

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“__” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ** **ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**«Дослідження ефективності використання кабельної
системи опалення для обігріву приміщень»**

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Василь КРИВОПЛЯС

«__» _____ 2023 р.

Керівник роботи доцент, канд. техн. наук,

_____Руслан ТЕЛЮТА

«__» _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

Петро ПЛІШКОВ

“ ” 2023 р.

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

Кривопляс Василь Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Дослідження ефективності використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень

Study of the efficiency of using a cable heating system for space heating

2. керівник роботи (проекту) Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 22.12.2023 р

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Мета роботи – теоретично дослідити ефективність використання кабельного підлогового опалення як теплоаккумуляційної системи обігріву приміщень. Завдання роботи:
1. Провести огляд систем електроопалення для обігріву приміщень;
2. Проаналізувати методи та критерії моделювання теплообміну у приміщеннях;
3. Провести теоретичне дослідження використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень; 4. Розглянути та запропонувати заходи з охорони праці.

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

6. Дата видачі завдання 09. 10. 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача та узгодження тематики роботи</i>	<i>9.10.2023</i>	
2	<i>Складання змісту магістерської роботи</i>	<i>16.10. 2023</i>	
3	<i>Вступ.</i>	<i>31.10.2023</i>	
4	<i>Провести огляд систем електроопалення для обігріву приміщень</i>	<i>10.11. 2023</i>	
5	<i>Проаналізувати методи та критерії моделювання теплообміну у приміщеннях</i>	<i>20.11. 2023</i>	
6	<i>Провести теоретичне дослідження використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень</i>	<i>30.11. 2023</i>	
7	<i>Розглянути та запропонувати заходи з охорони праці</i>	<i>15.12. 2023</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>20.12. 2023</i>	
9	<i>Перелік посилань</i>	<i>21.12. 2023</i>	
10	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>25.12. 2023</i>	
11	<i>Оформлення презентації магістерської роботи та подання магістерської роботи до захисту</i>	<i>28.12. 2023</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Руслан ТЕЛЮТА

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Василь КРИВОПЛЯС

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 85 с.; 29 рис.; 1 табл.; 24 джерел.

Кривопляс В. О. Дослідження ефективності використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень. – Рукопис.

Ціллю даної кваліфікаційної роботи є дослідити ефективність кабельних електротеплоаккумуляційних систем опалення для житлових приміщень та об'єктів інфраструктури.

Було здійснено ґрунтовний аналіз існуючих методів, технічних рішень та устаткування, що використовується в системах електрообігріву приміщень. За результатами досліджень зроблено висновок, що з огляду на отримані експериментальні дані, розроблені вітчизняні технічні засоби, створену нормативну базу, Україна фактично готова до широкомасштабного освоєння технології кабельного обігріву в її електротеплоаккумуляційному виконанні.

Встановлено можливість, що навіть за умов найбільш холодного дня опалювального періоду, забезпечити задані параметри мікроклімату у приміщенні виключно з використанням електроенергії під час нічних годин провалу графіка електроспоживання енергосистеми. При проведенні розрахунків характеристик ЕТА-опалення особлива увага приділялась аналізу впливу різноманітних чинників та параметрів системи й оточення на динаміку теплових процесів. Визначено, що на теплостійкість приміщень впливають теплоізоляційні характеристики огорожень та здатність внутрішніх конструкцій до теплоаккумуляції.

Отримані результати дають підстави зробити висновок, що в кліматичних реаліях України електротеплоаккумуляційний кабельний обігрів може бути цілком реальною, економічно доцільною альтернативою традиційним системам опалення житлових та громадських споруд.

Ключові слова: електроопалення, електрична кабельна система обігріву, електротеплоаккумуляція, графік навантаження.

ABSTRACT

Qualification work: 85 p.; 29 fig.; 1 tables; 24 sources

Kryvoplias V.O. Study of the efficiency of using a cable heating system for space heating. - Manuscript.

The purpose of this qualification work is to investigate the effectiveness of cable electric heat storage heating systems for residential premises and infrastructure facilities.

A thorough analysis of the existing methods, technical solutions and equipment used in electric space heating systems was carried out. According to the results of the research, it was concluded that in view of the obtained experimental data, the developed domestic technical means, the created regulatory framework, Ukraine is actually ready for large-scale development of the cable heating technology in its electric heat storage version.

It has been established that, even under the conditions of the coldest day of the heating period, it is possible to ensure the given parameters of the microclimate in the room exclusively using electricity during the night hours of failure of the electricity consumption schedule of the energy system. When calculating the characteristics of ETA heating, special attention was paid to the analysis of the influence of various factors and parameters of the system and environment on the dynamics of thermal processes. It was determined that the heat resistance of the premises is affected by the heat-insulating characteristics of the fences and the ability of internal structures to accumulate heat.

The obtained results give reason to conclude that in the climatic realities of Ukraine, electric heat storage cable heating can be a very real, economically viable alternative to traditional heating systems of residential and public buildings.

Key words: electric heating, electric cable heating system, electric heat storage, load schedule.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ.....	12
1.1 Аналіз стану впровадження технологій електротеплового опалення	12
1.2 Технологічне устаткування для електротеплового опалення приміщень	13
1.2.1 Опалювальні прилади прямої дії	14
1.2.2 Опалювальні прилади теплоакumuляційного типу	20
1.3 Загальна класифікація видів та засобів електроопалення.....	24
1.4 Нічний провал добового навантаження об'єднаної енергетичної системи та технічні засоби його ущільнення.....	24
1.5 Оцінка можливості застосування кабельного опалення як теплоакumuляційного виду.....	29
1.6 Висновки по розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА КРИТЕРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ У ПРИМІЩЕННЯХ	32
2.1 Модель теплообміну в приміщеннях	32
2.2 Методи моделювання режимів теплообміну у приміщеннях.....	38
2.3 Критерії оцінювання теплоакumuляційного електрообігріву	48
2.4 Висновки по розділу 2	51
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ КАБЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ.....	52
3.1 Приміщення з теплоакumuляційними властивостями гріючої підлоги	52
3.2 Вплив властивостей матеріалів при застосуванні кабельного електроопалення.....	53
3.3 Вплив на закладання гріючого кабелю глибини і кроку закладання	58
3.4 Управління кабельною системою опалення.....	63

3.5 Розрахунок енергетичної ефективності електробігрівання для споживачів електричної енергії.....	69
3.6 Висновки до розділу 3.....	75
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	76
4.1 Тепловий комфорт у приміщеннях з електроопаленням	76
4.2 Електробезпека у приміщеннях з електрокабельною системою опалення.....	77
4.3 Електромагнітна та пожежна безпека у приміщеннях з електрокабельною системою опалення	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	- атомна електростанція
ВДЕ	- відновлювані джерела енергії
ГВП	- гаряче водопостачання
ЕК	- електропостачальна компанія
ЕКСО	- електрична кабельна система обігріву
ЕО	- електроопалення
ЕС	- електростанція
ЕЕС	- електроенергетична система
ЕТА	- електротеплоаккумуляція
ЕТЗ	- електротеплозабезпечення
ЕТО	- електроаккумуляційна технологія обігріву
ІЧ	- інфрачервоне
к.к.д.	- коефіцієнт корисної дії
ОЕС	- об'єднана електроенергетична система
ПЗВ	- пристрій захисного вимикання
ПЕР	- первинні енергоресурси
ПЕО	- пряме електричне опалення
ППО	- променево-панельне опалення
ТАЕП	- теплоакуючі електродіоды
ТЕО	- технологія електроаккумуляційного обігріву
ТНУ	- теплонасосні установки
ТФХ	- теплофізичні характеристики

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток інтенсивних розробок, реалізація та впровадження електричного опалення нашої країни займає більше 40 років.

Сьогодення у використанні застосування електричної енергії для опалення приміщень перебуває у фазі швидкого розвитку та особливої актуальності набував в періоди так званих газових криз. Вибір оптимального способів обігріву є непростю задачею, що потребує розробки і застосування різноманітних проектів і методик реалізації, проведення пошукових та науково-дослідних заходів, аналізу проведення монтажних та експлуатаційних робіт [1].

Електрообігрів є чи не єдиним видом опалення, який дозволить організувати системне впровадження індивідуального поквартирного електротепло забезпечення.

Одним з перспективних шляхів підвищення енергоефективності електрообігріву є перехід до електротеплоаккумуляційних технологій, тобто перехід на електроопалювальні акумуляційні системи з переведенням їх у режим споживання електроенергії вночі з багатотарифним обліком електроенергії є одним з найдоцільніших засобів підвищення енергоефективності.

Наразі спостерігається активний інтерес до застосування технологій електротеплоаккумуляційного (ЕТА) опалення з огляду на їх екологічні та економічні переваги. Використання кабельних систем опалення є одним з найперспективніших напрямків розвитку ЕТА, оскільки електричні кабелі мають високу енергоефективність та тривалий ресурс експлуатації.

Основні переваги кабельних систем ЕТА полягають у наступному: значна площа теплообміну з використанням всієї підлоги; можливість акумулювання теплоти у "нічний" період з подальшим поверненням у "денний" час; плавність регулювання теплопідведення; відсутність рухомих механічних елементів - безшумність та надійність; автоматичне розведення температурних зон за площею.

Технології електротеплоаккумуляційного опалення дозволяють економити кошти у 2-3 рази в порівнянні з традиційними газовими чи нафтовими системами, передбачають спрощений монтаж та обслуговування. Отже впровадження ЕТА-опалення, зокрема на базі кабельних систем, є вкрай актуальним напрямком як з енергетичної, так і з економічної точки зору.

По-перше, варто згадати про екологічність таких систем - адже електроенергія може вироблятися з відновлюваних джерел, на відміну від викопного органічного палива. Кабельні системи ЕТА-опалення дозволяють зменшити загальне техногенне навантаження на довкілля.

По-друге, за рахунок акумулювання теплоти та її рівномірного розподілу такі системи забезпечують оптимальний температурний режим і комфорт у приміщенні. Немає значних коливань температури, як при пічному чи інших видах локального опалення.

Мета роботи – теоретично дослідити ефективність використання кабельного підлогового опалення як теплоаккумуляційної системи обігріву приміщень.

Досягнення поставленої мети буде забезпечене вирішенням наступних завдань:

Провести огляд існуючого устаткування для електротеплообігріву приміщень;

Використання нічного провалу добового графіка навантаження об'єднаної електроенергетичної системи як ресурс електроопалення;

Огляд методів моделювання режимів теплообміну у запропонованому приміщенні;

Створити комп'ютерну модель режимів електротеплообміну в приміщенні;

Розглянути питання безпеки людини в приміщеннях з електрокабельною системою опалення.

Об'єкт дослідження – процеси електротеплоаккумуляційного нагріву в приміщеннях.

Предмет дослідження – кабельна електротеплоаккумуляційна система обігріву приміщень.

Вирішення поставлених задач роботи відбувалося за допомогою методів комп'ютерного імітаційного моделювання, чисельних методів розв'язку задач.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання кабельного опалення як електротеплоаккумуляційного обігріву приміщень.

За темою магістерської роботи опубліковано тези у збірнику праць Міжнародної науково-практичної конференції.

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД СИСТЕМ ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Аналіз стану впровадження технологій електротеплового опалення

Розвиток електроопалення в нашій країні становить майже півстоліття.

Технологічні аспекти електричного опалення знаходяться на стику електроенергетики та теплоенергетики, що потребує залучення фахівців електроенергетики, теплотехніки, машинобудування та суміжних напрямків та спеціалізацій.

Питання які постають при аналізі стану впровадження технологій електротеплового опалення, це стан його використання та масштаби впровадження його в побуті, соціальній сфері, промисловості. Дати кількісну оцінку його використання в різноманітних сферах досить складно, так як не існує цілісних статистичних даних про його впровадження із заміною наприклад централізованого опалення на електротеплове, а останнє на які прилади прямої дії чи електротеплоаккумуляційної. Але локальні дані існують частково по району, місті чи селищі, а також досвід використання та впровадження приладів електротепло опалення. Його результати по обласним енергетичним компаніям в обробленому вигляді наведені в посиланнях [2]. Дані які приведені показують, що найвищі показники споживання електроенергії соціальних об'єктів для житлових приміщень спостерігаються у Запорізькій, Київській, Житомирській, Вінницькій та Одеській областях, якщо ж проаналізувати в розрізі споживання електроенергії для опалення житлових приміщень то першість займають наступні області: Житомирська, Вінницька, Черкаська, Запорізька, Рівненська.

Найбільш електрифікованим тепlopостачанням є області Запорізька і Житомирська області, які знаходяться найближче в межах дії усіх наявних атомних електростанцій АЕС.

Загалом, показник який свідчить про кількість, об'єм та відсоток

встановлених потужностей електротеплопостачання відповідає та не перевищує показника 4 % від навантажень об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Цей відсоток на мою думку, є занадто малим для такої по площі як наша країна. Для порівняння наприклад з розвинутими європейськими країнами ця частка вимірюється десятками відсотків.

1.2 Технологічне устаткування для електротеплового опалення приміщень

У віддалених районах населених пунктів, територіальних громадах, селищах та селах система централізованого теплопостачання практично відсутня, її місце займає індивідуальне будинкове опалення.

У багатьох випадках електричне опалення залишається інколи єдиним доступним видом опалення, а також гарячого водопостачання та приготування на електроплитах їжі.

Аналізуючи питання впровадження електричного обігріву по обласним енергетичним компаніям країни [2] встановлено, що це не потребує залучення нових енергетичних потужностей при використанні електричної енергії у якості основного енергоносія. Також встановлено, що існують резервні енергопотужності, особливо у нічні періоди, що можна використати.

Електрична енергія при транспортуванні її до кінцевого споживача, має втрати на її передачу, але при цьому має швидке перетворення електро на теплоенергію, та як вид опалення вважається екологічно безпечним.

На даний момент, використання електричної енергії для перетворення в тепло, є одним із вирішенням проблем опалення для житлової і комунальної сфери, тим більше, що на ринку існує широкий спектр технічних засобів для їх реалізації. Серед них представлені: електричні котли (ТЕНові, електродні, індукційні), електроконвектори (повітряні, водяні, масляні), інфрачервоні обігрівачі, тепловентилятори, променисті панельні нагрівачі, кабельні обігрівачі, низькотемпературні сухі та масляні радіатори, та цілий ряд електротепло

акумулюючих установок, серед них геотермальні, гідродинамічні, теплонасосні та теплоакумулюючі електропечі.

1.2.1 Опалювальні прилади прямої дії

ТЕНові електрокотли

У цих електричних приладах здійснюється електронагрівання непрямым чином, а саме коли теплова енергія передається загалом теплоносію (воді) з поверхні ТЕНів які заглиблених у рідину. Нагрів рідинного теплоносія здійснюється через безпосередній контакт площинної поверхні ТЕНів, що складаються з трубки в середині якої знаходиться нагрівальна ніхромовая спіраль. Між трубкою і спіраллю розміщений наповнювач – перериклад (плавлений окис магнію), що володіє високими електроізоляційними і теплопровідними властивостями. Створені системи регулювання температури та захисту дозволяють використовувати нагрівач в автономному режимі, також в останніх моделях вже передбачено використання виносного датчика терморегулятора, циркуляційного насоса, програматора. Суттєвим їхнім недоліком є недостатня електробезпека при експлуатації, поступове покриття поверхні ТЕНів шаром малотеплопровідного накипу, зростає термічний опір між ТЕНом і водою, створюється гаряча зона, ТЕН перегрівається, одержує перепал і виходить з ладу. Тому потрібно здійснювати водопідготовлення та інші профілактичні заходи [3].

Приклад ТЕНового електрокотла наведений на рисунку 1.1.

Електродні електрокотли

Електродний котел також являється видом резистивного котла, який здійснює безпосереднє, а саме пряме електронагрівання електродами при заглибленні їх у теплоносії (рідину). Електрична енергія перетворюється в теплову та виділяється безпосередньо у об'ємі рідини, залежно від її електропровідності під час проходження струму в між електродному просторі.

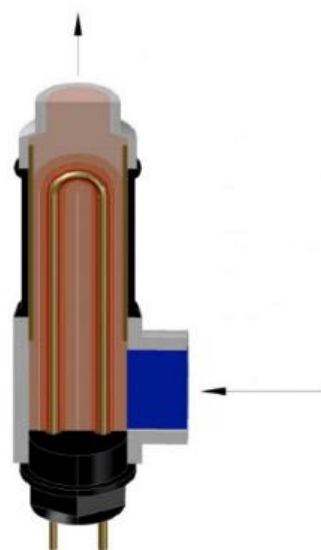


Рисунок 1.1 - ТЕНовий електрокотел.

Другим видом резистивного котла є електродний котел, який здійснює пряме електронагрівання при заглибленні у рідину, що гріється, що найменш двох електродів під напругою.

Конструктивно електродні котли є більш простими в порівнянні з ТЕНовими, а тому і більш дешевшими, але при цьому можна використовувати тільки струмопровідні теплоносії. При експлуатації виникають електрохімічні реакції в процесі яких кородує (корозія) обладнання та утворюються небажані продукти, наприклад – водень. Водень відомий, як вибухонебезпечний газ, а тому приміщення потребує встановлення систем вентиляції.

Приклад електродного електрокотла наведений на рисунку 1.2.

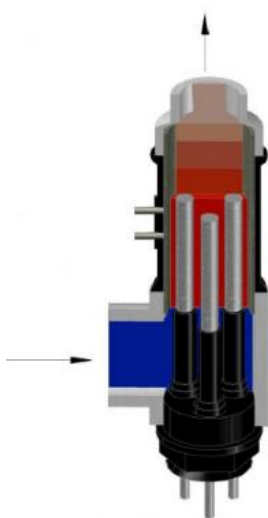


Рисунок 1.2 - Електродний електрокотел.

Індукційні електрокотли

Індукційні нагрівачі [3,4] засновані на явищі електромагнітної індукції, що широко використовується в електротехніці та полягає у створення змінного струму змінним магнітним полем.

Конструктивно індукційний електрокотел має схожу конструкцію з двох контурним трансформатором, в якому магнітна система це первинний контур, а теплообмінний пристрій це вторинний контур. Індукційний електронагрівач має вигляд сухого трансформатора, первинна обмотка якого приєднується до електромережі, а вторинна виконана у вигляді трубки спеціального сплаву по якій проходить теплоносій, що і являється теплообмінним пристроєм. Під впливом змінного магнітного поля в металевій трубці теплообмінника, створюються вихрові струми, що і нагрівають її. З нагрітої поверхні теплообмінника тепло забирається рідинним теплоносієм.

Загалом в індукційних електронагрівачів немає елементів схильних до зносу, а тому термін служби визначається лише терміном служби ізоляції котушок, що робить їх довговічними, надійними і більш електробезпечними у порівнянні з електрокотлами ТЕНового і електродного типу.

Приклад індукційного електрокотла наведений на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Індукційний електрокотел.

Електротепловентилятори

Електротепловентилятори застосовуються для створення, у приміщеннях

перебування персоналу, комфортних умов, якщо вони не обладнані стаціонарною системою опалювання або вона являється недостатньо ефективною. Тепловентилятори застосовуються для безпосереднього нагріву повітря, та загалом складаються із самого вентилятора, секцій ТЕНів і блоку управління температурою. Можуть працювати як в режимі нагріву повітря так вентиляювання приміщення.

Приклад електротепловентиляторів наведений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Електротепловентилятори.

Електричні конвектори

Конвектори використовуються як основні та допоміжні джерела тепла. Їхня робота ґрунтується на принципі природної циркуляції повітря по колу, піднімаючись нагрітим і опускаючись до низу охолодженим. Їхньою перевагою являється мобільність і не вимагає додаткових пристроїв на встановлення і введення в роботу. Електроконвектори обладнані термостатом, що запобігає його перегріву з двома ступенями нагріву, також володіє безшумністю роботи при відсутності інтенсивного руху в приміщенні пилу.

Приклад електричних конвекторів наведений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Електричні конвектори.

Інфрачервоні електричні обігрівачі

Обігрівачі даного виду використовуються для загального, додаткового і місцевого обігріву приміщень де постійно чи тимчасово перебувають люди і тварини. Вони реалізують принцип інфрачервоного випромінювання від нагрітого тіла, яке за частотним спектром практично відповідає тепловому випромінюванню сонця, здійснюється його випромінювання практично без поглинання повітрям та при потраплянні на поверхню тіла знову перетворюється на тепло. Тобто здійснюється принципу прямо передачі теплової енергії безпосередньо тілу людини, тварини, рослини чи поверхні предмету, що перебуває в безпосередній зоні дії приладу [3].

Приклад інфрачервоних обігрівачів наведений на рисунку 1.6.

