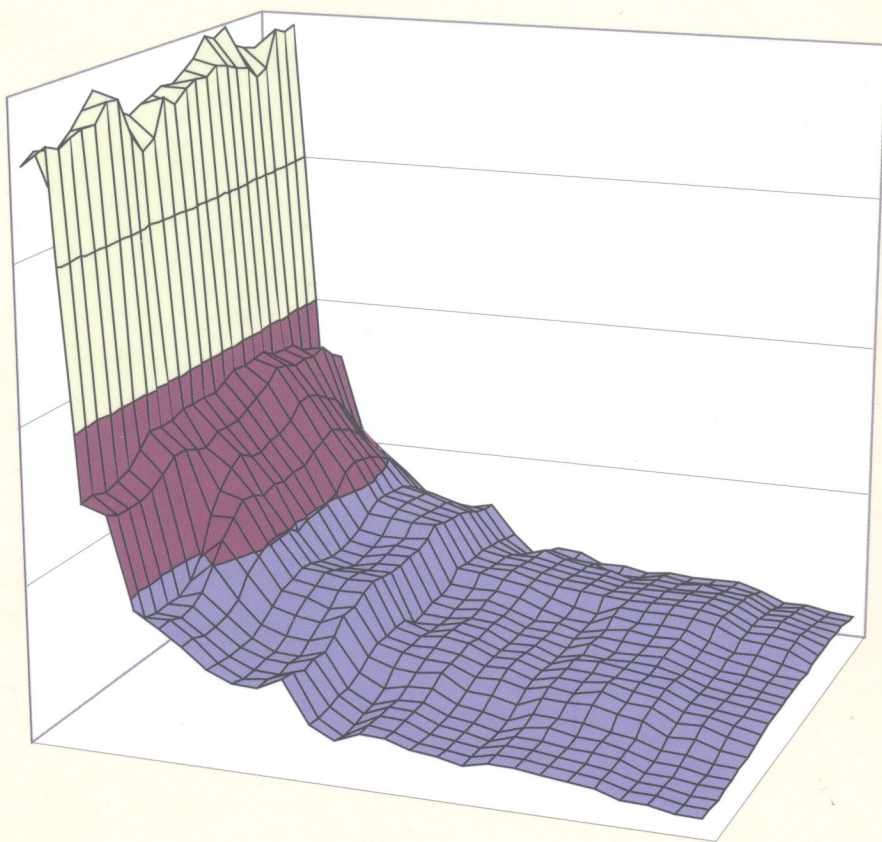


694.2

Е62



**ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ
ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ
В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ
ТА АГРАРНО-ПРОМИСЛОВОМУ
КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ**

697.2
E62

Д. Й. Розинський, В. Д. Іоргачов, С. Я. Меженний,
М. М. Меркулов, В. В. Оксак, М. П. Тимченко, С. М. Тітенко

ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ТА АГРАРНО-ПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ

За редакцією к. т. н. Д. Й. Розинського



697.2

E62

2007

Енергоощадна технологія електротепловомуля

Київ – 2007

УДК 697.27:621.365

ББК 274.15.6

Е 15

Автори:

к. т. н. Д. Й. Розинський, В. Д. Іоргачов, к. т. н. С. Я. Меженний,
к. е. н. М. М. Меркулов, В. В. Оксак, к. т. н. М. П. Тимченко, к. е. н. С. М. Тітенко

Рецензенти:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор А.А. Халатов;
академік Академії наук вищої школи, доктор технічних наук, професор Б.Х. Драганов;
доктор технічних наук, професор О.С. Яндутьський

**Рекомендовано до друку секцією з питань технічного регулювання в будівництві
НТР Мінрегіонбуду (протокол № 10 від 12 вересня 2007 року)**

Е15 **Енергоощадна технологія електротеплоакумуляційного 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.**

ISBN 978-966-8668-56-2

У книзі розглянуто актуальність, мету, завдання, підходи, установчі положення та вимоги до розробки технології електротеплоакумуляційного (ЕТА) обігріву в ЖКК та АПК України. Досліджені основні аспекти концептуальних засад розвитку ЕТА-обігріву в Україні, у тому числі особливості електроенергобалансу, теплозабезпечення та енергобезпеки України. Одержано оцінку нерівномірності існуючого графіка добового навантаження ОЕС України як потенціалу впровадження електрообігріву. Особливу увагу приділено теплофізичним засадам споживача-регулятора нового типу для ОЕС України. Здійснено огляд існуючої економічної, нормативної та технічної бази ЕТА-обігріву.

