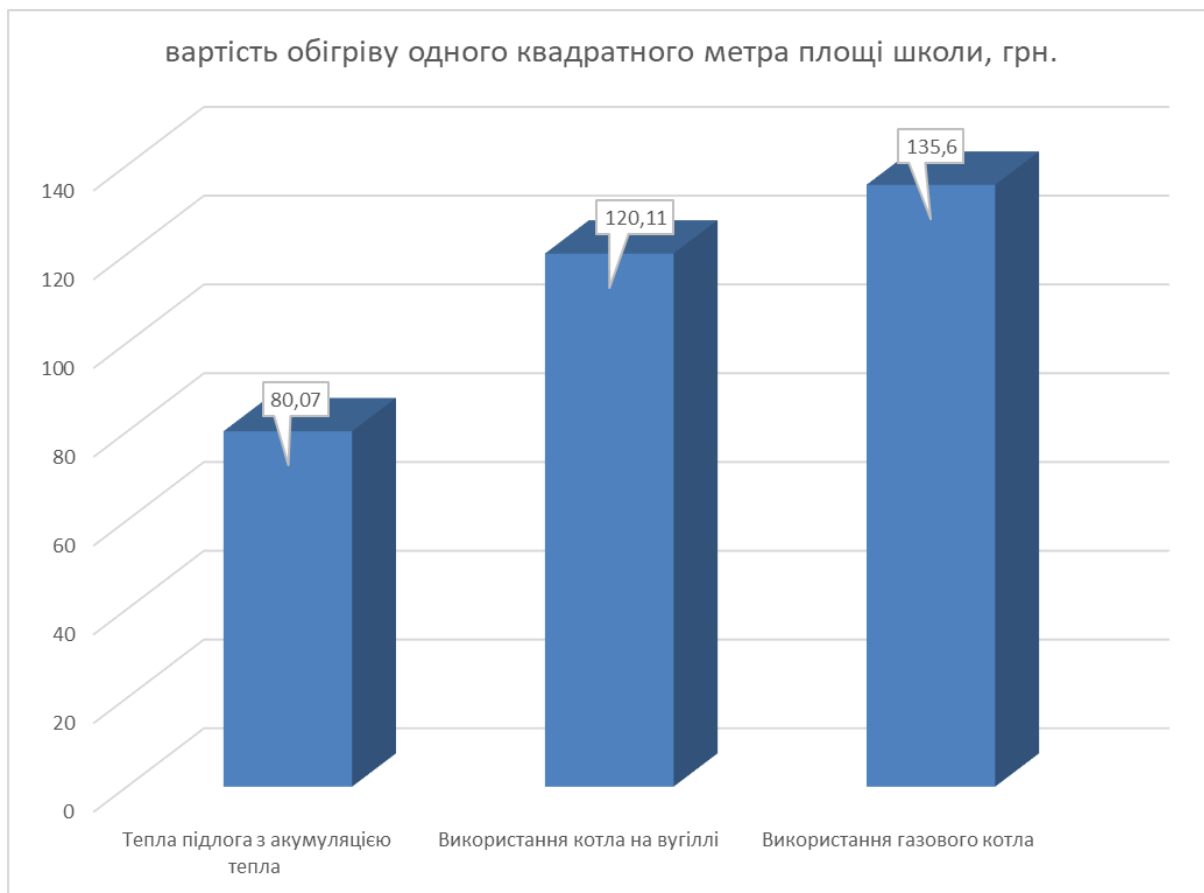


Рисунок 3.16 – Ефективність різних систем опалення школи.

### 3.8 Висновки до розділу 3

1. Визначено, що основними умовами, які сприяють створенню енергоощадної технології обігріву, є багатозонні тарифи на електроенергію та нормативна теплоакумуюча здатність будівельних конструкцій приміщення. В районах з надлишком електричної енергії у години мінімального електроспоживання, створюються передумови появи споживача-регулятора в електромережах України, який споживає електроенергію в добовому циклі обігріву за тарифами, диференційованими за часом.

2. Використання розробленого вітчизняного нагрівального кабелю, який

за комплексом характеристик не поступається закордонним, а вартість його нижча на 30...40 %, дає змогу суттєво знизити капітальні витрати на спорудження електрообігріву.