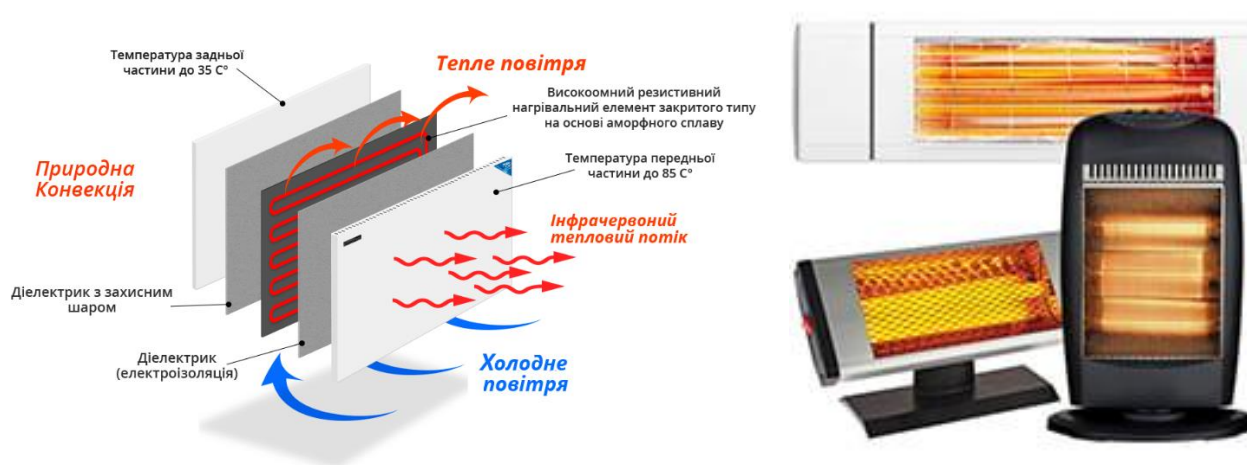


Рисунок 1.6 - Інфрачервоні обігрівачі.

Електричні нагрівальні кабелі.

Електричний нагрівальний кабель це спеціальний кабель, який складається із провідника, що виробляє тепло під впливом дії електричного струму та ізолювальної захисної оболонки, яка слугує для ізоляції та нагрівання навколишній простір.

В принципі роботи нагрівального кабелю реалізований закон теплової дії струму та полягає в тому, що при проходженні струму через провідник, здійснюється робота по переміщенню зарядів через опір провідника яка призводить до втрати частини енергії у вигляді тепла протягом визначеного часу.

До електричної кабельної системи опалювання (тепла підлога) входить самий гріючий кабель, джерело живлення та пристрій контролю температури.

Приклад електричної теплої підлоги наведений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 - Електрична кабельна система опалення (тепла підлога).

Описані вище нагрівальні прилади займають суттєве місце серед впроваджених пристроїв. Перевагами пристроїв прямого електроопалення в порівнянні з приладами на газі, рідкому або твердому паливі їх автономність, в порівнянні із централізованою системою. Також вони більш надійні та безпечні, менш матеріалоємні, розмірні, витратні. Але питання енергоефективності залишається актуальним.

Найбільш перспективнішим шляхом підвищення енергоефективності електрообігріву вважається розробка та впровадження електротеплоаккумуляційних пристроїв, які споживатимуть електроенергію в нічні періоди доби, з впровадженням багатотарифним обліком.

Розглянемо пристрої опалення акумуляційного типу.

1.2.2 Опалювальні прилади теплоакумуляційного типу

Тепло може акумулювати вода, що знаходиться у великій ємності, у масивному твердому теплоємкому, теплостійкому, теплопровідному матеріалі (чавун, магнезит, феоліт, шамот, бетон), огороження такі як стеля, підлога, стіни, меблі, а також саме повітря.

Розглянемо найбільш вживані електротеплоакумулюючі системи, що використовуються для обігріву приміщень [4].

Теплонасосні установки

Нагрів води як теплоносія опалювальної системи може здійснюватися теплонасосною установкою. Вони найбільше використовують наступні джерела низько потенційного тепла: атмосферне повітря і води водоєм температурою в межах до 5 °С; ґрунтові води температурою в діапазоні 11 - 15 °С; геотермальні джерела і промислові скиди температурою в межах 40 - 70°С.

Теплонасосні установки мають класифікацію за способом перетворення теплоти та бувають термоелектричні, пароежекторні, газо- та парокомпресійні, сорбційні.

Типом приводу та джерела енергії, що здійснює перетворення в теплоту: двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), електричний двигун, паро- та газотурбіна, двигун Стірлінга, рекуператор (повітряний), геліоколектор.

За вмістом робочого тіла бувають повітряні, аміачні, фреонові.

За видом агенту, що переносить теплоту: вода - вода, повітря – повітря, ґрунт - повітря, вода – повітря.

За ресурсу низькопотенційної енергії: викидні гази, ґрунти, стічні води.

Приклад теплонасосної установки наведений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 - Теплонасосна установка.

Теплонасосна установка, в залежності від моделі, може нагрівати теплоносії в діапазоні температур 27°C - 110°C

Електротеплові установки з водяними акумуляційними баками

Даний вид теплоакумуляційних установок створену теплову енергію від нагрівачів типу ТЕНи, електродні та індукційні передає теплоносію (вода), і в залежності від об'єму бака акумулятора та потужності забезпечує потреби електроопалення, а в деяких випадках і гарячого водопостачання, приміщення чи будинку.

Останнім часом впроваджуються електродні котли з пароелектричним нагрівачем, що відокремлений від теплоносія спеціальною перегородкою з низьким термічним опором.

До недоліків даної систем електроопалення належать підвищена експлуатаційна небезпечність, велика матеріалоємність, необхідність цілодобового нагляду та знаходження в окремому приміщенні, електричних витрат на власні потреб.

Приклад електротеплової установки з водяним акумуляційним баком наведена на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 - Електротеплова установка з водяним акумуляційним баком.

Установки гідродинамічного нагрівання

Робота гідродинамічних установок заснована на перетворенні кінетичної енергії потоку рідини на теплову енергію. В них використовується явище кавітаційного нагріву рідини, що створюється під час її помпування та проходженні через конструктивно різноманітні насадки, де і перетворюється в теплову енергію.

До систем гідродинамічного нагрівання загальов входять робочий циркуляційний насос, пристрій змішувач де здійснюється перетворення енергії потоку рідини у теплову, накопичувальні ємності теплоносія, що нагрітий за рахунок процесів кавітації.

За назвою та конструктивом їх можна також розділити на: кавітаційні; теплогенератори вихрові, гідротермери та термери; гідромеханічні та гідродинамічні; механічні, дискові.

Приклад установки гідродинамічного нагрівання наведена на рисунку 1.9.

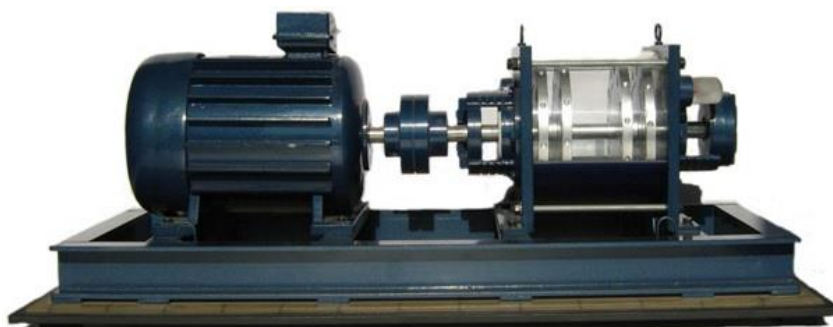


Рисунок 1.9 - Установка гідродинамічного нагрівання.

Теплоакumuлюючі електropечі

Теплоакumuлюючі електropечі набули свого розповсюдження у трьох варіантах. Малосерійне виробництво належить статичним печам, що виготовлялися без системи повітрообміну та без регуляторів. Наступні системи вже були динамічні, одні з яких комплектувалися з системою повітрообміну, а інші були забезпечені повітрообміном та регуляторами.

Приклад теплоакumuлюючої електropечі наведена на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 - Теплоакumuлююча електropіч.

1.3 Загальна класифікація видів та засобів електроопалення.

Проводячи аналіз джерел з літератури, статей можна скласти загальну класифікацію видів та засобів електроопалення для опалювання приміщень (рис. 1.11).

1.4 Нічний провал добового навантаження об'єднаної енергетичної системи та технічні засоби його ущільнення

Існуюча, даний момент, система генеруючих потужностей об'єднаної енергетичної системи нашої країни, з точки зору енергоефективного регулювання потужності не є оптимальною, особливо в період невизначеності, пов'язаної з війною.

В результаті проведеного огляну стану і структури генерації потужностей та споживання електроенергії об'єднаної енергетичної системи нашої країни були виявлені значні труднощі пов'язані із необхідним забезпеченням добових графіків і недостатньої величини маневрових потужностей в загальній енергосистемі.

Проведемо огляд на прикладі довоєнного графіку виробництва та споживання електроенергії рисунок 1.12 та графіку споживання електроенергії рисунок 1.13.

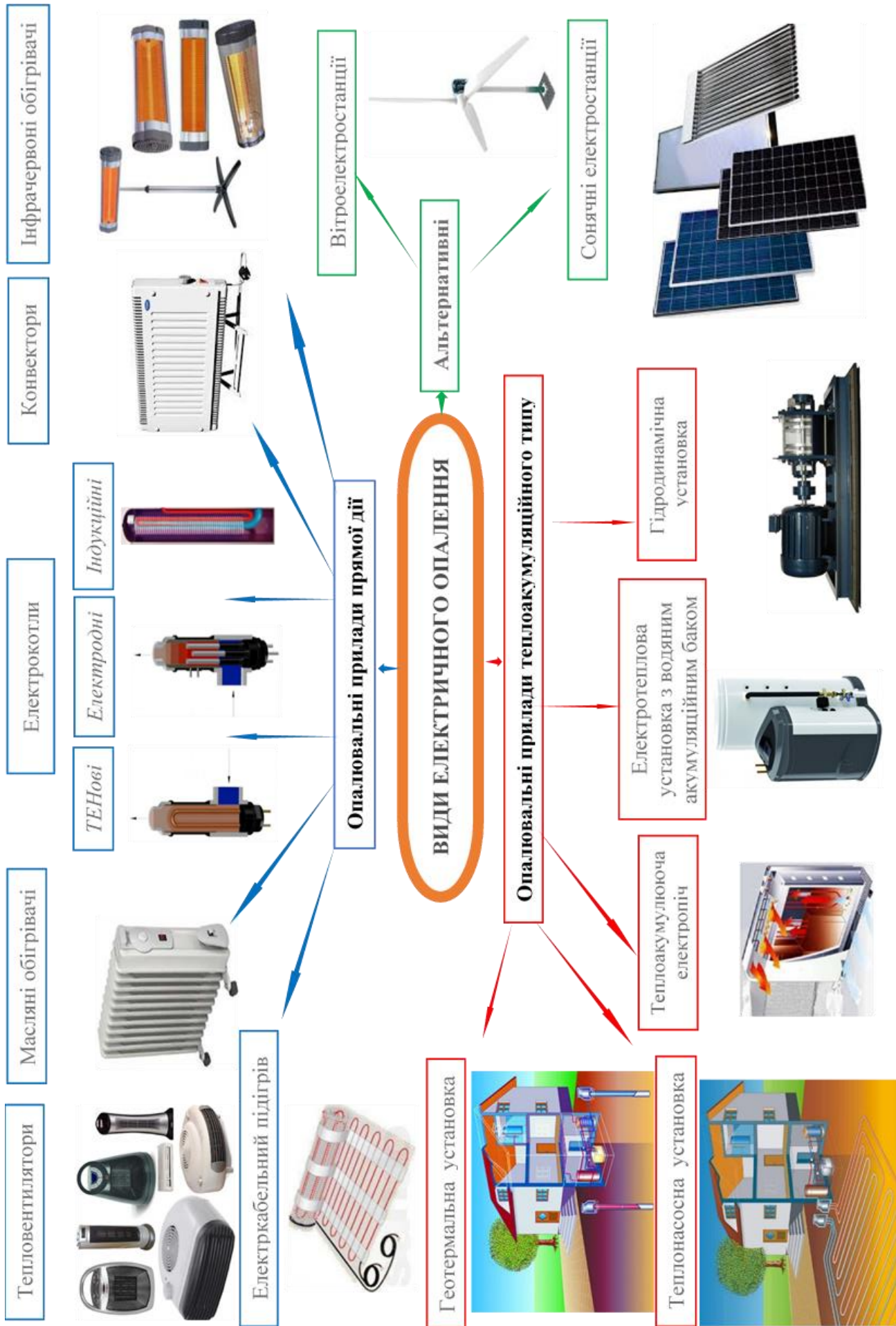


Рисунок 1.11 - Загальна класифікація засобів електротеплоопалення

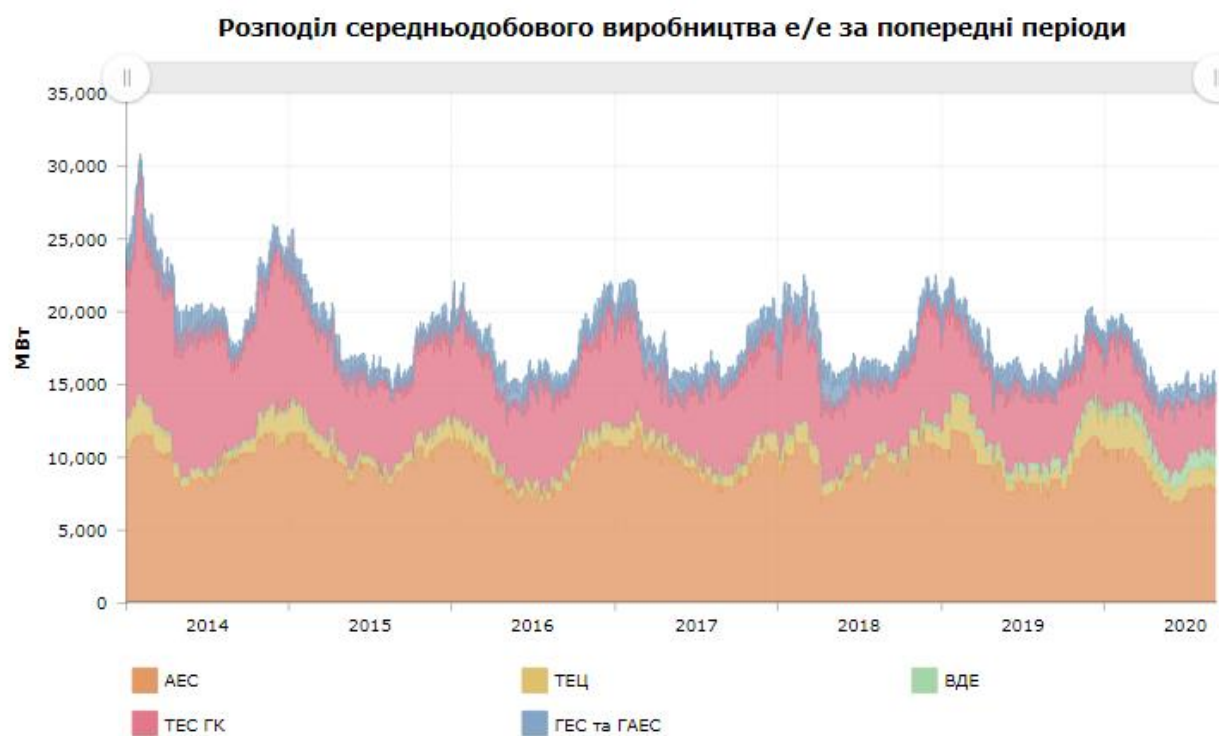


Рисунок 1.12 – Графік виробництва та споживання електроенергії. [5]

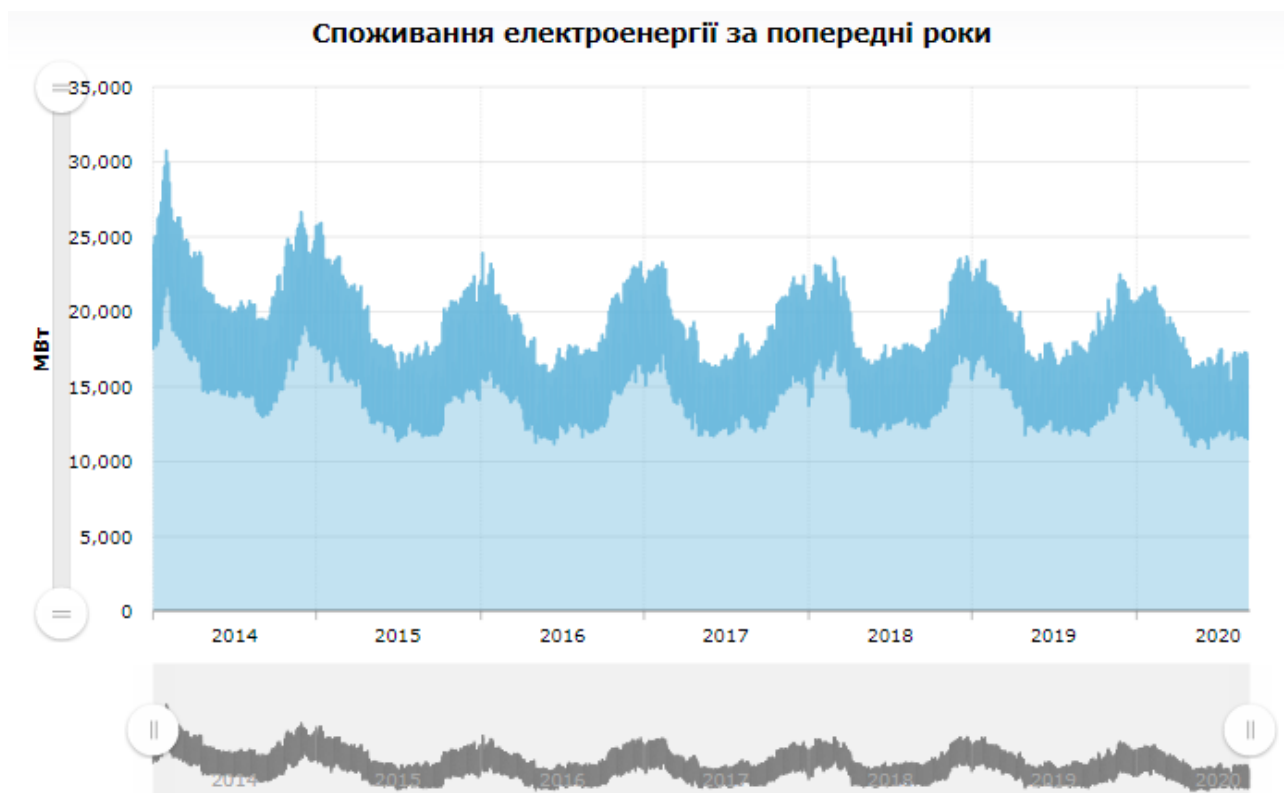


Рисунок 1.13 – Графік споживання електроенергії за попередні роки. [5]

На цих графіках спостерігається значна річна, сезонна і добова нерівномірності попиту та споживання електроенергії, що значним чином залежить від її виробництва, а також періоду року, місяця та часу доби.

Одним із головних недоліків електричної енергії, як товару, що потребує реалізації є практична неможливість її зберігання та складування як товарного продукту, а також можливість акумулювання не споживаних надлишків.

На рисунку 1.14 приведений приклад добового графіка енергетичного навантаження об'єднаної енергосистеми країни на прикладі доби за 26 лютого 2020 року.

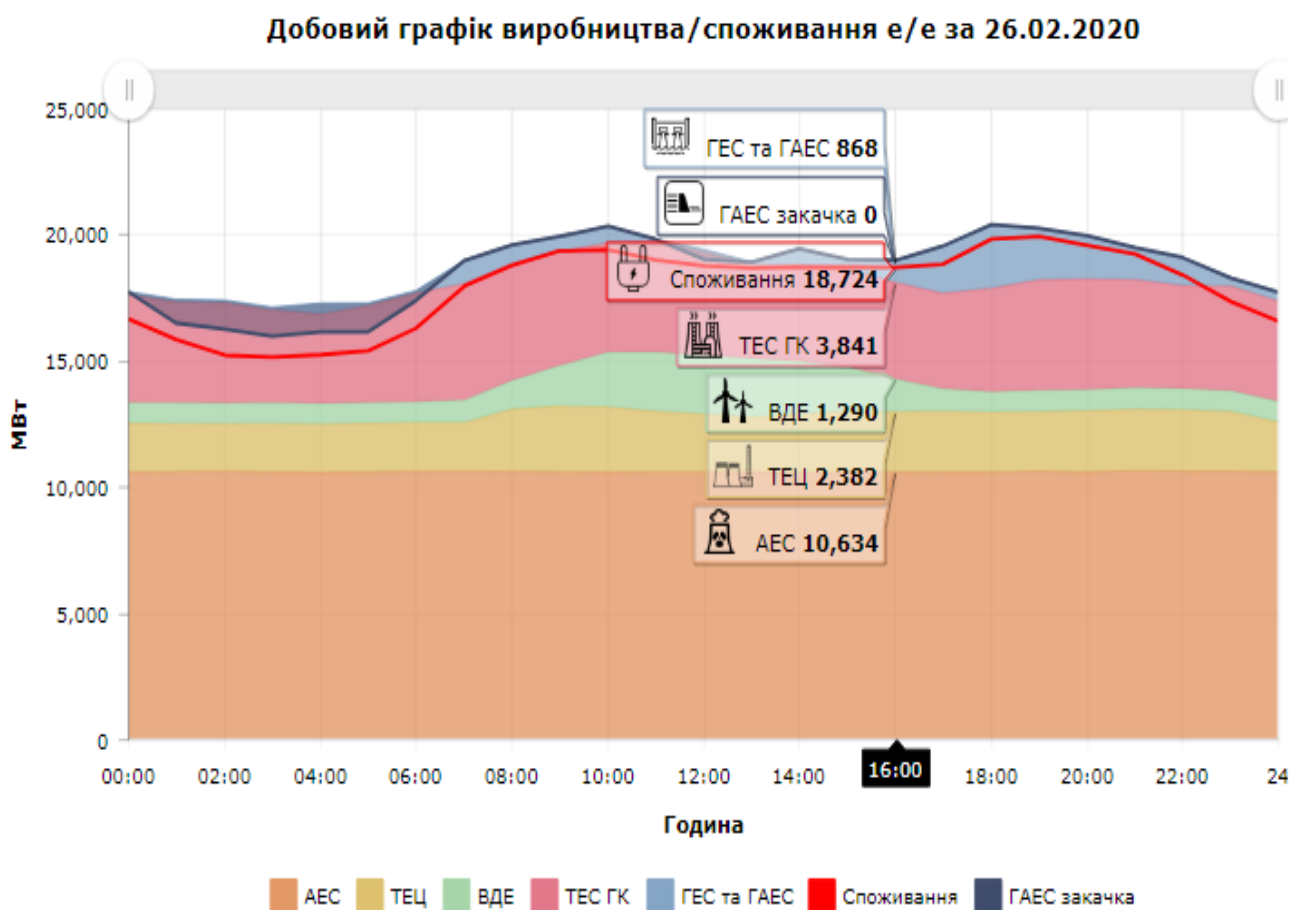


Рисунок 1.14 – Добовий графік виробництва та споживання електроенергії за 26.02.2020 р. [5]

Нестача маневрових потужностей потребує необхідності введення в дію теплових енергоблоків станцій для регулювання добових графіків навантаження,

це нераціонально бо призводить до використання первинних енергоресурсів так і пришвидшена зношуваність експлуатаційного ресурсу енергоблоків. На даний момент досить тяжко провести аналіз графіків навантаження енергетичної системи, але по довоєнним даним існували значні провали електронавантаження в нічні періоди доби, які потрібно заповнювати з точки зору економії енергоресурсів.

Також в попередні роки були проведені економічні заходи стимулювання завантаження нічної зони доби створенням диференціювання тарифів та пільгових ставок у нічному провалі добового графіка навантажень.

Одним з напрямків таких способів і засобів заповнення графіка є впровадження електроопалення, а саме пристроїв прямої дії так і та електричних систем теплоаккумуляційного типу.

Саме по собі немає, великого значення де та яким чином акумулюється та накопичується теплова енергія в нічні періоди провалу добового графіка. З розглянутих вище пристроїв теплова енергія може акумулюватися на невеликий період часу за допомогою використання пристроїв прямої дії (електричні котли (ТЕНові, електродні, індукційні), електроконвектори (повітряні, водяні, масляні), інфрачервоні обігрівачі, тепловентилятори, променисті панельні нагрівачі, кабельні обігрівачі, низькотемпературні сухі та масляні радіатори), але для тривалого використання потрібно використовувати більш дорого вартісні системи електротепло аккумуляційного типу з використанням теплоємнісних баків води, теплонасосні та установки гідродинамічного нагрівання, теплоакумуючі електропечі.

Для вибору та впровадження тієї чи іншої системи опалення, для заміни наприклад існуючої централізованої необхідно проводити технічні дослідження та техніко-економічні розрахунки. Визначившись із доцільністю використання для тієї чи іншої квартири, будинку чи об'єкту електричного теплозабезпечення визначаються з найбільш оптимальним для них.

Вирішивши при цьому досить об'ємний перелік питань з вибору існуючих на ринку систем з їх технічною реалізацією.

1.5. Оцінка можливості застосування кабельного опалення як теплоакumuляційного виду.

Можливість прямого опалення нагрівальними кабелями для оптимізації комфортної температури для тривалого перебування у приміщенні розглядалися та пропонувалися для використання способів використання теплоакumuляційних властивостей навколишніх предметів кімнати підлоги, стін, стелі, меблі завдяки компенсації коливань температури оточуючого середовища при аварійному чи плановому відключенні електропостачання [6, 7].

Приміщення визначається наступними теплоємними характеристиками як коефіцієнтами теплозасвоєння (предмети, огороження, матеріали) та тепловіддачі (віддача теплоти від поверхні предметів, огорожень, матеріалів до повітря). В свою чергу коефіцієнти теплозасвоєння і тепловіддачі створюють показник теплотривалості (теплопоглинання). Після припинення подачі тепла, температури повітря в приміщенні поступово починає знижуватися разом з температурою навколишніх нагрітих предметів, переважно пропорційно. Тому при належному виборі теплоізоляційних огорожень та матеріалів, теплоакumuляційна здатність приміщення буде досить значною та зміна температури нагрітого повітря при циклічному режимі опалення «ввімкнено-вимкнено» буде низьким.

Враховуючи це, нас цікавить як буде змінюватися температура в приміщенні, при впровадженні теплої ізоляції приміщення, при використанні кабельного опалення, що знаходиться в різних шарах товщини підлогового бетону. Яким чином буде змінюватися температура на протязі доби, при використанні двотарифної системи, при якій кабельне опалення буде ввімкнене у пільговий нічний період (23:00 - 7:00) та в режимі очікування в денний період (7:00 - 23:00) [6, 7].

Буде запропонована енергоефективна конструкційна схема гріючої підлоги з шаром будівельного матеріалу (наприклад бетон) який володіє значною теплоємністю $\cdot K \ 3718,0 \text{ кДж/м}^3$, що розміщений у шарі із підвищеними

теплоізоляційними властивостями. Для цього буде проведене чисельне математичне моделювання підлогового теплового опалення.

Планується, що за допомогою моделювання також зможемо виконувати підбір матеріалів для шарів підлоги з різними теплофізичними властивостями та внутрішніх і зовнішніх огорожень,

1.6 Висновки по розділу 1

Наведені дані свідчать, що поточний стан використання електроенергії для теплопостачання в цілому є таким, що перебуває у стані динамічного розвитку. Існує широкий асортимент засобів електротепло опалення - від прямого електрообігріву до застосування цілісних багаторівневих систем. Кожен з розглянутих видів опалення має набір технічних, економічних показників та споживчих характеристик.

Часто обрання найкращого серед декількох способів обігріву не є однозначним та потребує розробки і застосування спеціальних методик техніко-економічних розрахунків, проведення дослідницької роботи на заздалегідь обраних об'єктах.

Стимулювання заходів та засобів, для завантаження нічної зони доби є передбачуваною довгостроковою політикою тарифоутворювальних установ. Ці заходи спрямовані як на подальше тарифоутворення, так і на збереження пільгових ставок у нічному провалі добового графіка навантажень об'єднаної енергосистеми країни.

Таким чином, враховуючи інвестиційні та експлуатаційні витрати, особливості енергобалансу, значний рівень керованості, відносної екологічності і комфортності, впровадження електротепло обігріву техніко-економічно є виправданим.

Одним із найбільш перспективним напрямом застосування електроенергії для теплопостачання в Україні визнаний електротеплоаккумуляційний електрообігрів. У різних областях та територіальних громадах надають перевагу

або електрокотлам з акумуляційними ємностями, або кабельному опаленню, що потребує подальшого дослідження та узагальнюючого аналізу.

Централізоване виробництво електроенергії, яке іще існує у багатьох містах і районах та розосередженого (локального) її споживання з метою опалення надає практичну реалізацію точкового принципу впровадження електрообігріву.

Електрообігрів є мабуть єдиним видом опалення, який уможливить системне впровадження індивідуального поквартирного теплозабезпечення.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИ ТА КРИТЕРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ У ПРИМІЩЕННЯХ

2.1. Модель теплообміну в приміщеннях

В нашій країні, особливо в період воєнного стану, виникла гостра проблема у кількості потужностей для регулювання графіка ОЕС, тому впровадження новий програм з енергоефективності, наприкладі електроопалення, є важливим рішенням в енергозбереження.

Тому гостро стоїть питання у використанні нових енергоефективних електротеплових системи побудованих на принципі акумуляції теплоносія в години нічного недовантаження енергетичної системи, та використовуючи акумульовану теплову енергію в денний період для підтримання комфортного мікроклімату в опалюємому приміщенні.

При використанні різноманітного електричного опалення, створене тепло накопичується у навколишньому просторі кімнати, а саме у підлозі, стінах, стелі та предметах, що в ній знаходяться. Перераховані огороження та предмети мають свої теплоакumuляційні властивості, які при припиненні обігріву зменшують значно зменшують швидкість охолодження вказаного приміщення. Тому керування режимом акумулювання теплоти приміщення є зменшення темпу охолодження приміщення і збереження температури до нормативно прийнятних значень, при використанні оптимального значення спожитої енергії та мінімальних витратах матеріалів.

Управління теплоакumuляційним режимом є складною теплофізичною задачею, які для конкретних випадків ставилися і вирішувалися у наступних посиланнях [8] при цьому широко була використана теорія теплостійкості [9]

Можливість використання опалення вночі не нова ідея, але залишаються не вирішені проблеми теплофізичного аналізу об'єкту опалення, тому постають питання розгляду фізичних можливостей накопичення будівельними

конструкціями необхідної кількості теплової енергії у нічний (пільговий) період її акумулювання (з 23:00 до 7:00) з наступним забезпечення нормативного температурного режиму у період розряджання (віддавання) у денний період (з 7:00 до 23:00).

В процесі розрахунків теплообміну системи «нагрівальний кабель – опалювальне приміщення» є складності її фізико-математичних розрахунків, тому доцільніше виконувати моделювання з використанням комп'ютерно-прикладних програм. Визначення режимів роботи та параметрів періодичної дії «день-ніч» електроопалення пов'язані зі складністю фізико-математичного моделювання теплообмінних процесів, що відбуваються в системі «кабель – опалювальне приміщення» доцільно здійснювати з використанням комп'ютерного числового моделювання [10].

Кінцевою метою такого моделювання є визначення режимів і параметрів для енергоефективної електротеплоаккумуляційної системи обігріву приміщення.

Розрахунок розпочинається з розгляду багатовимірної картини просторовими координатами теплового стану вибраної кімнати де знаходиться проектна гріюча підлога. Моделювання теплообміну між огородженням як зовнішніми так і внутрішніми кімнати, повинен здійснювати через опори (температурні та теплоємнісні) з урахуванням коефіцієнтів перенесення теплоти між поверхнею гріючої підлоги та внутрішніми поверхнями огорожень.

Визначальним параметрами є як температура нагрівання кабелю так і температура приміщення. Від значення температури нагрівання кабелю, а також його конструктивних елементів і буде в подальшому залежати вибір параметрів енергозберігаючого та ефективного режим опалення.

Слід звернути увагу, що температура поверхні гріючої підлоги повинна бути більша за температуру внутрішнього повітря розрахункового приміщення, щоб теплота віддавалась, а не забиралась.

За даними літературних джерел [10, 11], температура внутрішніх стін, стелі, меблів менша за температуру повітря, тому вони отримують як від підлоги та і

від конвекції внутрішнього повітря. Передавачами теплоти від теплої підлого до повітря є поверхні стін та стелі, без врахування меблів та інших огорожень, та віднести механізм теплообміну до променево-конвективної системи опалення (рис. 2.1) [11].

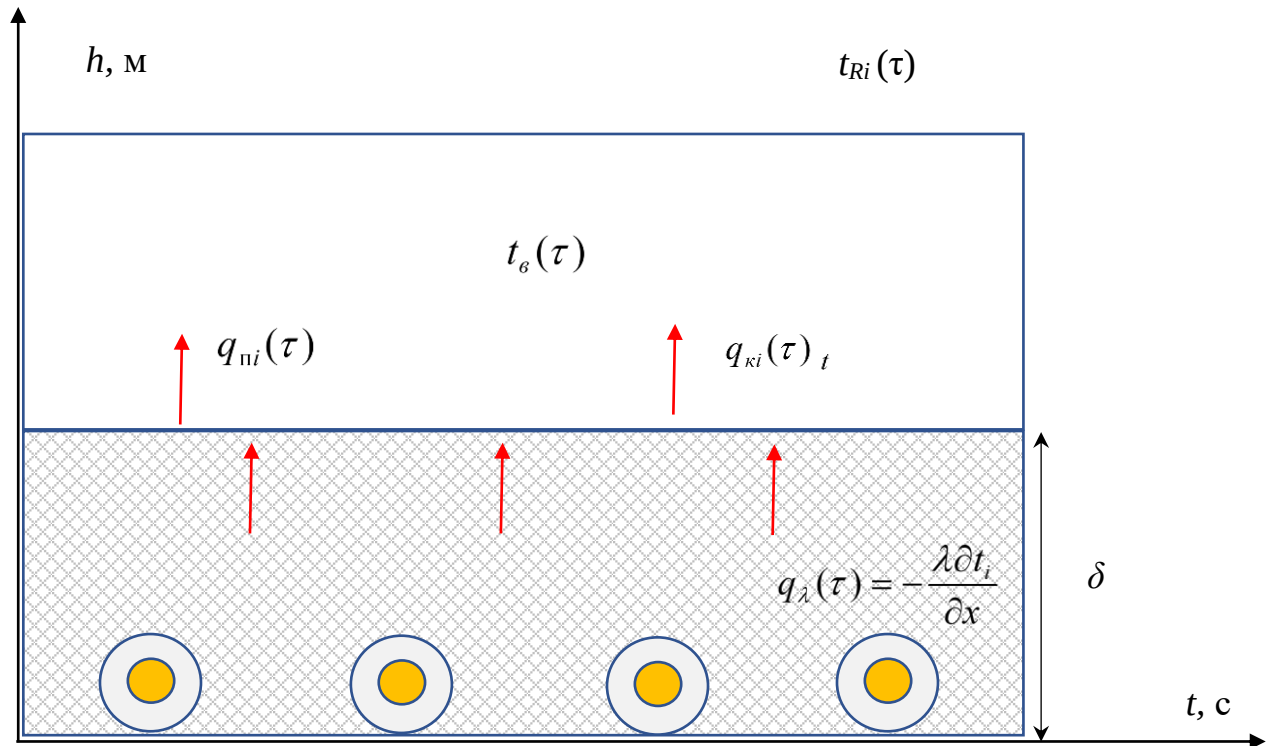


Рисунок 2.1 - Схема теплообміну гріючої підлоги з внутрішнім повітрям приміщення

Сумарні величини променевої і конвективної складових теплообміну, постійно змінюються і враховуються окремо.

Конвертину складова теплообміну беруть із розрахунку коефіцієнта $\alpha_{ki}(\tau)$ (конвективного теплообміну), внутрішнього повітря приміщення $t_g(\tau)$ та різниці температури поверхонь $t_i(\delta_i, \tau)$

$$q_k(\tau) = \alpha_{ki}(\tau) [t_i(\delta_i, \tau) - t_g(\tau)], \quad (2.1)$$

Теплообмін між стінами із повітрям визначаємо коефіцієнтом

конвективного теплообміну за формулою :

$$\alpha_{ki}(\tau) = n \cdot \sqrt[3]{t_i(\delta, \tau) - t_e(\tau)}, \quad (2.2)$$

де n – коефіцієнт теплового стану та розташування предметів, конструкцій.

Акумуляційна система опалення кабелем приміщення буде мати свої особливості теплообміну:

- періодичність споживання електроенергії системою електроопалення тобто внутрішню нестаціонарність;
- постійна зміна температури навколишнього зовнішнього повітря тобто зовнішню нестаціонарність;
- постійна зміна коефіцієнтів конвекційного теплообміну через зміну підвищеної температури внутрішніх поверхонь предметів спричинених поглинання променевого тепла від підлоги.

В процес теплообміну акумуляційної системи опалення кабелем буде включати періодичне тепловиділення підлоги та внутрішніх об'єктів, тепловтрати через зовнішні огороження та вентилявання в приміщення, участь у теплообміні внутрішніх огорожень.

Тепловий режим електрокабельної теплоаккумуляційної системи буде розраховуватися як нестаціонарна двовимірна нелінійна задача теплообміну. При розрахунку буде враховуватися температура в залежності від значень коефіцієнта теплообміну внутрішніх поверхонь із кімнатним повітрям.

Математична модель розроблятиметься на основі запропонованої схема приміщення, що представлена на рисунку 2.2.

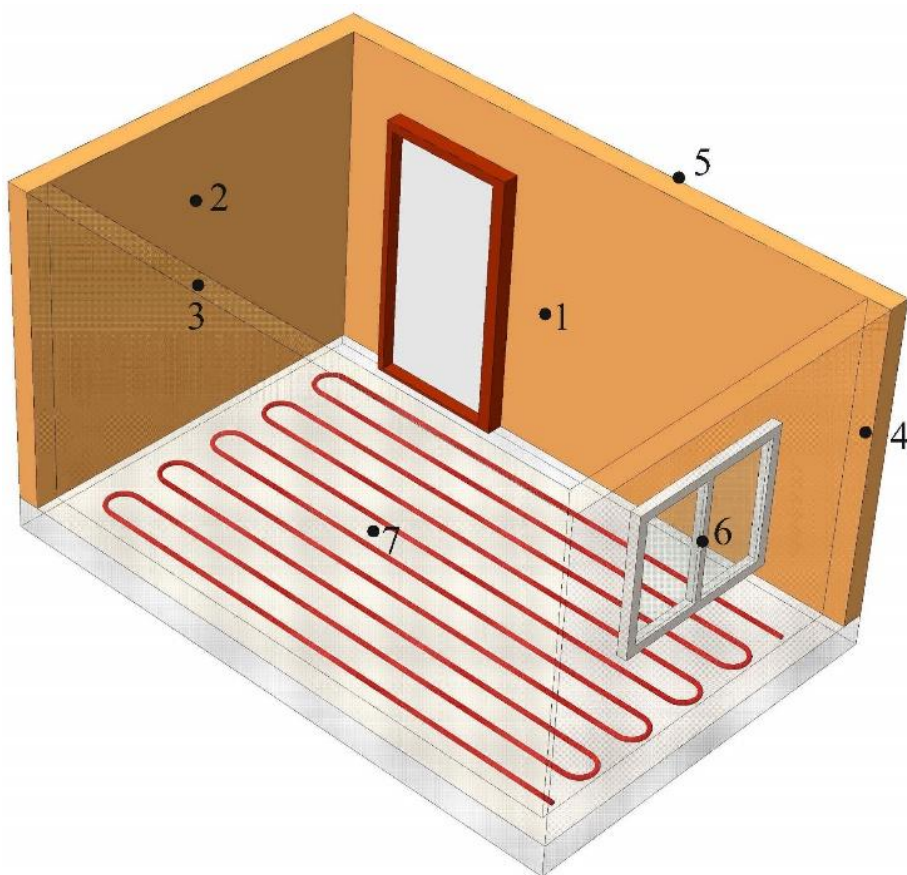


Рисунок 2.2 - Схема приміщення: 1, 2 - стіни внутрішні; 3 - стеля;
4,5 - стіни зовнішні; 6 - вікно; 7 - підлога.

Теплообмін приміщення з теплою підлогою можна описати наступними диференціальним рівнянням теплового балансу:

Теплообмін внутрішнього повітря з предметами, що знаходяться в приміщенні

$$c\rho V dt_s(\tau) / dt = \sum Q_e(\tau) + Q_{ct}(\tau) + Q_n(\tau) + Q_{п.п}(\tau) - \sum Q_s(\tau) + Q_{д.т}(\tau), \quad (2.3)$$

зовнішні огороження:

$$\partial t_s(x, \tau) / d\tau = a \partial^2 t_s(x, \tau) / dx^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta; \quad (2.4)$$

- встановлені граничні умови:

$$-\partial t_3(0, \tau) / \partial x + h_3 t_3(0, \tau) = h_3 t_3(\tau); \quad (2.5)$$

$$\partial t_3(\delta, \tau) / \partial x + h_3 t_3(\delta, \tau) = h_3 t_6(\tau) + h_3 t_R(\tau); \quad (2.6)$$

-початкові умови, а саме для стаціонарного режиму:

$$t(x, 0) = t(0, 0) + [t(\delta, 0) - t(0, 0)]x / \delta; \quad (2.7)$$

де:

$$t(0, 0) = t_3(0, 0) + q_T(0) / \alpha_3; \quad (2.8)$$

$$t(\delta, 0) = t_6(0) + q_T(0) / \alpha_6; \quad (2.9)$$

$$q_T(0) = [t_6(0) - t_3(0)] / [1 / \alpha_6 + \alpha / \lambda + 1 / \alpha_3]. \quad (2.10)$$

Внутрішні стін і стеля:

$$\partial t_6(x, \tau) / \partial \tau = a \partial^2 t(x, \tau) / \partial x^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta / 2; \quad (2.11)$$

-граничні умови:

$$\partial t_6(0, \tau) / \partial x = 0; \quad (2.12)$$

$$\partial t_6(\delta / 2, \tau) / \partial x + h_6 t_6(\delta / 2, \tau) = h_6 t_6(\tau) + h_6 t_R(\tau); \quad (2.13)$$

-початкові умови (стаціонарний режим):

$$t(x, 0) = t(0) \quad (4.14)$$

Електрична підлога:

$$\partial t_{\Pi}(x, \tau) / d\tau = a \partial^2 t_{\Pi}(x, \tau) / dx^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta; \quad (2.15)$$

-граничні умови:

$$\text{(з 23 до 7 годин)} \quad -\partial t_{\Pi}(0, \tau) / \partial x = q_{\epsilon}; \quad (2.16)$$

$$\text{(з 7 до 23 годин);} \quad -\partial t_{\Pi}(0, \tau) / \partial x = 0; \quad (2.17)$$

$$\partial t_{\Pi}(\delta, \tau) / \partial x + h_{\epsilon} t_{\epsilon}(\delta, \tau) = h_{\epsilon} t_{\epsilon}(\tau) + h_{\epsilon} t_R(\tau); \quad (2.18)$$

-початкові умови, а саме для стаціонарного режиму:

$$t(x, 0) = t(0) \quad (2.19)$$

2.2 Методи моделювання режимів теплообміну у приміщеннях

Для моделювання режимів теплообміну у приміщеннях можна використовувати традиційні аналітичні методи розрахунку, комп'ютерно обчислювальні методи, але краще буде поєднання цих методів, а саме аналітичний дасть можливість описати фізичну складову протікання тепло обмінних процесів, а комп'ютерні методи отримати кількості результати різної складності поставлених задач.