3. Техніко-економічне обґрунтування показало, що для сільської школи площею 1 500 м<sup>2</sup> (с. Ярчівці на Тернопільщині), яку обладнали електричною кабельною системою обігріву, при використанні диференційованих за часом тарифів на електроенергію питомі втрати на обігрів дорівнюють стали нижчими ніж при застосуванні вугілля чи газу.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

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

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

Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки кваліфікаційною роботою передбачено:

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

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

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

Двері приміщень електроустановок зачиняти на замок.

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

- ✓ застосування одного із методів захисту елементів електричного опалення від пробую - заземлення, занулення чи автоматичного відключення;
- ✓ ізоляція відкритих електричних частин;
- ✓ огороження енергонесучих частин та застосування знаків попереджуючих про небезпечну напругу;
- ✓ ремонт, монтаж та огляд обладнання дозволяється лише при виключеній напрузі;
- ✓ наявність загального вимикача напруги;
- ✓ не допускається робота зіпсованого обладнання, а також при короткому замиканні.

#### **4.2 Розрахунок захисного занулення електричних кабельних систем обігріву**

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

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

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним та нульовим проводами) з метою викликати струм, значно більший, ніж робочий, спроможний забезпе-

чити спрацювання захисту і тим самим автоматично вимкнути ушкоджений електроелемент від мережі.

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

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

$$I_{кз} \geq 3RI_{ном} \quad (4.1)$$

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

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

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

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

де  $U_{\phi}$  - фазна напруга, 220 В;

$Z_T$  - опір трансформатора;

$Z_{\Pi}$  - опір петлі фаза-нуль, яке визначається з залежності:

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

де  $R_{\phi}$ ,  $R_n$  - активний опір фазного і нульового провідника, Ом;

$X_{\phi}$ ,  $X_n$  - внутрішній індуктивний опір фазного і нульового провідника,

Ом;

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

Найменше допустиме значення  $I_{кз}$ .

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

Розраховуємо опори з врахуванням матеріалу провідника:  $R_{\phi}$ ,  $R_n$ ,  $X_{\phi}$ ,  $X_n$ :

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

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

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

$S$  - переріз провідників, які йдуть:

$S_1$  – від трансформатора до ВРП у щитовій;



$S_2$  – від ВРП у щитовій до котла;

$L_1$  – довжина провідника від трансформатора до ВРП;

$L_2$  – довжина провідника від ВРП до котла.

Підставимо значення і отримаємо значення опорів:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тоді,  $R_n = r\omega \cdot L_3$ ,

де  $r\omega = 1,54 \text{ Ом/км}$ .

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

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

Внутрішній індуктивний опір нульового захисного провідника:

$$X_n = X\omega L,$$

$$X\omega = 0,092 \text{ Ом/км},$$

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

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

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

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

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

Значення  $X_\phi$  і  $X_n$  для алюмінієвих провідників малі і ними можна знехтувати. Підставивши значення опорів, впливає що умова виконується.

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

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

де  $L_\phi$ ,  $L_n$  – довжина провідників (фазного і нульового)

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

Визначаємо опір петлі «фаза-нуль»:

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

$$\sqrt{(0,02202 + 0,0166)^2 + (0,03862 + 0,0864)^2} = 0,095 \text{ Ом.}$$

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

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

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

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

Забезпечення безпеки та захисту населення в Україні, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики

національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» від 8 червня 2000 року визначає стратегічні напрями та засоби вирішення проблеми захисту населення, реальне створення територіальних і функціональних підсистем Єдиної державної системи запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру та реагування на них.

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

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

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

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

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

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

- здійснюють постійний контроль за зараженістю повітря та місцевості, безпекою формувань при діях у зонах формувань, завалів, пожеж, зараження, затоплення, проведенням профілактичних заходів. Важливе значення в системі захисних заходів відведено санітарній обробці особового складу формувань, знезараженню техніки та майна, а також забезпеченню формувань засобами захисту.

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

Командир формування при організації захисту вказує:

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

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

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

Технічне забезпечення організовує командир формування. У своєму

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

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

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

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

1. Проведений аналіз відомих теоретичних і експериментальних досліджень підтвердив необхідність розробки сучасних енергоощадних систем електрообігріву у напрямі розвитку технологій електротеплоакумуляційного обігріву в умовах коли економічно виправдано.