Метод скінчених інтегральних перетворень

Даний метод був створений для визначення значень перенесення тепла через огороження при добових коливальних змінах зовнішньої температури [12]. Використання цього методу практично не використовувалося при вирішенні поставлених задач коли використовуються та є внутрішніми джерелами тепла. Також враховуючи дослідження, що представлені в літературних джерелах [13,14].

Схему вибраного типового приміщення можна використати запропонований варіант, що зображений на рисунку 2.3.

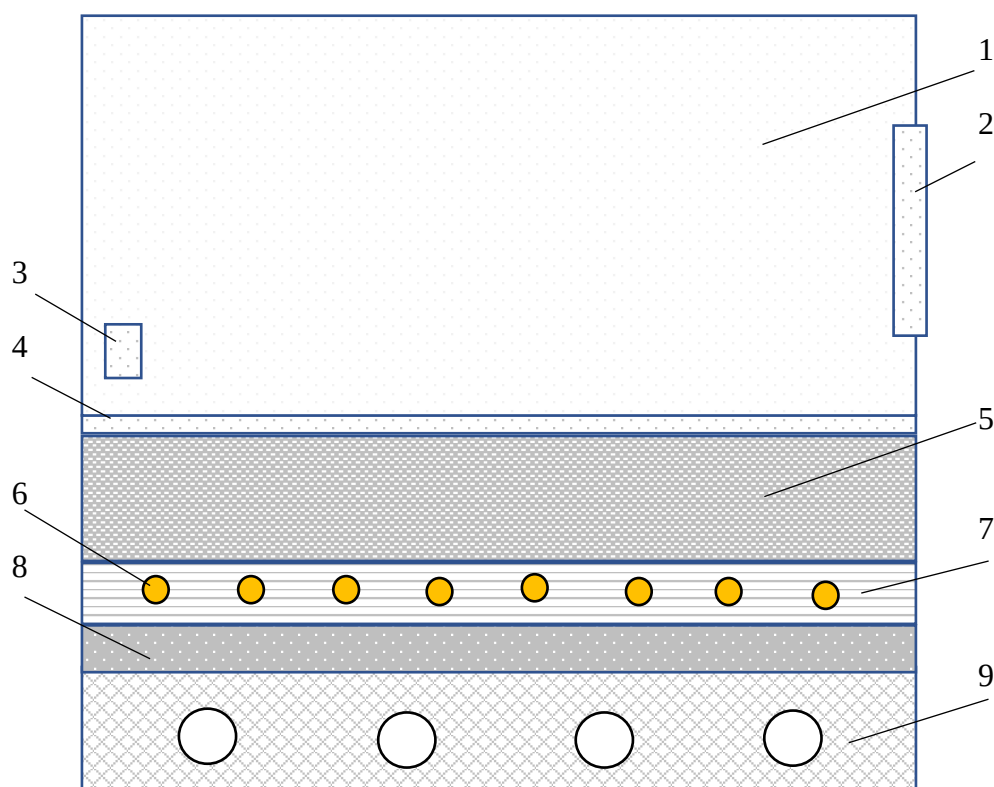


Рисунок 2.3 – Схема приміщення з грючою підлогою:

1 – приміщення; 2 – вікно; 3 – прилад опалення; 4 – підлога (кінцевий шар); 5 – шар теплоакumuляційний; 6 – електронагрівальні кабелі; 7 – бетонна стяжка; 8 - шар з теплоізоляційних матеріалів; 9 – перекриття (бетонна плита).

Запропонований метод розрахунку теплового режиму, з періодично в добовому циклі грючою підлогою при одношаровому огороженні

вирішується інтегральними рівняннями та інтегрально-диференціальним рівнянням.

Але не враховується сучасні тенденції з багатошаровим утепленням зовнішніх будівельних конструкцій, та теплоутримувальність теплоаккумуляційної системи опалення на протязі доби. Тобто багатошаровість, розпочинаючи мінімум із двох як зовнішніх стін так і підлоги, що потребує подальший пошаровий тепловий розрахунок так і додаткового складання і розв'язання системи рівнянь, що добре представлено в розрахунково експериментальних дослідженнях [11].

Метод математичного моделювання теплостійкості.

Наступний метод математичного моделювання теплостійкості теплоаккумуляційного приміщення в добовому циклі теплового «зарядження - розрядження» являється досить близьким за математичною та фізичною сутністю. Він використовує, з однієї сторони, елементи теорії теплової стійкості, та з іншої нерівномірність теплоенісного коефіцієнта приладу опалення [15,16]:

$$M = \frac{(Q_{max} - Q_{min})}{2Q_z}. \quad (2.20)$$

де Q_{max} , Q_{min} , Q_z – тепловиділення конкретного опалювального приладу та відповідно його мінімальне, середнє і максимальне, Вт.

При використанні теплоаккумуляційного кабельного пологового опалення, виділяєме тепло буде коливатися у межах мінімальної (розрядження) та максимальної (зарядження) віддачі, гріючою підлогою, тепла

$$Q \in [Q_{max} - Q_{min}] \equiv Q_z \pm \Delta Q, \quad (2.21)$$

Важливою складовою розрахунків має використання коефіцієнта нерівномірності M , що дасть можливість визначення ΔQ :

$$\Delta Q = M \cdot Q_z. \quad (2.22)$$

де M - коефіцієнт нерівномірності.

При періодичному коливанні віддачі теплового потоку гріючою підлогою, виникають також і температурні коливання внутрішніх поверхонь (стін, стелі).

Коливання температури внутрішніх поверхонь огорожень максимальне значення:

$$t_{max} = t_{\varepsilon} + \Delta t, \quad (2.23)$$

Мінімальне значення коливання температури внутрішніх поверхонь огорожень

$$t_{min} = t_{\varepsilon} - \Delta t. \quad (2.24)$$

Величина зміни Δt залежить від коливань ΔQ теплотопоу, що здійснюється за період z з врахуванням тепловластивостей стін і стелі, та залежності теплопоглинального коефіцієнта внутрішніх поверхонь, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$:

$$s_{\varepsilon} = \Delta Q \Delta t. \quad (2.25)$$

На основі матеріалу [17], амплітудне коливання внутрішньої температури можна визначити:

$$A_Q = \frac{(0,7 \cdot M \cdot Q_z)}{(\sum F_i \cdot B_i)} \quad (2.26)$$

Подальші розрахунки слід проводити для визначення теплової інерції D та товщини шару будівельної конструкції.

Нагрівальні кабелі в стяжці бетону створюють теплове випромінювання D , значення якого зменшується з наближенням до покриття (лінолеум, плитка, ламінат) підлоги, в залежності від кількості шарів:

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + R_3 s_3 + \dots + R_n s_n, \quad (2.27)$$

За $D_i = R_i s_i$ будемо вважати теплову інертність огороження.

Комп'ютерне моделювання режимів теплообміну

Сучасний розвиток комп'ютерних технологій, дає можливість використовувати розроблені багатоцільові обчислювальні пакети, їх універсальність надає можливість оптимально визначати співвідношення параметрів електрообігріву [17, 18].

Такою комп'ютерною програмою можна вважати ANSYS, в ній є розрахунковий пакет, що реалізовує метод закінчених елементів. Цей метод дозволяє апроксимувати дискретною моделлю, безперервну величину наприклад температуру, що побудована на великій кількості кусочних (діляночних) безперервних функцій. Ці функції мають визначення кінцевою кількістю підобластей.

Кусочні (діляночні) безперервні функції розраховуються значеннями безперервної величини, наприклад по температурі, в кінцевій кількості точок, прийнятої розрахункової області. Таку безперервну розрахункову модель можна замінити на більш досконалішу – дискретну. Розрахунки у дискретній моделі вже здійснюються у визначеній кількості точок, які іще отримали назву вузли.

Розрахунки розпочинають із створення комп'ютерної моделі для, що відображає аналіз теплового стану опалювальної системи.

Така комп'ютерна модель системи опалення має складові: опалювальне приміщення – тепла підлога – повітря приміщення – стіни, стеля – зовнішнє навколишнє середовище. Для комп'ютерної моделі розташування вузлових

точок у приміщенні представлено на рисунках 2.4 і 2.5.

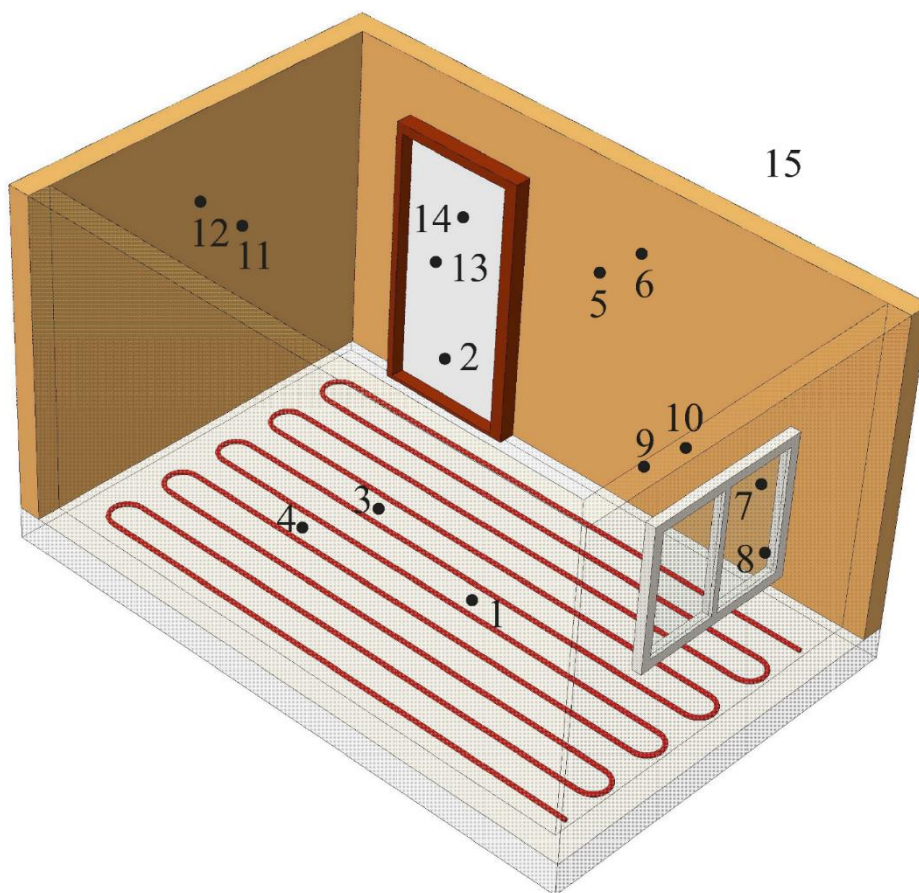


Рисунок 2.4 - Комп'ютерна модель розташування вузлових точок у опалювального приміщенні : 1 – опалювальна підлога; 2 - внутрішнє повітря приміщення; 3,4,9,10 - вузли на зовнішніх огородженнях (підлога, стіни); 5,6,11,12 - вузли на внутрішніх огороженнях (стіни); 7,8 - вузли на вікнах; 13,14 - вузли на дверях; 15 - зовнішнє навколишнє повітряне середовище.

Загалом розрахунок комп'ютерне моделювання режимів теплообміну складається із трьох етапів.

На першому, моделюються та визначаються складові частини взаємодії між підлогою і приміщенням. Приймається, що нагрівальний кабель прокладається з розрахунковим кроком в один чи два шари. Задачу можна звести до двовимірної між відстанню (x) - кабелем та віссю в поперечному

напрямку, та віссю (y) – відстань по висоті уздовж будівельної конструкції.

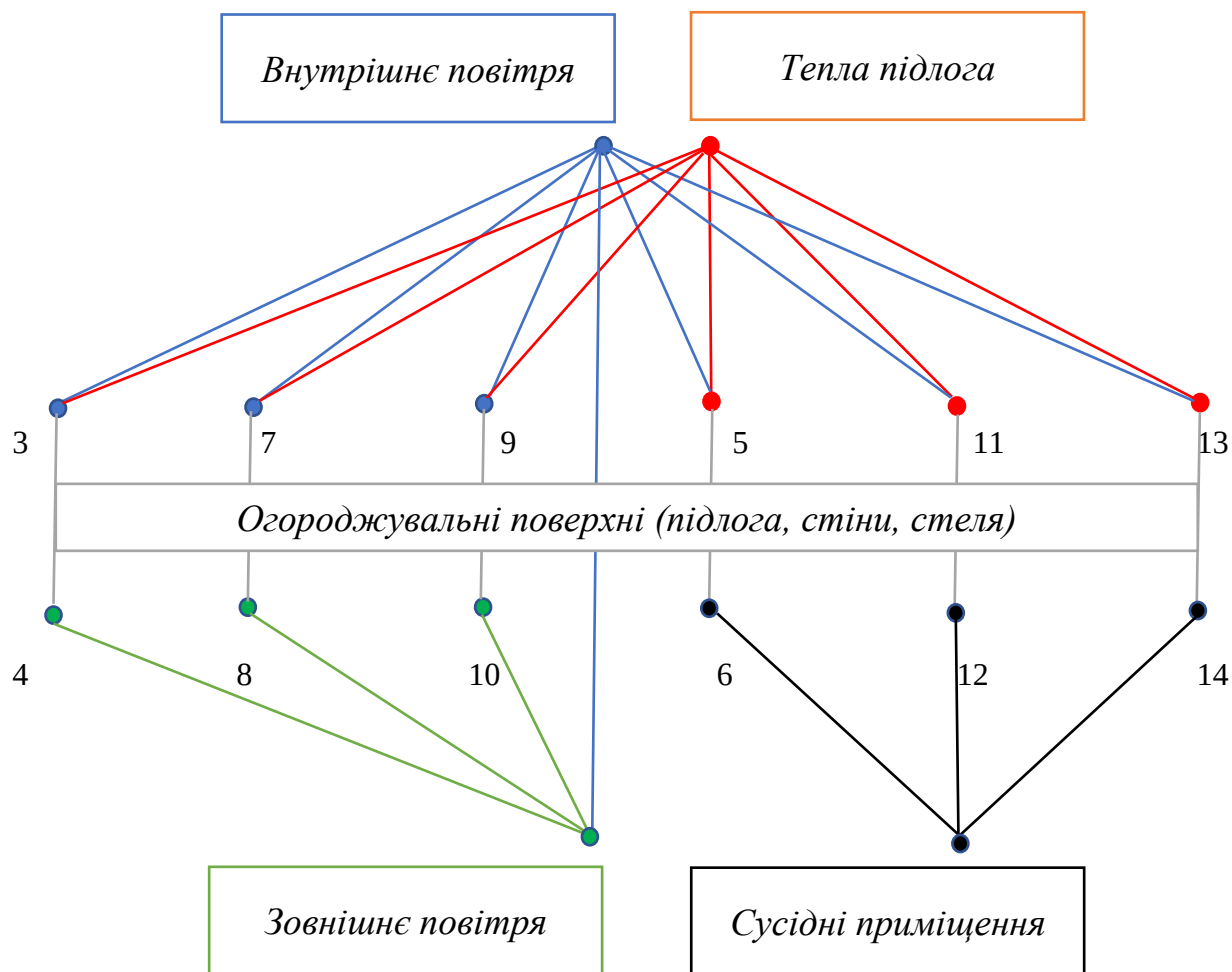


Рисунок 2.5 - Схема теплових зв'язань між вузовими точками комп'ютерної моделі.

Приміщення має тривимірну форму, тому перевага надається моделі із зосередженими параметрами, в якій вузлами є огорожувальні конструкції і об'єм повітря. У цих вузлах зосереджені такі властивості і параметри, як температура, теплоємність, теплопровідність. Особливого значення надається тепловим зв'язкам у вузлах.

На наступному, другому етапі, виконується побудова геометричної моделі, яку можна доводити до п'ять шарів; до трьох (шар з кабелем – шар акумуляційний – шар поверхневий (лицьовий)); до одного – моношар з кабелем.

Нагрівальний кабель загалом має чотири складові: нагрівальна жила, ізоляція із пластика, металеве обплетення. Конструктивні особливості кабелю можуть змінюватися в залежності від марки.



Рисунок 2.6 - Модель кабелю з розбивкою на шари

На останньому третьому етапі виконується побудова сітки з розбивкою геометричної області. На рисунку 2.7 приведено кабель із скінченно-елементною моделлю.

На рисунку видно, що насиченість сітки знаходиться у центрі, де розміщена тепловиділяюча жила кабелю і являє собою місце високих температурних градієнтів. Поступове зменшення значення температурних градієнтів спостерігається із віддаленням від жили кабелю до крайніх меж гріючої підлоги.

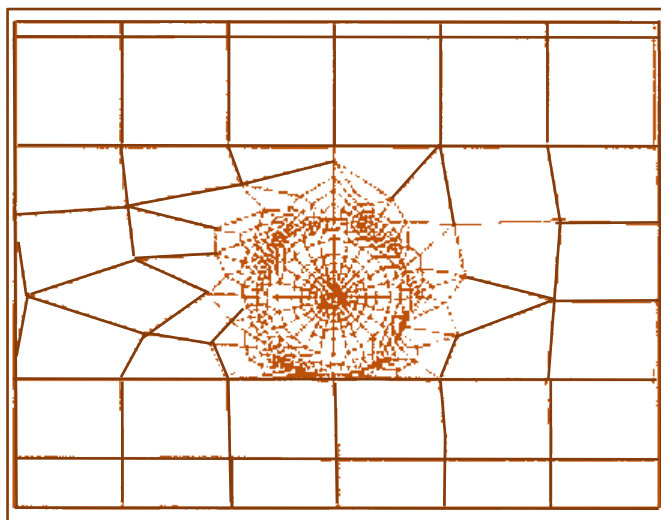


Рис. 2.7 - Комп'ютерна скінченно-елементна модель кабелю.

Комп'ютерна підсистема (приміщення з кабелем та теплоаккумуляційною підлогою) будується із зосередженими параметрами i -го вузла, зв'язаного з j -х вузлами. Дана модель розраховується наступними диференціальними рівняннями:

$$c_i \rho_i V_i = \sum_{j=1}^n k_{i-j} S_{i-j} (t_i - t_j) \pm Q_i, t = t(\tau); i \neq j; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n. \quad (2.28)$$

Тепловиділення Q_i у вузлі, а також / або теплопоглинання може розраховуватися:

$$Q_{\text{вснт}} = m(\tau) c \rho V (t_\epsilon - t_{np}), \quad (2.29)$$

Тепловий (променевий) обмін між поверхнями приміщення i і j визначається:

$$Q_n = \sum_j c_0 \varepsilon_{i-j} \left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_j + 273}{100} \right)^4 \right] \varphi_{i-j} F_i, \quad (2.30)$$

Теплообмін (конвективний) визначається;

$$Q_k = A \sqrt[3]{(|t_n - t_n|) + 60 \frac{v_n^2}{1} (|t_n - t_n|) F_i}, \quad (2.31)$$

Розглянемо підсистему «гріюча підлога-кабель». Дана модель підсистему «гріюча підлога-кабель» з розподілом температури розраховується наступними диференціальними рівняннями:

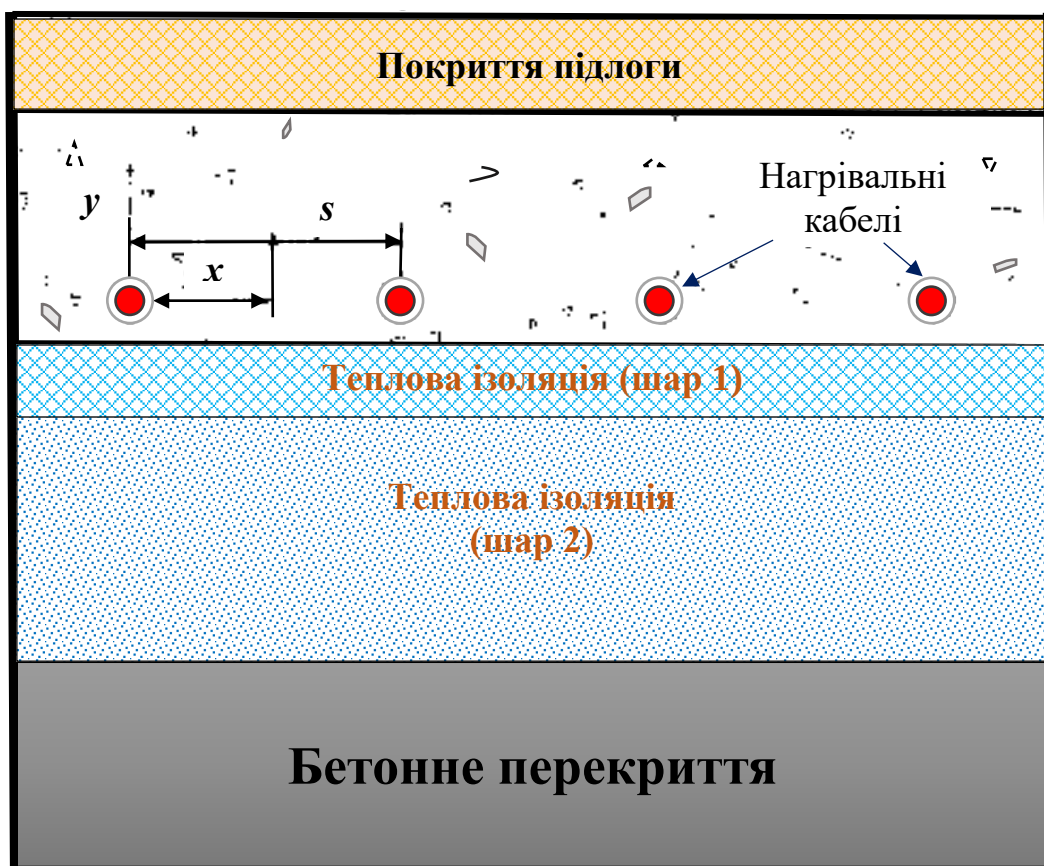
$$\begin{aligned} c \rho V \frac{\partial T}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q_1 \pm Q_{xim}, \\ \tau &> 0; \quad 0 < x < s/2; \quad |y_H| < y < y_B; \quad T = T(x, y); \quad \lambda = \lambda(x, y); \\ c &= c(x, y); \quad \rho = \rho(x, y); \quad Q = Q(x, y, \tau), \end{aligned} \quad (2.32)$$

Електрокабельна система опалення може працювати як в акумуляційному режимі так і прямій дії опалювальних приладів, при цьому використовуються математичні моделі як стаціонарна так і нестаціонарна.

Стаціонарна модель розрахунку гріючої підлоги визначає теплофізичні та геометричні параметри, потужність кабелю враховуючи монтажний крок укладання. Модель може бути одновимірною з шаром тепловіділяючої поверхні. Розв'язується завдання підтримання постійної температури поверхні гріючої підлоги при мінімальних проектних, монтажних і експлуатаційних витратах.

При нестаціонарному режимі розрахунку гріючої підлоги з використанням акумуляції тепла в добовому циклі, 8 годин заряджання і 16 годин віддача теплоти, з підтримкою постійної температури потребує доповнень моделі. При цьому звертають увагу на нерівномірність завантаження системи протягом доби; теплоємність повітря, стелі, стін, підлоги; теплообмін всередині та поза приміщенням [2].

Підлога верхнього приміщення



Стеля нижнього приміщення

Рисунок 2.8 - Схема теплої підлоги з нагрівальними кабелями.

2.3 Критерії оцінювання теплоаккумуляційного електрообігріву

Задачею всіх систем електрообігріву являється підтримка необхідної температури в приміщенні в періоди року коли вона знижується нижче за встановлені норми [19]. Припустимо, що в житловому приміщенні амплітуда коливань температури повітря знаходиться у межах $\pm 2,5$ °C від встановленої по нормам 18 °C, в межах добового циклі електрообігріву. Теплоаккумуляційний електричний обігрів по своїй суті відноситься до панельна променевого то у порівнянні із конвективним, може знижувати значення температури до $\pm 2,5$ °C. Виходячи із цього можна сформулювати наступну критеріальну вимогу, що протягом доби середня температура повітря $t_{нов}$ в опалювальному приміщенні,

буде знаходитися в діапазоні від $+15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і до $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_{\text{ноє}} \in [15,5 \dots 20,0]^{\circ}\text{C} \quad (2.33)$$

Перший критерій встановлюється, враховуючи загальні вимоги енергоефективності призначені для даної технології електрообігріву. Таким чином формулюється задача оптимізації теплоаккумуляційного електрообігріву, в якій цільовою функцією якраз і являється мінімум капітальних і експлуатаційних витрат.

Наступним, другим критерієм, можна вважати граничну температура поверхні підлоги $\tau_{\text{п}}$, в процесі її нагрівання та охолодження (період доби), яка повинна знаходитися в межах норми [19], задовольняти біофізичні властивості і потребами людини. У приміщенні де постійно перебуває людина, гранична температура поверхні гріючої підлоги повинна становити $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20], з врахуванням покриття встановленого покриття поверхні підлоги (лінолеум, ковrolін, плитка, ламінат, вінілова підлога та SPC ламінат)

$$\tau_{\text{п}} \leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.34)$$

При використанні ламінату, температура покриття підлоги не повинна перевищувати 26°C .

При формуванні четвертого критерію, необхідно також врахувати максимально допустиму температура нагріву кабелю, а саме його жили $t_{\text{ж}}$. Так, як сьогодні на ринку представлений широкий асортимент електричних кабелів для опалення, то температура нагріву жили може знаходитися у межах $55 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$, та обмежуватися термостійкістю використаними ізоляційними матеріалами оболонки кабелю.

$$t_{\text{ж}} < 70\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.35)$$

Слід також врахувати середовище, а саме матеріал теплоакumuляційного шару в якому перебуватиме нагрівальний кабель (бетонна стяжка з різноманітними домішками), але загалом враховуючи теплотехнічні властивості, а саме температуру дегідратації найбільш вживаного матеріалу бетону, можна прийняти $t_k = 90^\circ\text{C}$.

Вимога наступного четвертого критерію полягає у рівномірному розподілу температури підлоги по всій її поверхні (без темних зон). Загалом перепад температури поверхні гріючої підлоги не повинно перевищувати $1,0^\circ\text{C}$, з чого і формується критерій, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_{\text{п}} < 1^\circ\text{C}. \quad (2.36)$$

Тому, монтуючи нагрівальний кабель, необхідно обирати раціональних видів будівельних конструкцій і матеріалів шару підлоги. Також звернути увагу на ефект «зебри» змін температурних зон у теплоакumuляційному шарі, які повинні вже нівелюватися за рахунок обраних конструкцій і матеріалів на лицьовій поверхні підлоги.

Наступним п'ятим критерієм електроопалення приміщення в добовому періодичному циклі є обмеження величини перегріву $\Pi_{\text{гг}}$ [20] приміщення $^\circ\text{C} \cdot \text{год}$

$$\Pi_{\text{гг}} = \frac{(t_{\text{пд}} - t_{\text{п.сер}}) d_{\Delta}}{2} \leq 4,0, \quad (2.37)$$

Всі приведені критерії є актуальними для нестационарного режиму роботи, які виключаються якщо розв'язуються стаціонарні задачі.

Теплова потужність опалювальної теплоакumuляційної системи повинна забезпечувати тепловий комфорт перебування у приміщенні та визначатися балансом між потужністю опалювального приладу $Q_{\text{о.п}}$ і тепловими витратами $Q_{\text{т.вирт}}$:

$$Q_{\text{т.вир}} = \left[\frac{(t_{\text{прим}} - t_{\text{сеп}})}{R_{\text{т.огор}} F_{\text{зовн.огор}}} + Q_{\text{вент}} \right] \leq Q_{\text{о.п}} = \alpha(t_{\text{ппо}} - t_{\text{прим}}) F_{\text{ппо}}. \quad (2.38)$$

Дана вимога до опалювальної системи повинна виконуватися і при виконанні приведених вище критеріїв.

2.4 Висновки по розділу 2

Окремо при впровадженні електротеплоаккумуляційного обігріву необхідно розглянути практичні питання модернізації внутрішніх електромереж, електрообладнання до і після електричного введення в будинок. Стан ліній електропередачі та силових підстанцій є ще однією важливою умовою поширення технології електротеплоаккумуляційного обігріву.

Отримання позитивних результатів моделювання є важливим кроком на шляху практичного впровадження технології електротеплоаккумуляційного кабельного обігріву.

Зокрема, моделювання включає розв'язання в нестационарній постановці задач теплообміну в системі "нагрівальний кабель - підлога - повітря приміщення - сусідні приміщення - огорожувальні конструкції - зовнішнє середовище" за певних початкових та граничних умов і в заданих інтервалах зміни незалежних змінних і параметрів.

Успішне моделювання свідчить, що технологія електротеплоаккумуляційного кабельного обігріву може бути життєздатною альтернативою традиційним системам опалення. Наступним кроком має стати практична перевірка результатів моделювання та широкомасштабне впровадження цієї технології.

РОЗДІЛ 3.

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ КАБЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ

3.1 Приміщення з теплоакуміляційними властивостями гріючої підлоги

Теплостійкість будівельних матеріалів та конструкцій є важливою характеристикою, яка широко застосовується в системах опалення та кондиціонування для забезпечення штучного мікроклімату приміщень. Завдяки високій теплоємності масивних огорожувальних конструкцій при переривчастому опаленні можна підтримувати комфортну температуру протягом тривалого часу після одноразової топки. Багаторазова топка протягом доби суттєво підвищує тепловий ефект за тих самих витрат палива.

Дивлячись на це питання під іншим кутом, висока теплостійкість конструкцій необхідна влітку для запобігання перегріву приміщень та підтримання комфортної температури.

Як згадувалося раніше, кількісною мірою здатності конструкції періодично акумулювати й віддавати тепло (при опаленні) чи "холод" (при кондиціонуванні) в умовах гармонійних коливань температури її поверхні або теплового потоку є спеціальний коефіцієнт теплозасвоєння s_e . Він пов'язаний з теплофізичними характеристиками матеріалу (теплопровідністю λ , теплоємністю c , щільністю ρ) та частотою коливань теплового режиму ω .

Оскільки коефіцієнт s_e залежить від змін температури поверхні будівельної конструкції та її шарів за умов періодичних коливань з частотою ω , він не є теплофізичною константою матеріалу в класичному розумінні, на відміну від λ , c чи ρ .

Технологія електричного теплоаккумуляційного обігріву базується на низці періодичних теплових процесів, що відбуваються в системі "зовнішнє середовище - будівельні конструкції - внутрішнє повітря приміщення - гріюча

підлога". Найважливішим є процес, який тісно пов'язаний з увімкненням гріючої підлоги в нічні години зниженого енергоспоживання та її вимкненням в пікові.

Необхідний температурний режим у приміщенні забезпечується за рахунок раціонального поєднання процесів акумулювання тепла в гріючій підлозі та інших конструкціях (фаза "зарядки" під час дії пільгових тарифів) і подальшої віддачі накопиченого тепла (фаза "розрядки") після вимкнення електроопалення.

Оскільки технологія електричного теплоаккумуляційного обігріву є системою періодичної дії, її основною метою є підтримання температури внутрішнього повітря в заданих межах з мінімальними коливаннями. Тобто амплітуда температурних коливань має залишатися в допустимих межах для забезпечення комфорту. Норми встановлюють граничні значення коливань температури взимку на рівні $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ для центральних систем опалення та $\pm 3^{\circ}\text{C}$ для пічного.

Основна ідея полягає в тому, що система ЕТА має мінімізувати коливання температури внутрішнього повітря в заданих нормативами межах [2].

3.2 Вплив властивостей матеріалів при застосуванні кабельного електроопалення

У технологіях електротеплоаккумуляційного опалення, зокрема при застосуванні системи "тепла підлога" на основі електричних кабельних нагрівачів, ключовим моментом є питання періодичної, циклічної роботи опалення впродовж доби. Переривчаста подача теплової енергії призводить до поступових змін значень температури та величин теплових потоків на поверхні огорожувальних конструкцій.

Чергування проміжків часу "зарядження" (нічне тепловиділення в опалювальних кабелях) та "розрядки" (відсутність активного теплового впливу вдень) зумовлює виникнення циклічних гармонійних коливань температури повітря у приміщенні та теплових потоків на внутрішніх поверхнях стін з

періодом 24 години.

За умови, що амплітуда температурних коливань не перевищує декількох градусів Цельсія (від 1 до 3°C), температурний режим залишається у допустимих межах відповідно до нормативів. Проте, при значному зростанні амплітуди коливань існує ризик порушення санітарно-гігієнічних умов у приміщенні. В такому разі виникає необхідність розрахунку оптимальних характеристик систем ЕТА для підтримки нормативної температури.

Додатково варто зауважити, що сучасні системи електротеплоаккумуляції можуть комплектуватися автоматичними регуляторами температури для мінімізації її коливань.

Припущення про гармонійний, синусоїдальний характер коливання теплових потоків і температур у актуальних випадках є досить практичним. Це підтверджується експериментально, наприклад для цегляних печей.

Якщо фактичний графік коливання істотно відрізняється від синусоїди, його можна розкласти в ряд Фур'є з основним періодом. Вже 3 гармоніки досить точно описують прямі імпульси.

Великого значення набувають теплоаккумуляційні властивості конструкції, які можна оцінити загальними показниками "теплотасвоєння" та "теплостійкість". Ці характеристики є класичними для практичних розрахунків системи з гріючою підлогою.

Отже, гармонійна модель дозволяє спростити аналіз складних теплових процесів в ЕТА-системах з урахуванням теплоаккумуляційної здатності елементів конструкції.

Серед кількох показників теплоаккумуляційної здатності конструкцій особливе значення має коефіцієнт *теплотасвоєння* та його похідні. Хоча цей коефіцієнт і є дещо умовним, оскільки не виражає абсолютно точної кількості накопичувального тепла, проте він суттєво полегшує розрахунок збільшення температурних коливань у конструкціях, подібно до коефіцієнта тепловіддачі. Таким чином, коефіцієнт теплотасвоєння дає можливість розробити прості методики для визначення загасання і запізнення теплових хвиль в елементах

конструкції при гармонійних температурах коливання чи тепловому потоку [2].

Отже, незважаючи на певну умовність, цей коефіцієнт є зручним для інженерних розрахунків складних теплових процесів в ЕТА-системах.

Поняття "теплотасвоєння" та відповідні коефіцієнти були введені в будівельну теплофізику на початку 20 ст. шляхом розв'язання рівня теплопровідності за гармонійних граничних умов. Ця теорія досить швидко знайшла практичне застосування для визначення оцінки теплостійкості зовнішніх стін будівель при переривчастому опаленні. У 30-х роках були розроблені норми теплозахисної конструкції з урахуванням їх теплостійкості. Завдяки цьому стало можливим обґрунтувати доцільність застосування нових ефективних теплоізоляційних матеріалів замість масивних конструкцій, що сприяло економії палива на опалення. Теорія довела хибність оцінок теплостійкості лише за теплоємністю конструкції, що уможливило використання полегшених зовнішніх стін.

Отже, коефіцієнт теплотасвоєння економічної діяльності відіграє важливу роль в оптимізації конструктивних рішень і підвищенні енергоефективності будівель.

Подальший розвиток теорії теплостійкості пов'язаний з роботами А.М. Шкловера, який виступив символічним методом для розв'язання рівня теплопровідності. Це дозволило повністю врахувати фазовий зсув теплового потоку і температури, точно розрахувати згасання температурних хвиль в одновимірних конструкціях. Методики Шкловера знайшли широке застосування на практиці, зокрема для проектування теплоаккумуляційних пристроїв. Накопичені дані дозволили моделювати поведінку застосування за різними циклами теплових впливів. Перша теорія теплостійкості була застосована для аналізу коливання температури повітря при грубому опаленні. Використано аналогічний підхід і для дослідження можливостей системи "тепла підлога" в якості базового опалення [2,21].

Для оцінки теплоаккумуляційної здатності гріючої підлоги можна використовувати поняття "шар різких коливань" (ШРК) - товщина шару біля

поверхні, де амплітуда температури коливання утворюється істотно від амплітуди на самій поверхні. Сучасне тлумачення ШРК передбачає, що це товщина шару, в якій властивості матеріалу забезпечує 95% теплового ефекту. Величина коефіцієнта теплосасвоєння внутрішньої поверхні залежить лише від теплофізичних характеристик матеріалу в межах ШРК. ШРК пов'язаний з виявленням про активну теплоємність, тобто теплоакumuляційну здатність конструкції. Це дає підстави оцінити теплотостійкість товстої конструкції та конструкції закінченої ШРК, практично однаковими за іншими рівними умовами.

У товщі гріючої підлоги утворюється згасаюча температура хвилі. Для оцінки кількості хвиль приводиться безрозмірний показник теплової інерції D . Він дорівнює сумі добутків термічних опор шарів на коефіцієнти теплосасвоєння матеріалів і залежить від періоду коливання. При $D_{24}=8,5$ в конструкції вміщується одна повна хвиля; при $D_{24}>8,5$ – більше чим одна хвиля, при $D_{24}<8,5$ – неповна хвиля. Зі зростанням частоти коливання D збільшується поступово і згасання температурних коливань поступово прискорюється. У шарі різких коливань міститься близько $1/8$ довжини хвилі, а показник теплової інерції $D=R \cdot s = l$.

Товщина шару різких коливань δ , як і показник теплової інерції конструкції D , залежать від частоти коливання теплового потоку ω : зменшуються зі зростанням частоти і навпаки. Наведено приклад для цегляної стіни: у періоді 24 години ШРК в 2,5 цеглини становить близько 13% від загальної товщини стіни, а в 12 годинах – лише близько 9,5%. Маса стіни за межами ШРК практично не впливає на коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні. Отже, товщина ШРК істотно залежить від періоду коливання теплового процесу і може становити невелику частину від загальної товщини масивної конструкції.

Товщина шару регулює теплопередачу (ШРК) конструкції, яку з шести формул використовують для визначення коефіцієнта тепловіддачі внутрішньої поверхні системи підігріву підлоги. Ці формули будуть точні, тільки якщо

амплітуда коливання температури поверхні шару однакова на всіх його ділянках. З врахуванням і наявності інших припущень, ці формули можна використовувати лише як наближені значення коефіцієнта тепловіддачі матеріалів шару в практичних розрахунках. Є можливість отримати більш точні результати, якщо немає сучасними обчислювальними пакетами. Отже, запропоновані формули є наближеними через певні припущення. Але їх можна використовувати в практичних розрахунках, а для більшої точності варто використовувати спеціальне програмне забезпечення.

Поняття "*теплостійкість*" вводиться для загального опису здатності будівельних конструкцій накопичувати та віддавати тепло. Можливість цього внутрішнього поняття пов'язана з принциповою нерівномірністю тепловиділення при електротермічному опаленні, що призводить до коливання температури повітря у кімнаті та температури поверхонь огороження. Встановлено допустимі межі добових коливань температури повітря за температури $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$. Амплітуда коливання температури повітря та внутрішні поверхні залежать не лише від властивостей опального приладу, але й від самого приміщення та теплотехнічних характеристик його огорожень. Отже, вводиться загальне поняття для опису теплоакумуючої здатності конструкції, необхідне через нерівномірність системи тепловідділення.

Теплостійкість огороження - це його здатність по-різному знижувати температуру внутрішньої поверхні при однакових наливаннях теплового потоку крізь нього. Чим менше знижується температура внутрішньої поверхні при фіксованих коливаннях теплового потоку, тим більш теплостійким є огороження. Аналогічно виводиться поняття теплостійкості приміщення - його здатність знижувати температуру повітря при нагріванні тепловіддачі опалювального приладу. Теплостійкість приміщення багато в чому використовує його санітарно-гігієнічний стан. Можливо отримати кількісні формули для розрахунку теплостійкості. Таким чином, вводяться якісні поняття теплостійкості огороження і приміщення та ставиться завдання їх якісного опису.

Теплостійкість приміщень. Коефіцієнт теплостійкості ϕ чисельно характеризує теплостійкість огородження - його здатність протистояти зниженню температури внутрішньої поверхні. Наведена формула для розрахунку ϕ , яка показує, що теплостійкість можна підвищити за рахунок: підвищення опору теплопередачі огородження; переходу до більш рівномірного тепловиділення системи опалення; коефіцієнта тепловіддачі внутрішньої поверхні. Однак формула має певні обмеження і не враховує взаємний вплив огородження та коливання температури повітря у воді. Тобто потребує удосконалення.

Теплостійкість приміщень. Теорія теплостійкості була застосована до аналізу теплостійкості приміщень. Наводиться формула для розрахунку амплітуди коливання температури повітря в кімнаті. Ця формула отримана без врахування деяких факторів: зсуву фази між коливаннями, взаємного впливу огорожень, теплоємності внутрішніх огорожень та предметів вчасно. Запропоновано емпіричну поправку на зсув фази з коефіцієнтом 1,08. Отже, формула потребує удосконалення з урахуванням наведених факторів.

3.3 Вплив на закладання гріючого кабелю глибини і кроку закладання

Для систем електричного теплоаккумулятивного опалення необхідно відповідати комплексу умов і критеріїв. Дійсно, це складне завдання, яке вимагає проведення численних розрахунків та досліджень.