2. Теоретично обґрунтовано можливість застосування для обігріву електричних кабельних систем в кліматичних умовах України, а також встановлені основні залежності і параметри такої системи.

3. Для підвищення ефективності системи електрообігріву рекомендовано застосовувати нагрівальні кабелі та елементну базу від Українського виробника ПАТ «Одескабель», вартість яких нижча закордонних на 30...40 %, що дозволить суттєво знизити капітальні витрати на облаштування.

4. Техніко-економічні розрахунки впровадження електричної кабельної системи обігріву для сільської школи площею 1 500 м<sup>2</sup> (с. Ярчівці на Тернопільщині) показали, що при використанні нічного тарифу на електричну енергію питомі втрати на обігрів школи склали 80,07 грн/м<sup>2</sup>, що нижче, ніж при опалюванні вугіллям 120,11 грн/м<sup>2</sup> і газом 135,6 грн/м<sup>2</sup>.

**ПЕРЕЛК ПОСИЛАНЬ**

1. Анапольская Л. Е. Метеорологические факторы теплового режима зданий / Л. Е. Анапольская, Л. С. Гандин. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 239 с.
2. Андреевский А. К. Отопление: [учеб. пособие для вузов по спец. 1208 «Теплогазоснабжение и вентиляция»] / А. К. Андреевский; под ред. М. И. Курпана. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Высш. шк., 1982. – 364 с.: ил.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести / С.В. Александровский - М.: Стройиздат, 1973. - 431с.
4. Александровский С.В. Прикладные теории теплопроводности и влагопроводности бетона / Александровский С.В. - М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2001. – 186 с.
5. Александровский С.В. Расчетные воздействия для прогнозирования долговечности ограждающих конструкций из ячеистого бетона / Александровский С.В. // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. - 1981. - С.134-138.
6. Архитектурные конструкции: [учеб. для вузов по спец. «Архитектура»] / З. А. Казбек-Казиев, В. В. Бесполов, Ю. А. Дыховичный и др.; под ред. З. А. Казбек-Казиева. – М.: Высш. шк., 1989. – 342 с.: ил.
7. Архитектура гражданских и промышленных зданий: [учебник для вузов: в 5 т.] / Моск. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева. – М.: Стройиздат, 1983. – Т. 3: Жилые здания / Л. Б. Великовский, А. С. Ильяшев, Т. Г. Маклакова и др.: под общ. ред. К. К. Певцова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – 239 с.: ил.
8. Беляев В. С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий / В. С. Беляев. Л. П. Хохлова. – М.: Высш. шк. – 1991. – 255 с.

9. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): [учебник для вузов.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.: ил.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): [учебник для вузов.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.: ил.
11. Боданов Ю. Ф. Устройство прочных полов / Ю. Ф. Боданов // Жилищное строительство. – 1991. – № 7. – С. 14–15. 37 Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. / О.Е. Власов - М.: ВИАРККА, 1938. - 92с.
12. Власов О.Е. Некоторые вопросы долговечности ограждающих конструкций / Власов О.Е. // Известия АСИА СССР. – 1959. - №3. - С. 48-69.
13. Власов О.Е. Физические основы теории морозостойкости / Власов О.Е. // Успехи строительной физики в СССР. – М.: НИИСФ. – 1967. - Вып.3. – С.163-176.
14. Гусев Н.М. Основы строительной физики. М.: Высш. шк., 1975. – 511с.: ил.
15. Гузик Д.В. Розрахунок температурних полів конструкцій підлоги в тваринницьких приміщеннях // Тези доп. 50-ї наук. конф. Полтавський Держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 1998. – 223 с.
16. Ильин У.Ю., Шкеле А.Э., Зиемелис И.Ф. Расчет тепловых потоков в электрообогреваемом полу // Тр. Латв. сельск. хоз. академии. – 1987. – Т. 238. – С.80-86.
17. Малый В.Т., Черный А.Я. Полы сельскохозяйственных производственных зданий. – К.: Будівельник, 1983. – 64 с.
18. Пчелкин Ю.Н. Расчет электрообогреваемого пола для свинарников-маточников // Научн.-техн. бюл. Центр Н.-И. и проект-технолог. ин-т механизации и электрификации животноводства Юж. Зоны СССР. – 1988. – Т.29. – С.108-111.
19. ВНТП СГиП-46-2.95. Свинарські підприємства.(Відомчі норми технологічного проектування). – К.: Мінсільгосппрод України, 1996. – 44 С.