При вивченні впливу кроку і глибини викладання нагрівальних кабелів потрібні такі уніфіковані умови як: температура зовнішнього середовища, приймемо для нашого регіону $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$; теплове навантаження візьмемо 55 Вт/м^2 , матеріал літнього шару можливо взяти паркет). Варіюється, змінюючись лише товщина накопичувального шару.

Такі дослідження дають можливість розробки оптимальних режимів і параметрів системи ЕТА-опалення, за яких досягається відповідність необхідним критеріям і умовам. Це забезпечує ефективну роботу системи та

комфортні умови у місці.

Крок і глибина прокладання нагрівальних кабелів є складовими конструктивними параметрами системи електричного теплоаккумуляторного опалення.

Крок закладання роботи на функціональність та економічність системи:

При малому кроці - високі капітальні витрати.

При занадто великому - знижується якісні, наприклад часові, показники обігріву.

Для визначення оптимального кроку при проведенні різної товщини накопичувального шару було проведено розрахунки для кроків 100, 200, 300, 400, 500 мм, при цьому значенні товщину акумуляційного шару було взято - 40 мм; 70 мм; 100 мм.

Такі дослідження дозволяють встановити залежність теплового режиму підлоги від конструктивних параметрів і підібрати оптимальні їх з'єднання для конкретної системи ЕТА-опалення.

Результати розрахунків, рисунки 3.1 і 3.2, впливу кроку укладання нагрівальних кабелів на тепловий режим ЕТА-підлоги:

були побудовані графіки незалежно від перепаду температури і температурного градієнта від кроку укладання кабелів.

Перепад температура - це різниця температури між центром міжкабельного приміщення і поверхнею підлоги.

Градiєнт показує інтенсивність зміни температури по товщині підлоги.

Аналіз цих показників дозволяє оцінити вплив кроку на тепловий режим і обрати оптимальні значення.

Таке дослідження є важливою складовою проектування ефективних систем ЕТА-опалення.

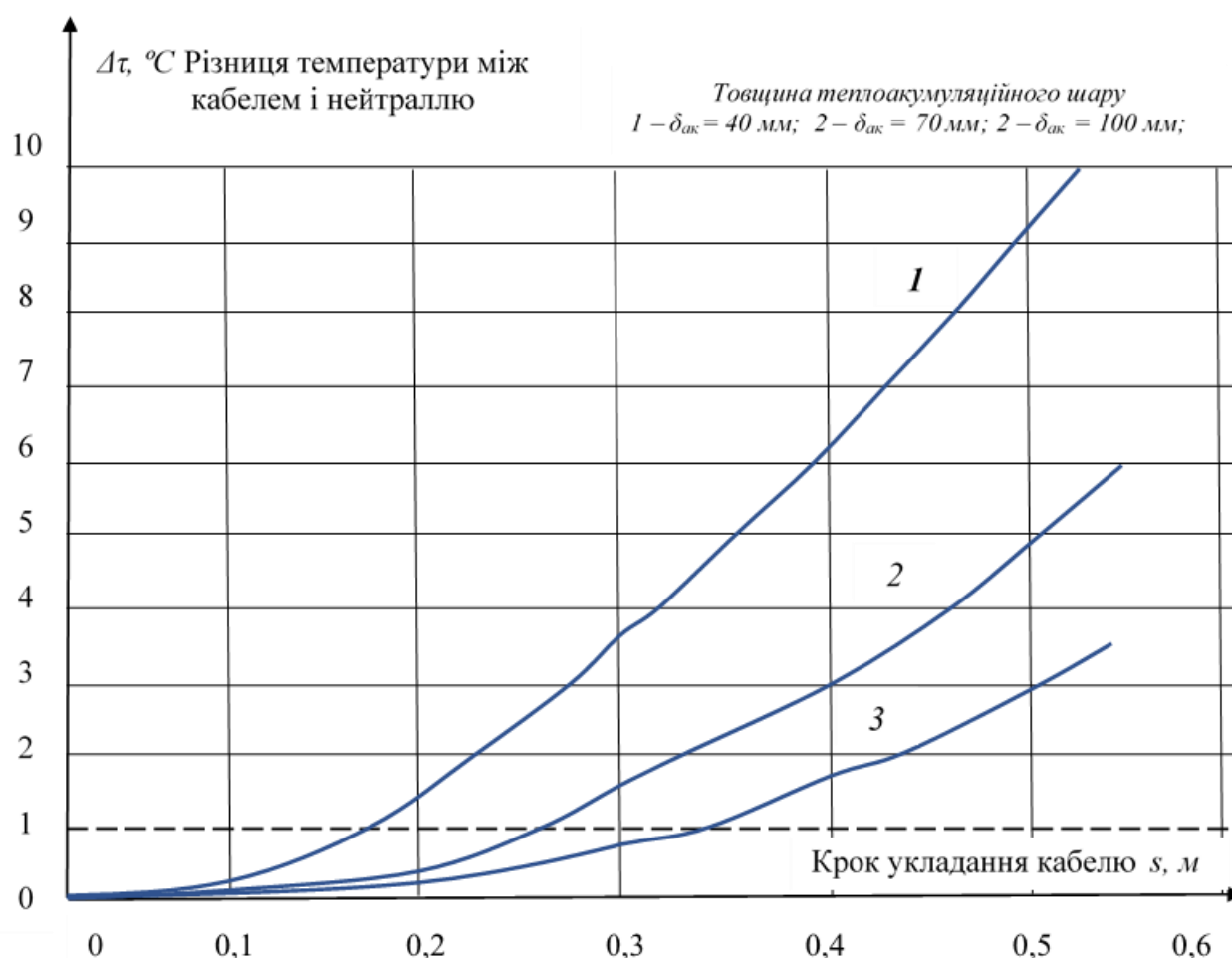


Рисунок 3.1 Графік залежності температури кабелів від товщини акумуляційного шару і кроку їх укладання

Теоретичні дослідження та практичні експерименти, відображені у джерелах [2,11], вказують на те, що для визначення оптимальних умов застосування системи кабельного опалення підлоги, особливо в умовах суворої зими, ключовим є параметр збиткової температури підлоги під час активного використання приміщення. Цей параметр, позначений як $P_{гг}$, важливий для оцінки міри перегріву приміщення, спричиненого температурою підлоги, яка перевищує припустиму межу у 28°C . Такий підхід дозволяє точніше визначати ефективність та безпечність використання підлогового обігріву, забезпечуючи комфорт та енергоефективність.

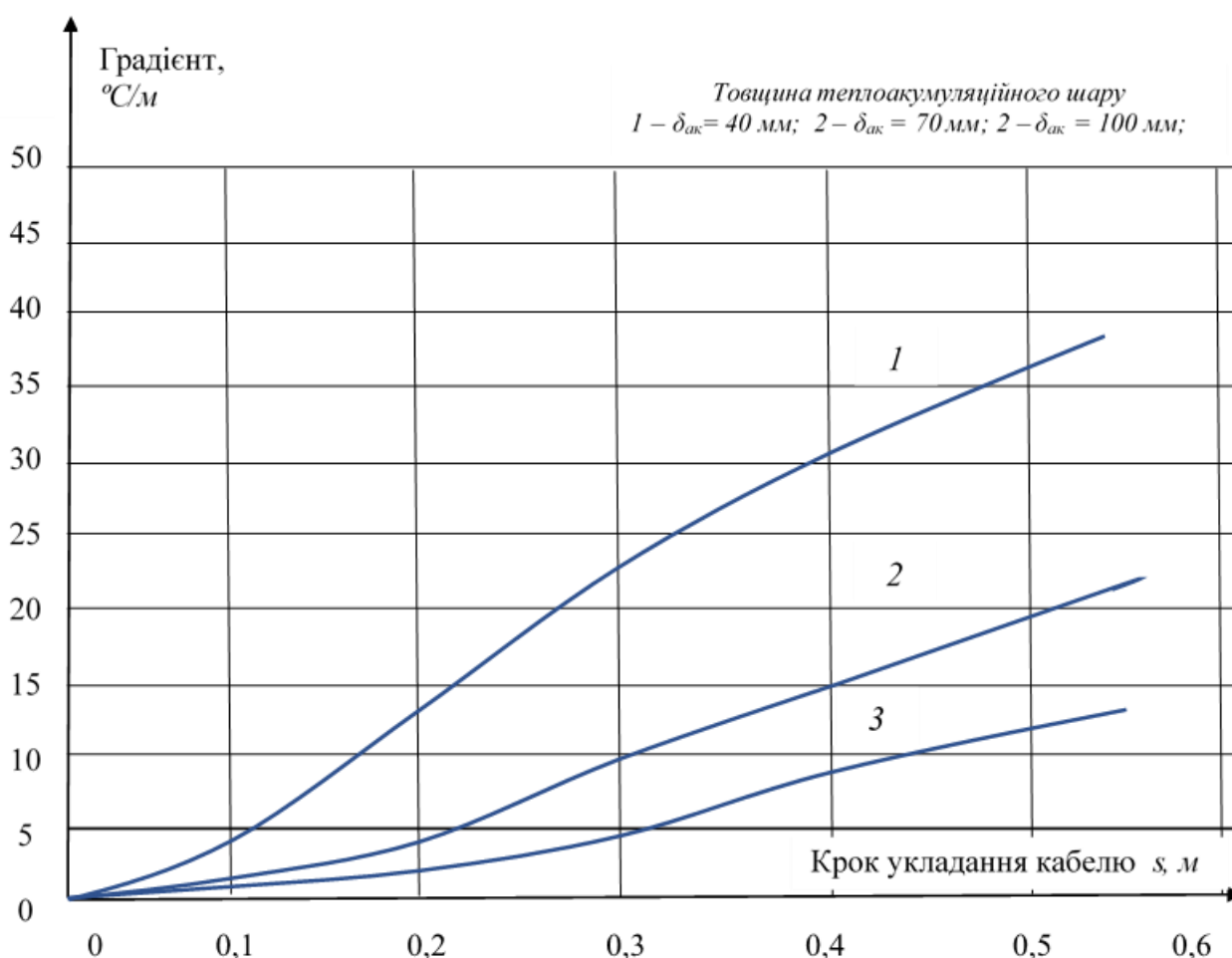


Рисунок 3.2 Графіки залежності градієнта температури від товщини акумуляційного шару та кроку укладання кабелю

Цей параметр, представлений в дослідженні, має фізичний зміст, який ілюструється за допомогою площі, яку можна вважати вище температурної лінії 28°C після 7:00 годин. Ця площа формується між двома ключовими лініями: зверху вона обмежена кривою, яка показує збиткову температуру, а знизу – прямою лінією, що відображає нормативне середнє значення температури поверхні підлоги, яке становить 28°C .

Фізичне значення цієї площі полягає у відображенні різниці між фактичною температурою підлоги та її оптимальним значенням. Величина цієї площі може бути приблизно дорівнює площі прямокутного трикутника, який формується цими двома лініями, рисунок 3.3.

Цей підхід дозволяє наочно оцінити та кількісно визначити ступінь

перегріву або неефективності системи підлогового опалення, що є важливим для забезпечення комфорту, енергоефективності та безпеки приміщення.

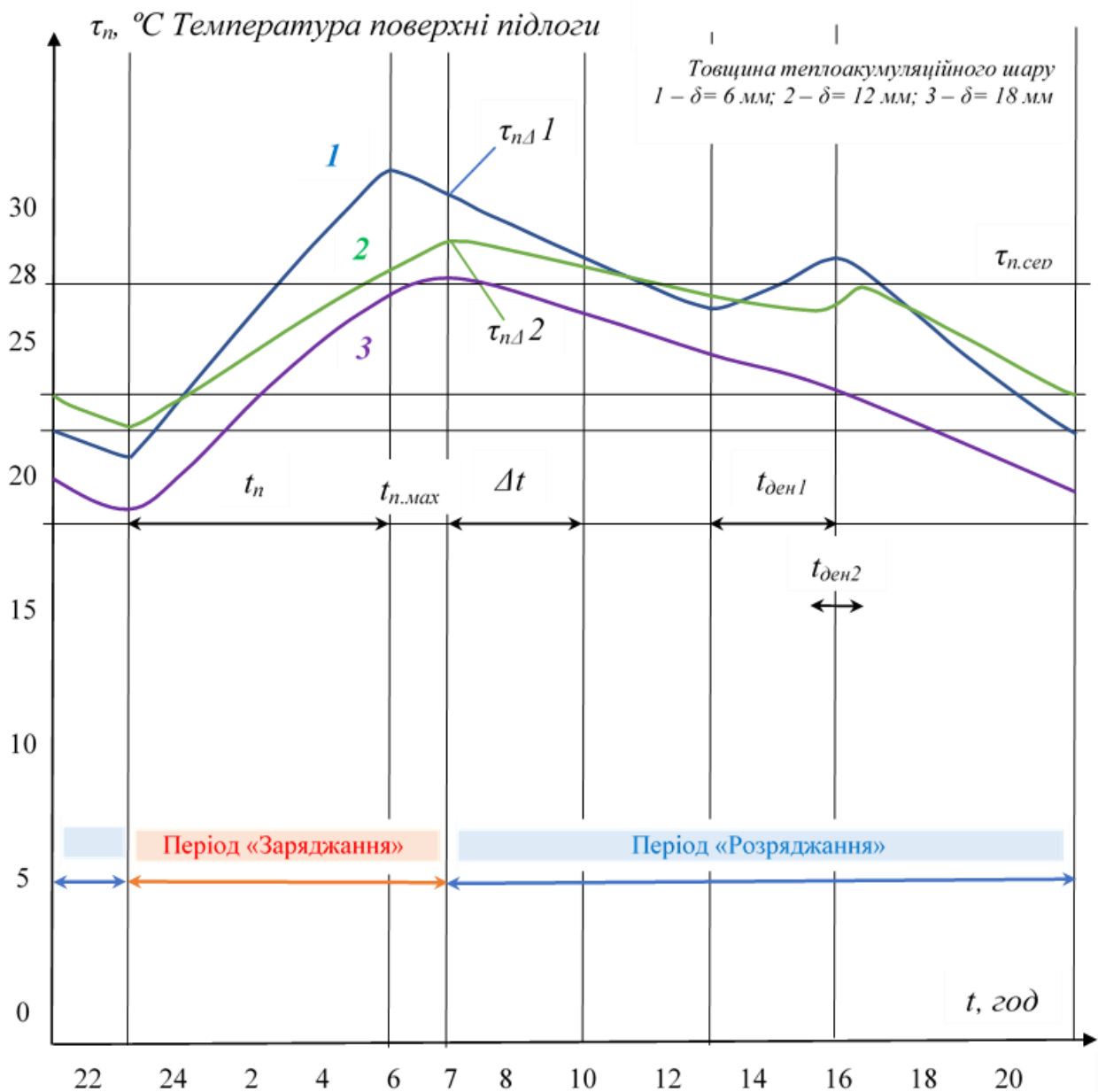


Рисунок 3.3 - Температурний розподіл поверхні підлоги та наднормової її температури.

В нестационарних випадках всі п'ять критеріїв є актуальними. Однак у стаціонарних задачах виключається п'ятий критерій.

Як вже було відзначено, аксіоматичною умовою для практичного використання електрокабельного опалення є відповідність теплової потужності

опалювального пристрою, який здатний забезпечити тепловий комфорт приміщення. Ця потужність системи визначається балансом між тепловими витратами і встановленою потужністю опалювального пристрою.

Для розрахунку параметрів технології електричного опалення та встановлення доцільно використовувати комбінацію спрощених та повномасштабних методів математичного моделювання теплових процесів.

Дійсно, складну задачу часто можна розбити на простіші підзадачі, які мають практичне значення. Їх розв'язки у вигляді простих формул можуть бути отримані спрощеними методами.

Ці розв'язки дають якісні та кількісні оцінки, корисні на практиці. А для більш точних розрахунків потрібно виконати повні математичні моделі процесів теплообміну.

Комбінування спрощених і детальних методик дає можливість ефективно розрахувати параметри системи електроопалення та оптимізувати їх роботу.

3.4 Управління кабельною системою опалення

На базі існуючих систем можна запропонувати відому схему управління теплоаккумуляційною електрокабельною системою опалення на базі погодного теплорегулятора:

Погодні теплорегулятори дозволити ефективно і гнучко керувати системами накопичення тепла, автоматично вмикати їх у період дії пільгового тарифу. Вони складаються з головного блоку та допоміжних. Головний блок керує роботою у всій системі.

Погодний теплорегулятор аналізує температуру зовнішнього повітря та кількість накопиченого тепла в теплоаккумуляційному шарі підлозі. На цій основі дає команду на опалення тільки тоді, коли потрібно, і використовує мінімальну кількість електроенергії. Така схема дозволяє значно заощадити на опаленні, особливо за умов використання пільгових нічних тарифів на електроенергію. Погодний теплорегулятор є ефективним рішенням для автоматизації та

оптимізації роботи системи електрокабельного опалення з накопичувальним теплом.

Головний блок має два датчики температури - один для контролю температури зовнішнього повітря, другий - для контролю температури підлоги у кімнаті. На основі даних про зовнішню температуру погодостат розраховує її середнє значення за останній рік та добу. Також він може вносити поправки на різкі зміни погоди, типи для весни і осені. Це дозволяє точніше спрогнозувати температуру на добу вперед. Використовуючи ці дані і поправки, погодостат може оптимальним чином керувати роботою системи опалення - увімкнути її завчасно, щоб до початку опалювального комфортного періоду підлога нагрілася до температури. Така система дозволяє раціонально витратити електроенергію та підтримувати оптимальний тепловий комфорт.

Другий датчик головного блоку вимірює залишкове тепло в підлозі тестового приміщення. Це дозволяє розрахувати необхідну тривалість "зарядки" (нагріву підлоги) у період пільгового тарифу.

Головний блок аналізує дані про зовнішню температуру і залишкове тепло в підлозі, проводить статистичні розрахунки і видає керуючий сигнал допоміжним блокам.

Допоміжні блоки, встановлені в кожній частині, вони безперервно вимірюють температуру підлоги і на основі сигналу головного блоку забезпечують необхідний рівень «зарядки». Також вони можуть обмежувати максимальну температуру підлоги у приміщенні.

Така взаємодія головного і допоміжних блоків дозволяє оптимально керувати процесом накопичення тепла в кожному окремому місці.

Погодний теплорегулятор дійсно працює за принципом "нечіткої логіки" або нечіткої логіки: це дозволяє використовувати прості рішення на основі нечітких вхідних даних (наприклад, коливання температури).

На відміну від чітких алгоритмів, нечітка логіка базується на "інтуїції" та "самонавчанні" системи. Завдяки цьому погодний теплорегулятор може автоматично вийти під конкретні умови і не потребує постійного втручання

людини. Тобто нечітка логіка робить роботу погодного теплорегулятора гнучкішою і "розумнішою" за рахунок машинного навчання на реальних даних. Це дозволяє оптимізувати процес акумуляції тепла в електрокабельній системі опалення з теплоакумуляцією та досягти максимальної енергоефективності.

Алгоритм роботи погодного теплорегулятора представлено на рисунку 3.4.

Залежно від умов експлуатації та використання погодного теплорегулятора виконує наступні функції.

1. Постійно працює в діапазоні пільгового періоду.

Після підключення погодного теплорегулятора необхідно зібрати дані про температуру повітря і періоди дії пільгового тарифу (протягом 24 годин). Через добу він починає "зарядку" підлоги і вимірювання температури в її конструкції. На основі зібраних даних погодного теплорегулятора "навчається" і вибирає оптимальний час "зарядки" підлоги. Якщо пільговий тариф щодня в один і той же час, погоджується проводити «зарядку» в останні роки цього періоду («затягування зарядки»). Таким чином досягається максимальна економія електроенергії за рахунок дії її споживання тільки в час пільгового тарифу. Процеси "зарядки" і "розрядки" регулюються в часі залежно від температури повітря. Тому в режимі фіксованого пільгового тарифу погодний теплорегулятор працює максимально ефективно і економно, рисунки 3.5 і 3.6.

2. Змінні годинні діапазони пільгового тарифу.

Так, у випадках змінених періодів пільгового тарифу погодний теплорегулятор працює трохи інакше: якщо пільгові тарифи з'являються в різний час отримання і мають різну тривалість, погодний теплорегулятор адаптується. Він починає "зарядку" відразу з початку пільгового періоду, незалежно від того, коли саме він настав. «Зарядка» триває впродовж всього пільгового часу, а не тільки в кінці, як для фіксованого графіка. Таким чином використовується весь доступний пільговий період, що також дозволяє економити на опаленні. Якщо тариф не змінюється протягом доби, погодний теплорегулятор просто підтримує комфортну температуру. Отже, завдяки «інтелектуальним» алгоритмам погодостат ефективно працює за будь-якого графіка пільгових тарифів.