20. Гузик Д.В. Вплив контактного теплообміну на тепловий режим конструкцій підлог // Коммунальное хозяйство городов. Респуб. межвед. науч.-техн. сб. – Вып.19. – К.: Техніка, 1999. – С. 129-132.

21. Гузик Д.В. Формирование локального микроклимата в свиноводческих помещениях. Дис. канд. техн. наук // Полтавский гос. техн. университет им. Юр. Кондратюка. – Полтава, 1999. – 170 с.

22. ДБН В. 2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляції будівель. – [Чинний від 2007-04-01]. – К.: Держбуд України, 2006. – 71 с.

23. ДБН В.2.2-15 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. - [Чинний від 2005-01-10]. – К.: Держбуд України, 2005. – 36 с.

24. ДБН В.2.2-9 Будинки і споруди. Громадські будинки і споруди. Основні положення. – [Чинний від 2001-01-01]. – К.: Держбуд України, 1999. – 45 с.

25. Денисов П. П. Теплоэнергетическая оценка зданий различной этажности / П. П. Денисов // Жилищное строительство. – 1983. – №5. – С. 7–9.

26. Дундич Е. И. Лабораторный практикум по строительной физике ограждающих конструкций зданий: [учеб. пособие для строит. вузов] / Дундич Е. И., Константинов В. Ф., Реусова В. А. – Харьков, 1962. – 192 с.

27. Дешко Э.Л. Теплотехнические основы отопления жилых зданий при индивидуальном термостатическом регулировании теплоотдачи (с примерами анализа и расчетов для условий юга Дальнего Востока) : автореф. дис. на соискание учен. степени доктора техн. наук : спец. 05.23.03 “Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение, акустика и осветительная техника” / Э.Л. Дешко - Минск, 1973.- 67 с.

28. Дешко Э.Л. Теоретические основы теплового расчета легкобетонной стеновой панели (с учетом нестационарности режимов теплопередачи и воздухопроницания) при заданной вероятности безотказной работы по тепловым свойствам / Дешко Э.Л. // Тепловая эффективность жилых зданий. - М.: НИИСФ, 1980.- С56-71.

29. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций: ГОСТ 26254-84. – [Введен в действие с 1985-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.
30. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): [учебн. пособие для инж.-строит. вузов] / В. М. Ильинский. – М.: Высш. шк., 1974. – 320 с.: ил.
31. СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1975. – 61 с.
32. СНиП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 64 с.
33. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
34. СНиП II - 4 - 79 Естественное и искусственное освещение / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1980. – 48 с.
35. СНиП 2.03.13-88. Полы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 16 с.
36. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
37. Справочник по теплозащите зданий / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – К.: Будівельник, 1986. – 216 с.
38. Строительство. Материалы и изделия теплоизоляционные: ГОСТ 4.201-79. – [Введен в действие с 1979-01-07]. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 9 с.
39. Строй А. Ф. Керування тепловим режимом будівель та споруд: [Монографія] / А. Ф. Стой. – К.: Вища шк., 1993. – 155 с.: ил. – Рос.
40. Жидецкий В. Ц. Основы охорони праці. - Львів: Афiша, 2002. - 320 с.
41. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу // Охорона праці. - 1998. - № 6.

42. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-1.21-98.- К.: Основа, 1998. - 380 с.

43. Джигирей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи). – Львів “Афіша”, 2000 – 272 с.

44. Гайда С.В. Хімічний склад та ступінь забруднення – основа систематизації вживаної деревини // Лісове господарство, лісова, папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб.– Львів : НЛТУ України. – 2008. – Вип. 34. – С. 68-80.

45. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівня акредитації / За ред. Е. П. Желібо, В. П. Пічі. – Київ «Каравела»; Львів «Новий Світ – 2000», 2001. – 320 с.