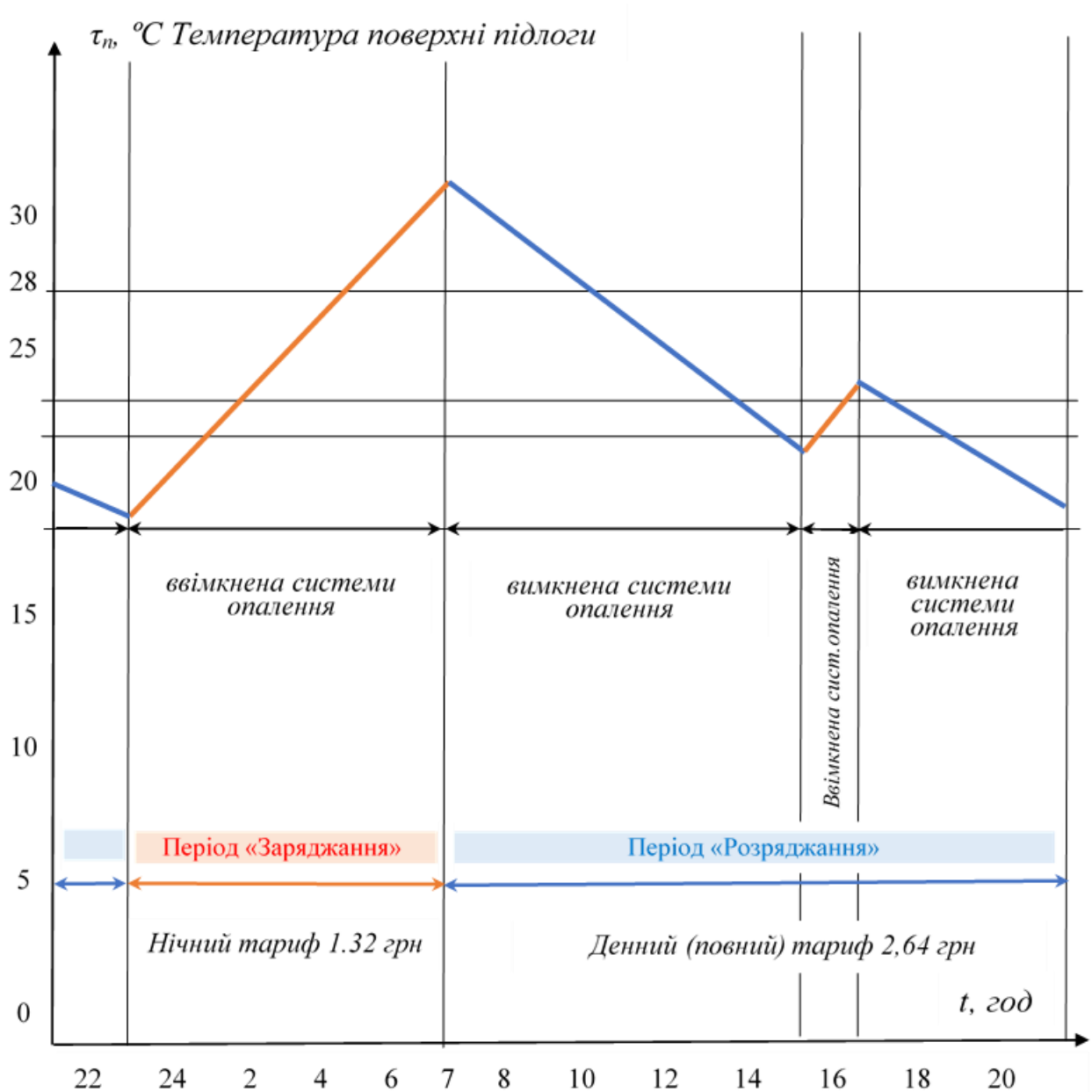


Рисунок 3.4 - Алгоритм роботи погодного теплорегулятора представлено

3. Безперервне регулювання.

Використовується, коли пільгові періоди щодня різні. Нагрів вмикається відразу з початком пільгового тарифу. Весь пільговий період температура підлоги регулюється безперервно. Регулювання відбувається залежно від зовнішньої температури і кількості накопиченого в підлозі тепла. Тобто погодостат постійно аналізує ці дані і коригує температуру підлоги, підтримувати оптимальний рівень тепла. Така безперервна адаптація дозволяє максимально ефективно використовувати кожен пільговий період, навіть якщо

він щодня змінюється. Отже, це ще один "інтелектуальний" режим роботи погодостата для економії енергії.

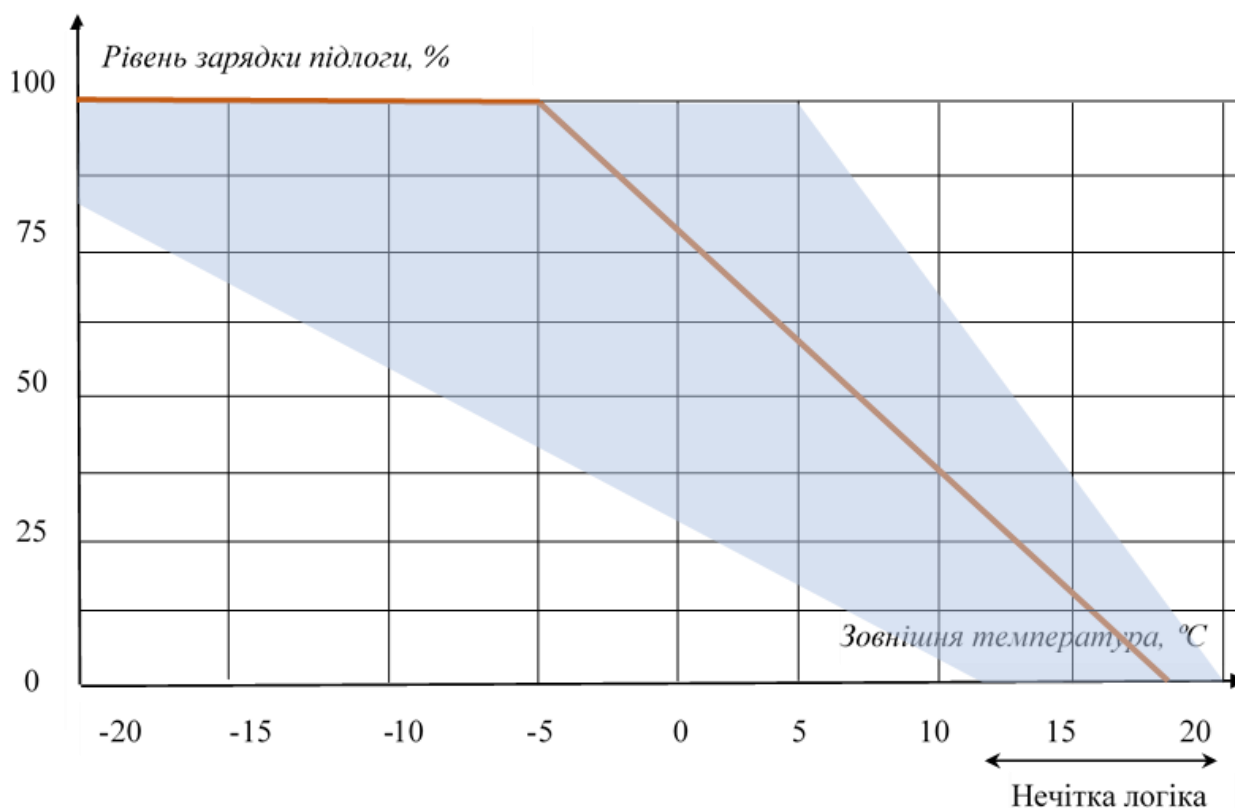


Рисунок 3.5 – Графік роботи системи у періоди заряджання та розряджання в залежності від зовнішньої температури.

Призначення режиму повернення у вихідне положення. Ця функція використовується для синхронізації вбудованого таймера погоди. Спочатку 11 годин "нічного" режиму, потім 11 годин "денного". 2 роки залишаються на очікування початку пільгового тарифу. Це дозволяє синхронізувати таймер з реальним графіком пільгових періодів. Налаштування погодостатичного впливу впливають на кут нахилу кривої «зарядки»: Чим нижча задана температура, тим пологіший нахил кривої. Тобто, регулюючи налаштування, можна змінити характер нагріву підлоги. Це додаткові можливості оптимізації роботи системи обігріву.

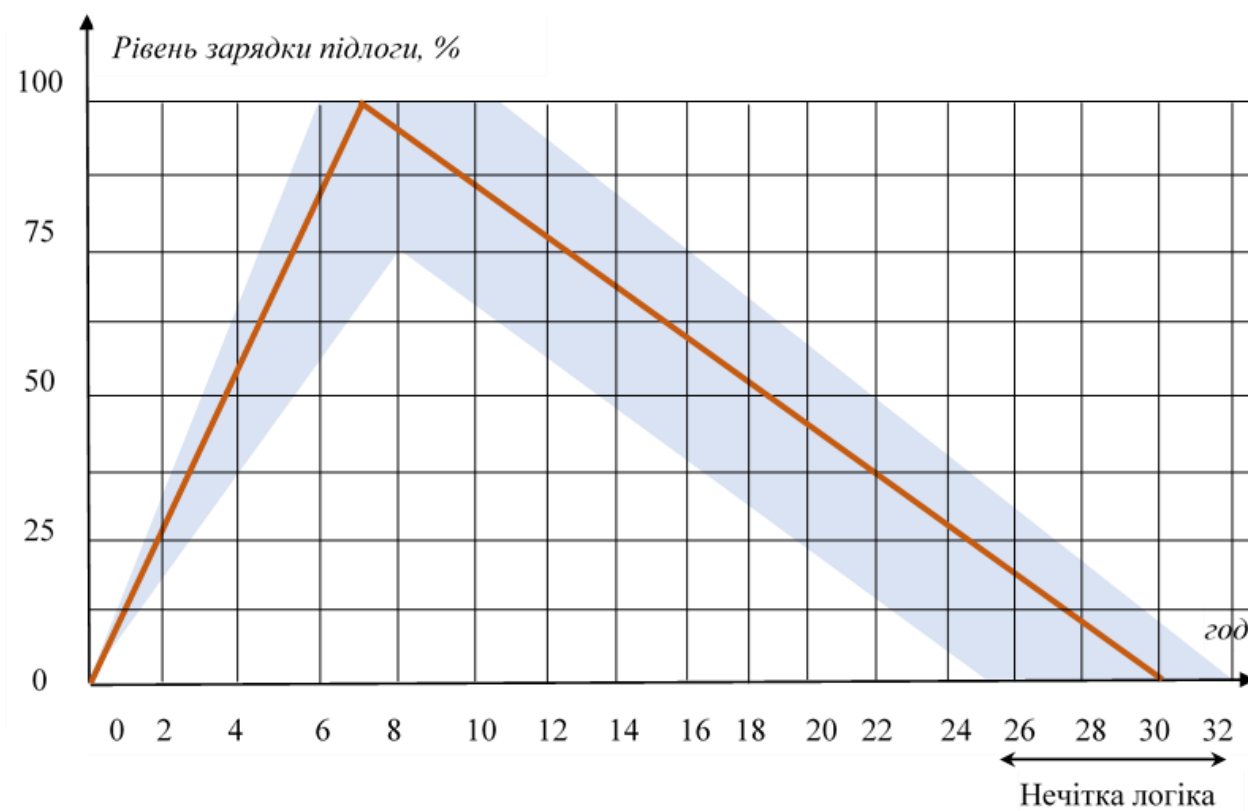


Рисунок 3.6 – Графік роботи системи у періоди заряджання та розряджання в залежності від періода доби.

Тому можна сказати, що системи управління, на базі погодного теплорегулятора: забезпечує максимальну економічність - споживає лише необхідну кількість тепла; підтримувати комфортну температуру, враховуючи погодні умови; знижує споживання електроенергії за рахунок "затягування" режиму "зарядки"; працює автоматично за принципом нечіткої логіки без ручного втручання; може використовуватися для управління наявними системами теплоаккумуляції.

Погодний теплорегулятор оптимізує роботу ЕКСО з теплоаккумуляцією - робить її економічнішою та ефективнішою. Це сучасне і зручне рішення для автоматизації опалення.

3.5 Розрахунок енергетичної ефективності електробігрівання для споживачів електричної енергії

Впровадження енергоефективних систем електроопалення є одним зі шляхів зменшення споживання газу в комунальній теплоенергетиці. Найбільш ефективною вважається технологія акумуляційного електроопалення, що базується на використанні ресурсу нічного провалу графіка навантаження енергосистеми. Загальний потенціал акумуляційного електроопалення в Україні оцінюється в 1000-5000 МВт. Таким чином, впровадження акумуляційного електроопалення дозволить зменшити споживання газу в комунальній енергетиці завдяки використанню нічного провалу навантаження енергосистеми.

Суть акумуляційного електроопалення полягає у наступному: електроенергія споживається переважно в нічний час (23:00-07:00) - інтервал провалу навантаження енергосистеми та дії пільгових тарифів. Вона перетворюється на тепло в кількості, необхідній для добового споживання. Це тепло акумулюється в різних накопичувачах. Потім упродовж дня накопичене тепло рівномірно віддається в приміщення. Отже, акумуляційне електроопалення дозволяє використовувати дешеву нічну електроенергію для виробництва та акумулювання тепла на добу, рівномірно віддаючи його вдень.

Для визначення енергетичної ефективності систем електротеплоакумуляційного (ЕТА) опалення за цією Методикою [2] використовують графіки добового навантаження (ДГН) відповідної енергосистеми. Беруть характерний зимовий день близький за часом до року запланованого масштабного впровадження технології ЕТА. Враховують також ДГН інших днів тижня, сезонні графіки навантаження.

Вважається, що дані сучасних ДГН різних рівнів та періодів свідчать про тенденції щодо поступового освоєння потенціалу нічного максимуму навантаження енергосистеми, які фіксувались до початку широкомасштабного застосування. Цей підхід дозволяє оцінити перспективну ефективність технологій ЕТА на етапі їх масового запровадження в майбутньому.

Додатково варто зазначити, що на ефективність ЕТА-систем впливатиме також і прогнозоване зростання частки "зеленої" генерації в загальному балансі джерел енергопостачання.

За даними національної комісії державного регулювання у сферах енергетики визначають, наприклад для 2023 року інтервали тарифів диференційовані за періодами часу доби. Ставки тарифів на електричну енергію, відповідно до постанови НКРЕКП України та прийнятими тарифами для побутових споживачів на 04-12.2023 року за даними ТОВ "Кіровоградська обласна ЕК" Фіксована ціна на електричну енергію за 1 кВт·год становить 2,64грн.

При наявності у побутового споживача обліку електричної енергії за двозонним диференціюванням періодами часу: 0,5 фіксованої ціни в години (з 23:00 до 7:00 год.) нічного мінімального навантаження енергосистеми та повна фіксована ціна (з 7:00 до 23:00 години);

За одержаними даними пільговий тариф діє в інтервалі від 23:00 до 07:00. Дані для кожного року уточнюють у НКРЕ.

За даними ТОВ "Кіровоградська обласна ЕК" заповнюють таблицю добового графіка навантаження енергосистеми в зимовий режимний день цього року. Усі дані заносять також до колонок 1, 2 (таблиця 3.1), починаючи з першої години дії диференційованого тарифу за періодами часу з 23:00 години.

Ймовірнісні дані таблиці подають у вигляді графіка (рисунок 3.7).

Визначають характерні величини добового графіка навантаження:

$$W_{\text{заг}} = 4388 \text{ МВт.год};$$

$$P_{\text{макс}} = 223 \text{ МВт};$$

$$P_{\text{мін}} = 139 \text{ МВт};$$

$$P_{\text{сер}} = 182,8 \text{ МВт}.$$

$P_{23:00} = 179 \text{ МВт}$ - потужність енергосистеми ПрАТ «Кіровоградобленерго» на початку дії добового графіка навантаження (23:00).

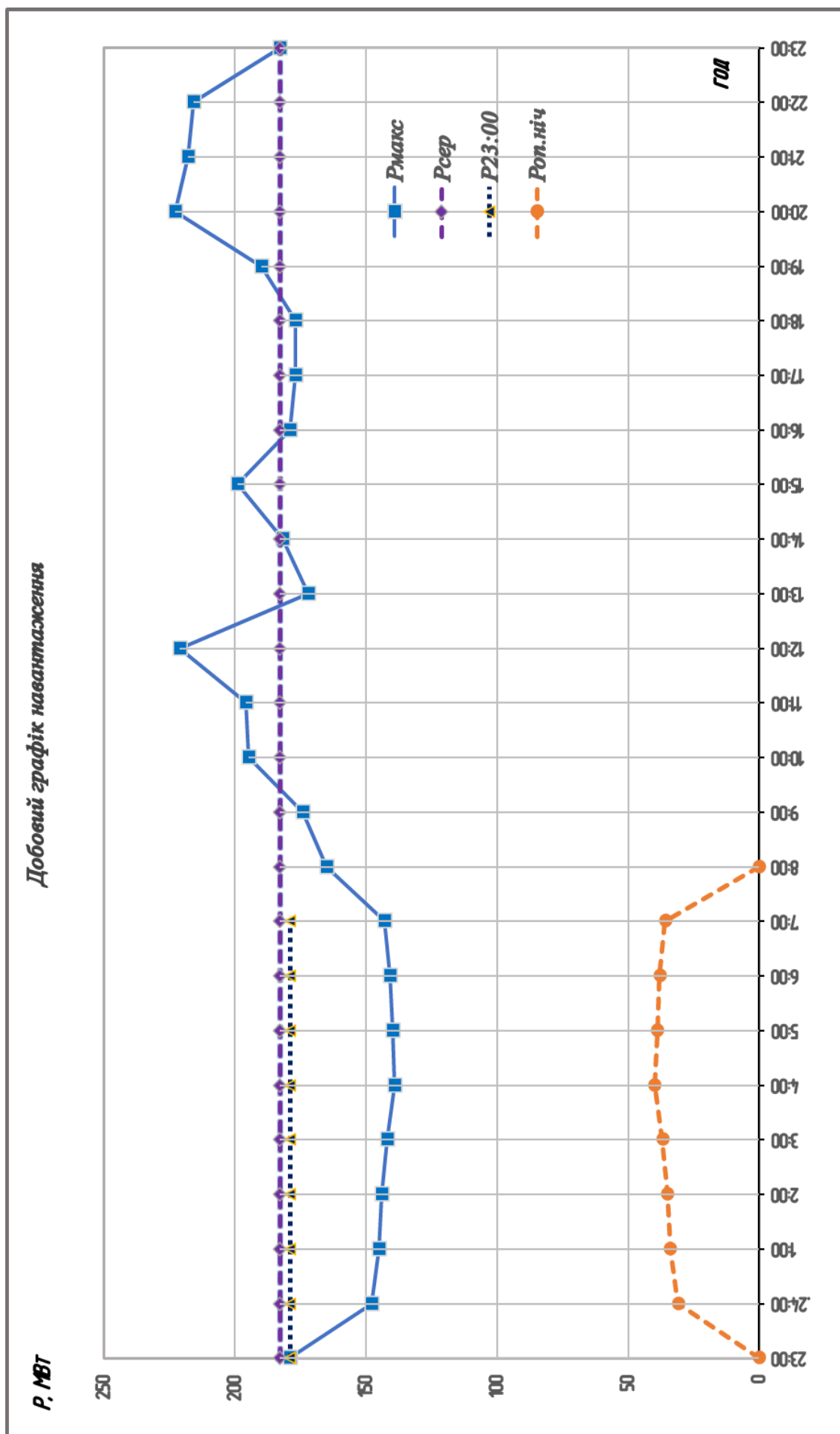


Рисунок 3.7 - Добовий графік навантаження в режимний на прикладі ймовірнісного дня листопада.

Визначають коефіцієнти заповнювання і коефіцієнти нерівномірності добового графіка навантаження без використання теплоаккумуляційного електроопалювання:

$$k_{\text{зан}} = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{182,8}{223} = 0,820;$$

$$k_{\text{нер}} = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{132}{223} = 0,623.$$

$$\text{де } P_{\text{сер}} = 4388 / 24 = 182,8 \text{ кВт.}$$

Визначають погодинний розподіл потужності, яку можна використати для електричного теплоаккумуляційного опалювання впродовж інтервалу нічного добового максимуму графіка навантаження:

$$\Delta P = P_t - P_{23:00}; t \in [23:00; 7:00]$$

Дані заносять до колонки 3 (таблиця 3.1) як додаткове навантаження добового графіка і наводять на рисунку 3.7.

Заповнюють колонку 4 як нове навантаження енергосистеми в разі повного завантаження нічної зони періоду доби.

Визначають $k_{\text{зан}}^{\text{уц}}$, $k_{\text{нер}}^{\text{уц}}$, завантаженої нічної зони:

$$k_{\text{зан}}^{\text{уц}} = \frac{194,9}{290} = 0,672;$$

$$k_{\text{нер}}^{\text{уц}} = \frac{179}{290} = 0,703,$$

$$\text{де } P_{\text{сер}} = (4388 + 290) / 24 = 194,9 \text{ кВт.}$$

Потім визначають оціночний приріст обсягу електроенергії відпущеної протягом року за допомогою впровадження електричного теплоакumuляційного опалювання, зумовленого ущільненням добового графіка навантаження та завантаженням нічної зони періоду доби:

$$\Delta_{зан} = \frac{k_{зан}}{k_{зан}^{ущ}} = \frac{0,82}{0,672} = 1,22 > 1.$$

$$\Delta_{нер} = \frac{k_{нер}^{ущ}}{k_{нер}} = \frac{0,623}{0,617} = 1,02 > 1.$$

Оскільки $\Delta_{нер} > 1$, то спостерігається певний приріст обсягу відпущеної електроенергії протягом року завдяки впровадженню електричного теплоакumuляційного опалювання.

Наведені кількісні показники приросту свідчать про підвищення енергоефективності добового графіка навантаження із-за впровадження електричного теплоакumuляційного опалювання приміщень у %, як відношення абсолютного показників добового графіка навантаження до їх напівсуми:

$$\Delta_{нер} = 200 \frac{k_{нер}^{ущ} - k_{нер}}{k_{нер}^{ущ} + k_{нер}} = 1,01 \%;$$

$$\Delta_{зан} = 200 \frac{k_{зан}^{ущ} - k_{зан}}{k_{зан}^{ущ} + k_{зан}} = 19,8 \%.$$

Таблиця 3.1 - Добовий графік навантаження по ПрАТ Кіровоградобленерго

Години	$P_{\text{макс}}, \text{МВт}$	$\Delta P = P_t - P_{23:00}, \text{МВт}$ $P_{23:00}, \text{МВт}$	$P_{\text{сер}}, \text{МВт}$
1	2	3	4
23:00	179	0	179
24:00	148	31	179
1:00	145	34	179
2:00	144	35	179
3:00	142	37	179
4:00	139	40	179
5:00	140	39	179
6:00	141	38	179
7:00	143	36	179
8:00	165	0	165
9:00	174		174
10:00	195		195
11:00	196		196
12:00	221		221
13:00	172		172
14:00	182		182
15:00	199		199
16:00	179		179
17:00	177		177
18:00	177		177
19:00	190		190
20:00	223		223
21:00	218		118
22:00	216		216
23:00	183		183
$W_{\text{заг}}, \text{МВт} \cdot \text{год}$	4 388	290	4 578

3.6 Висновки до розділу 3

За допомогою спрощеного теплофізичного підходу до ЕТА-обігріву визначено ключові параметри, що впливають на динаміку процесу опалення з урахуванням теплоакumuляції. Отримано загальне уявлення про динаміку процесів нагрівання та охолодження. Детальні та точні розрахунки можливі чисельними методами з урахуванням теплофізичних властивостей, граничних умов та геометрії приміщень, монтажу кабелю.

Аналіз показує, що нормовані критерії досягаються за товщини бетонного шару 0,1 м, яка близька до глибини різких коливань температури. Подальше загасання хвилі відбувається повільно. Максимальна температура асимптотично наближається до $+28^{\circ}\text{C}$. Отже, потовщенням шару не отримати нормованої температури. Додаткові опалювальні прилади компенсують нестачу тепла.

Моделювання включає розв'язання задач нестационарного теплообміну в системі "кабель- підлога- повітря- приміщення- огороження- навколишнє середовище" за різних початкових та граничних умов і значень параметрів (тепловиділення, глибина і крок кабелю, товщина шарів, геометрія, кліматичні характеристики тощо).

Позитивним висновком є те, що навіть у найхолодніший день можливо забезпечити задані параметри мікроклімату за допомогою електротеплоакumuляційного кабельного обігріву, використовуючи електроенергію лише вночі під час мінімального навантаження в Україні.

При розрахунках ЕТА-обігріву аналізували вплив різних параметрів на теплостійкість приміщення, зокрема теплоізоляції стін та теплоакumuляції конструкцій. Встановлено, що проектуючи внутрішні перегородки, слід забезпечити максимальні їх теплоакumuляційні властивості за показниками теплоінерції та теплопоглинання.

Отже, в кліматі України електротеплоакumuляційне опалення є реальною альтернативою центральному опаленню.

Розділ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Тепловий комфорт у приміщеннях з електроопаленням

Електротеплоаккумуляційний обігрів у своєму панельно-променевому виконанні не лише зменшує тепловтрати з вентиляційним повітрям та знижує комфортну температуру повітря на об'єкті, але й покращує фізіологічну якість обігріву. За такого обігріву дотримуються вимоги теплового комфорту, відповідно встановлених норм, для різних вікових груп населення. Реалізуються класичні принципи забезпечення вимог якості повітря: у зоні дихання повітря має бути відносно прохолодним, а біля ніг теплим (рис. 4.1) [22].

Опалювальний прилад повинен компенсувати тепловтрати у приміщенні для створення комфортного мікроклімату, проте без перевитрати тепла. Показником ефективності роботи опалювальної системи є опалювальний ефект, що становить відношення кількості витраченого витрачено теплової енергії приладом тепла для створення заданих теплових умов до визначених теплових втрат заданого приміщення.

Важливою санітарно-гігієнічною вимогою є підтримання рівномірної температури повітря у приміщеннях, що можливо за великих поверхонь нагрівання. Інша вимога – регуляторне обмеження температури поверхні приладів - пов'язана із запобіганням виділення шкідливих речовин внаслідок розкладання органічного пилу.

Дослідження показують, що за електрокабельного обігріву температура підлоги значно залежить від встановленої температури та відрізняється від неї приблизно на 3°C. Температура повітря пов'язана також з температурою стін у приміщенні, яка формується завдяки теплообміну від гріючої підлоги з урахуванням зовнішньої температури.

Відзначається інтенсивність випромінювання від нагрітої підлоги, що при температурі вище 28-29°C може досягати 60 Вт/м² та впливає на тепловідчуття.

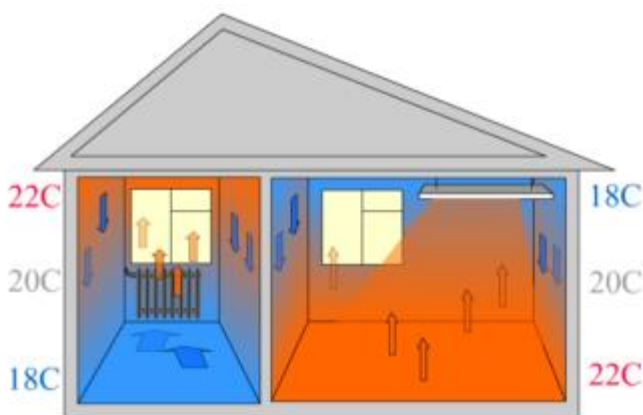


Рисунок 4.1 - Системи обігріву: а - традиційна, б - гріюча підлога.

а - потоки конвекції з нерівномірним розподілом температури повітря у приміщенні; б - оптимальний розподіл температури повітря у приміщенні.

Дослідження в офісних приміщеннях з електрокабельним опаленням показали можливості формування оптимального мікроклімату взимку. Основним фактором є встановлена температура. Вночі в підлозі накопичується тепло, яке вдень забезпечує теплові умови без додаткового підігріву. Найсприятливіший тепловий стан спостерігався при встановленій температурі 20-23°C.

4.2 Електробезпека у приміщеннях з електрокабельною системою опалення

Основним елементом типової системи електротеплоаккумуляційного опалення є розміщений у будівельних конструкціях нагрівальний кабель з напругою 220 В та частотою 50 Гц. Засоби захисту від ураження електричним струмом базуються на вимогах Міжнародної електротехнічної комісії до електроустановок будівель.

Поширеним засобом захисту від можливого непрямого контакту є автоматичне відключення живлення за допомогою пристрою захисного відключення з вбудованим захистом від надструму. Він керується диференціальним струмом та з'єднує обидва кінці металевої оболонки нагрівального елемента з нульовим захисним або заземлюючим провідником.

В контексті захисту від непрямого контакту в електричному опаленні застосовується автоматичне відключення електромережі. Цей засіб захисту переважно реалізується шляхом приєднання обох кінців металевої оболонки електронагрівального елемента до нульового захисного провідника (в мережах TN-S або TN-C-S) або до заземлювального провідника (в мережах TT). На рисунку 4.2 представлені схеми підключення електричного опалення до живильної мережі з використанням пристрою захисного відключення (ПЗВ) [23].

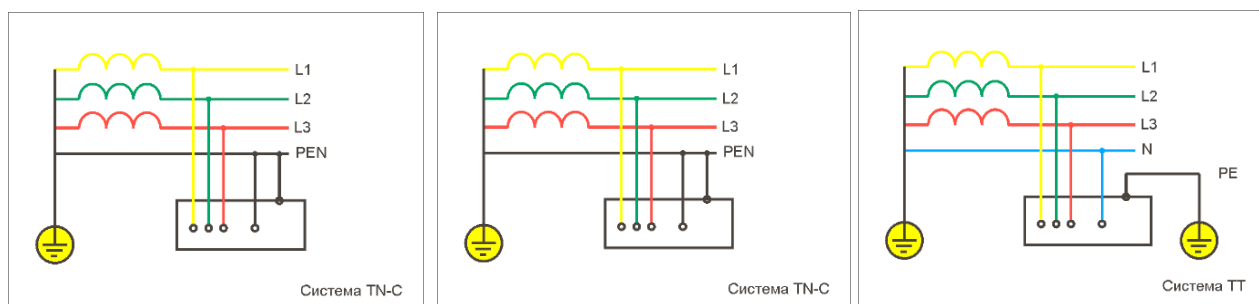


Рисунок 4.2 - Схеми підключення до електромережі електроопалювальних приладів: а - схема роздільної роботи нульових (нульового) робочого та захисного провідників у електричних мережах (тип TN-S заземлення); б - схема з об'єднанням функцій нульового робочого та захисного провідників у частині електромережі (схема з об'єднаним нульовим провідником, тип TN-C-S заземлення); в - схема без захисного провідника, нульовий провідник і захисний провідник комбінується в один провідник (тип TT заземлення).

Мережа TN-S дорожча, але ефективніша з точки зору електробезпеки, ніж TN-C-S. У мережі TN-C-S через нерівномірність навантаження на металевій оболонці завжди є певна напруга відносно землі. При обриві PEN-провідника ця напруга може сягати рівня фазної, що небезпечно для нагрівачів без надійної ізоляції. Мережа TN-S не має таких недоліків. Не варто використовувати систему TN-C, оскільки в ній проявляються недоліки TN-C-S, а також неможливо застосувати як засіб захисту пристрої захисного відключення з диференціальним реле. Отже, для електротеплоаккумуляційних систем опалення найкраща система заземлення TN-S з використанням пристроїв захисного відключення.

4.3. Електромагнітна та пожежна безпека у приміщеннях з електрокабельною системою опалення

Електрокабельні системи опалення за рівнем електробезпеки можна порівняти з прихованою електропроводкою в будівлях. Існують роботи про вплив електромагнітних полів побутових приладів. Дійсно, такі поля можуть впливати на біологічні об'єкти, проте ефекти різняться залежно від частотного діапазону. Щодо впливу низькочастотних (50 Гц) електромагнітних полів з рівнями, типовими для побутових приладів, то на сьогодні не доведено їх впливу на організм людини. Також відсутні дані про віддалені наслідки такого впливу. Отже, станом на зараз немає переконливих даних щодо шкідливого впливу на людину електромагнітних полів від електрокабельних систем опалення та інших побутових приладів [24].

Магнітне поле залежить від сили струму в кабелі (від його потужності) та відстані до точки вимірювання. Розглянемо одножильний кабель потужністю 2 кВт (струм до 10А) для кімнати площею 15-20 м². Індукція магнітного поля на відстані: 50 см - 2 мкТл; 30 см - 6,7 мкТл; 10 см - 20 мкТл. Для порівняння: магнітне поле Землі становить близько 50 мкТл. Магнітне поле від одножильного нагрівального кабелю є порівняним за величиною з магнітним полем Землі і швидко зменшується зі збільшенням відстані.

Деякі країни прийняли жорсткі норми на магнітне поле промислової частоти для приміщень тривалого перебування людей, це 0,2 мкТл на 50 см. Двожильний нагрівальний кабель через взаємну компенсацію струмів легко вписується в такі норми. Індукція його магнітного поля на відстані: 50 см - 0,008 мкТл; 30 см - 0,04 мкТл; 10 см - 0,4 мкТл. Отже, як двожильний, так і одножильний кабелі практично не змінюють природне магнітне поле Землі у приміщенні. Таким чином, магнітні поля від нагрівальних кабелів є незначними і не становлять загрози для людини.

Дослідження демонструють, що екранування кабелю послаблює його електричне поле, проте не впливає на магнітне. Величина полів залежить від

конструкції кабелю (одножильний чи багатожильний, екранований чи ні), сили струму, який ним проходить, а також способу прокладання в секції. Кабелі одного класу різних виробників майже не відрізняються за рівнями полів, а саме рівні електричних та магнітних полів перебувають нижче допустимих норм. Коефіцієнт запасу щодо норми для магнітних полів становить 10-300 разів.

Додатково варто зазначити, що дослідження проводилися відповідно до міжнародних стандартів якості та безпеки. Також було перевірено вплив кабелів на навколишнє середовище та електромагнітну сумісність з іншим обладнанням. Результати свідчать, що кабелі є екологічно безпечними та не створюють завад для роботи електроніки. Отже, споживачі можуть бути впевнені в безпеці та надійності кабельної продукції провідних виробників.

Вимоги протипожежної безпеки для опалення електричних кабельних систем є безпечними для збереження, матеріали їх виготовлення, за своєю природою є негорючими та вогнестійкими. Проте, як і в будь-якому випадку, варто керуватися нормами ДБН В.1.1-7, ДБН В.2.5-24-2003, НАПБ А.01.001 для забезпечення належного рівня системи пожежної безпеки. Зазвичай в ЕКСО застосовуються нагрівальні секції з номінальним струмом не більше 16 А. Використання секцій зі струмом понад 30 А не допускається.

Під час монтажу слід уникати контакту нагрівального кабелю з легкозаймистими матеріалами. У пожежобезпечних зонах температура нагрітих поверхонь має бути щонайменше на 20% нижчою від температури спалаху горючих речовин у цій зоні. Температура спалаху може споживчих горючих речовин перевищувати гранично допустимі 28°C для нагрівальних панелей, дотримання цієї вимоги не обумовлює труднощів. Такі заходи повинні забезпечити належний рівень пожежної безпеки електрокабельного опалення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Електрообігрів має значні переваги порівняно з традиційними централізованими системами опалення. Зокрема, він є більш компактним, потребує менших капітальних вкладень (не потрібно прокладати теплотраси) та експлуатаційних витрат. Також електрообігрів є більш надійним та пожежобезпечним, не потребує витрат на газоочищення. Він також має вищу енергоефективність, оскільки тепло виділяється безпосередньо у приміщенні. Електрообігрів дозволяє точніше регулювати параметри мікроклімату.

Доцільно використовувати електрообігрів для завантаження "нічних провалів" графіка електроспоживання енергосистеми України. Це дозволить оптимізувати режими виробництва і споживання електроенергії, підвищити завантаження джерел енергії, зокрема атомних електростанцій. Поступово газове опалення можна буде замінити електроопаленням, а саме на найперспективніший акумуляційний електронагрів.

Перед впровадженням електрообігріву зокрема кабельного, необхідно провести енергоаудит об'єктів та вжити заходів з термоізоляції, щоб довести рівень тепловитрат до нормативних значень. Також потрібно оцінити стан внутрішніх електромереж та електрообладнання.

Бажано провести подальші практичні випробування існуючої елементної бази кабельного електрообігріву та його технологічного обладнання в реальних проектних умовах експлуатації. Рекомендовано максимально локалізувати в Україні виробництво обладнання та комплектуючих для електрообігріву, зокрема кабельного. Це здешевить технологію та створить нові робочі місця.

Впроваджений багатозонний облік електроенергії з окремим тарифом для електрообігріву, значною мірою стимулює споживачів до використання електроенергії в нічний час.

Проведене моделювання підтверджує можливість забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в умовах України за допомогою

кабельного електротеплоаккумуляційного обігріву з використанням електроенергії лише в нічний час.

В ході досліджень було виявлено, що стандартні умови мікроклімату та робочі параметри ЕТА-технології як системи обігріву, що діє періодично, можна забезпечити без використання додаткових нагрівальних пристроїв. Для цього достатньо правильно підібрати навантаження на кабель, товщину акумуляційного шару, інтервал між кабелями, матеріали конструкційних шарів підлоги, а також елементи внутрішньої та зовнішньої оболонки, і ефективно розподілити конструктивні шари підлоги з різними теплофізичними характеристиками.

Пропонована кабельна система обігріву має необхідні властивості для акумуляції тепла і може стати реальною альтернативою традиційному опаленню в житлових приміщеннях, дозволяючи впроваджувати систему індивідуального теплопостачання на рівні окремих квартир.

Ця система опалення також забезпечує необхідний тепловий комфорт, електромагнітну безпеку та пожежну безпеку. В цілому, в умовах України ЕТА-обігрів є реальною альтернативою традиційним системам опалення для будь-яких житлових приміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. // Відомості Міністерства палива та енергетики України, Інформ.-аналіт.бюлетень МПЕ. Спецвипуск. - К.: МПЕ, 2006,-114 с.
2. Енергоощадна технологія електротеплоаккумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України. Відповідальний редактор к. т. н. Д. Й. Розинський - К.: Видавництво Купріянова О.О. - 2007. - 272 с.
3. Б.Х. Драганов, О.С. Бессараб, А.А. Делійський, В. О. Лазоренко, А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова (за ред. Б.Х. Драганова) Теплотехніка: Підручник.— 2-е вид., перероб. і доп. — Київ: Фірма «ШКОС», 2005. — 400 с..
4. Третьякова Л.Д., Сельверстов А.С., Баран М. Эффективные засоби електротеплоаккумуляційного обігріву. // Промислова електроенергетика та електротехніка. - 2006. - №4.-С. 14-16.
5. Національна енергетична компанія «Укренерго». https://ua.energy/uchasnikam_rinku/
6. Розинський Д.Й. Електротеплоаккумуляційне опалення у будівництві, промисловості і АПК - складова енергобезпеки України. // Екологія і ресурси. - 2003. - № 5. - С. 174-181.
7. Олесен Б.В. Теория и практика напольного лучистого отопления. // АВОК. - №1. -2003. -С. 44-52.
8. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. - К.: Наукова думка, 2000. - 416 с.
9. Елагин Б. Т. Основы теплофизики ограждающих конструкций зданий. - Киев - Донецк: Высшая школа, Главное изд-во, 1977. - 96 с.
10. Круковский П.Г., Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Суцак О.Ю., Полубинский А.С. Числовое моделирование тепловых режимов греющих полов с электрокабельным отоплением (нестационарная постановка). // Электротепло-

аккумуляционное отопление греющим полом. Сборник научных статей под ред. Д.И. Розинского. - К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элестер», 2001. - 156 с.

11. Расчётно-аналитические и экспериментальные исследования теплофизических характеристик модели помещения типового жилого здания, оборудованного «тёплым полом». Госрегистрация №ГР-0101U007318. КиевЗНИИЭП, 2002. - 271 с.

12. Розинський Д.Й., Черних Л.Ф. Особливості розрахунків теплового режим приміщень з електротеплоаккумуляційним опаленням підлогою, що гріє. // Науковий вісник НАУ. - К., 2003. - Т. 58. - С.156-173.

13. Черных Л.Ф., Розинский Д.И., Полевой П.П. Метод конечных интегральных преобразований для расчёта теплового режима помещений с электротеплоаккумуляционным отоплением греющим полом. // Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. // Под ред. Д.И. Розинского. - К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элестер», 2001. - С.85-91.

14. Черних Л.Ф. Метод розрахунку теплового режиму приміщення з тришаровими зовнішніми стінами із електротеплоаккумуляційною системою опалення підлогою, що гріє. // Будівництво України. - 2002. - № 3. - С. 40-44.

15. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. Сборник научных статей под редакцией Д.И. Розинского. - К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элестер», 2001. - 156 с.

16. Розинський Д.Й. Енергоощадна технологія електро-теплоаккумуляційного обігріву в АПК. // Автореф. Дис. на здобуття вч.ст. к.т.н. - К.: НАУ, 2004. - 24 с.

17. Розинский Д.Й., Лопатин С.Я., Тимченко М.П. Оценка теплоаккумулирующей способности конструкций зданий и сооружений при электрическом кабельном отоплении. // Сб. «Промислова електроенергетика та електротехніка». Вып. 2. - К. - 1998. - С. 26-44.

18. Круковский П.Г., Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Суцак О.Ю., Полубинский А.С. Числовое моделирование тепловых режимов греющих полов с электрокабельным отоплением (нестационарная постановка). // Электротепло-

аккумуляционное отопление греющим полом. Сборник научных статей под ред. Д.И. Розинского. - К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элестер», 2001. - 156 с.

19. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціювання". - К.: ДП "УкрНДІспецбуд", 2013. - 147 с.

20. ДБН В.2.5-24-2003. Електрична кабельна система опалення. - К.: Укрархбудінформ, 2003. - 44 с.

21. Розинский Д.Й., Лопатин С.Я., Тимченко М.П. Оценка теплоаккумулирующей способности конструкций зданий и сооружений при электрическом кабельном отоплении. // Сб. «Промислова електроенергетика та електротехніка». Вып. 2. - К. - 1998. - С. 26-44.

22. Розинський Д.Й., Сеняшов О.С., Громадський Ю.С., Гвозденко Л.А. Техніко-гігієнічні аспекти впровадження електротеплоакумуляційного обігріву в Україні. Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). - 2006. - Вып. 2. - С. 33-36.

23. Розинский Д.И., Мозырский В.И. Обеспечение электробезопасности в системах распределённого кабельного электрообогрева. //Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). - 2001. - Вип. 3. - С.75-83.

24. Мозирський В.И. Автоматичне виключення живлення й захисне заземлення в електроустановках будинків (у світлі вимог нових стандартів з електробезпечності). - К.: ДИА, 2001,- 120 с.