Встановлено технічні, економічні умови для поступового витіснення природного газу системами побутового електротеплозабезпечення за рахунок ущільнення графіків електричних навантажень. Увагу зосереджено на розробці вітчизняного нагрівального кабелю – ключової умови широкомасштабного впровадження нової технології кабельного обігріву. Розроблено рекомендації та програма впровадження ЕТА-обігріву.

Для електроенергетиків, архітекторів, проєктантів та інженерів систем опалення житлових, громадських та промислових об'єктів, працівників ЖКК і АПК, викладачів та студентів відповідних спеціальностей.

УДК 697.27:621.365

ББК 274.15.6

НЧНОС

ISBN 978-966-8668-56-2

© Д. Й. Розинський, В. Д. Іоргачов,
С. Я. Меженний, М. М. Меркулов, В. В. Оксак,
М. П. Тимченко, С. М. Тітенко, 2007

**НТБ ВНТУ
м. Вінниця**

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення	6
Передмова	9

ГЛАВА 1. Огляд технологій та устаткування для електротеплопостачання в ЖКК та АПК України	12
1.1. Загальні зауваження	12
1.2. Сучасний стан розповсюдження технологій електротеплопостачання.....	16
1.3. Методологія децентралізованого теплопостачання на базі електрообігріву.....	22
1.4. Досвід використання сучасного децентралізованого теплопостачання на базі прямого електрообігріву	28
1.5. Досвід використання опалення на базі комбінованого перетворення електричної енергії на теплову.....	35
1.6. Переваги й аргументація проти впровадження прямого електрообігріву.....	36
1.7. Електротеплоаккумуляційні системи обігріву.....	38
1.7.1. Електричні кабельні системи обігріву теплоаккумуляційної дії.....	39
1.7.2. Електрообігрів на базі електротермічних установок з водяними баками-акумуляторами.....	39
1.7.3. Електрообігрів на базі установок гідродинамічного нагрівання	41
1.7.4. Електрообігрів на базі теплоакмулюючих електропечей	43
1.8. Електрообігрів на базі теплонасосних установок.....	49
1.9. Зіставлення розглянутих видів електрообігріву	55

ГЛАВА 2. Концептуальні основи впровадження електротеплоаккумуляційного обігріву в ЖКК та АПК України	59
2.1. Загальні зауваження	59
2.2. Актуальність, мета і настановчі положення до розробки концепції електротеплоаккумуляційного обігріву в Україні	60
2.3. Основні аспекти концепції розвитку електротеплоаккумуляційного обігріву в Україні	64
2.3.1. Оптовий ринок електричної енергії та інституційно-методичні основи застосування електроенергії для обігріву.....	65
2.3.2. Особливості електроенергобалансу, теплозабезпечення та енергобезпеки України	74
2.3.3. Добові та сезонні режими навантаження ОЕС України	84
2.3.4. Нерівномірність графіка добового навантаження як потенціал впровадження електрообігріву	89

2.3.5. Оцінка обсягів упровадження електрообігріву і оцінка споживачів щодо черговості впровадження електротеплозабезпечення	96
--	----

ГЛАВА 3. Технологія кабельного електротеплоакумуляційного обігріву як споживач-регулятор нового типу та його теплофізичні основи	104
3.1. Потреба ОЕС України у споживачах-регуляторах нового типу	104
3.2. Теплофізичні основи споживача-регулятора нового типу на базі ЕТА-обігріву	106
3.2.1. Теплофізична модель і основна система рівнянь режимів теплообміну в приміщеннях з кабельним ЕТА-обігрівом	107
3.2.2. Термодинамічний аспект роботи кабельного ЕТА-обігріву	111
3.2.3. Методи моделювання режимів теплообміну у приміщеннях із кабельним ЕТА-обігрівом	112
3.2.3.1. Модифікований метод скінчених інтегральних перетворень .	112
3.2.3.2. М-метод аналізу теплостійкості приміщень	114
3.2.3.3. Комп'ютерне моделювання режимів теплообміну	117
3.2.4. Комплекс критеріїв технології кабельних систем ЕТА-обігріву.....	123
3.3. Теорія теплостійкості та електротеплоакумуляційний обігрів	125
3.3.1. Теплоакумуляційні властивості приміщення з грючою підлогою з погляду теорії теплостійкості	126
3.3.2. Теплозасвоєння грючої підлоги.....	136
3.3.3. Приклад використання теорії теплостійкості для розрахунку теплоакумуляційної здатності приміщень з ЕТА-обігрівом	140
3.4. Результати застосування комп'ютерних технологій моделювання теплового стану приміщень з ЕТА-обігрівом	146
3.4.1. Товщина шару різких коливань у добовому циклі переривчастого опалення.....	146
3.4.2. Властивості основних матеріалів і конструкцій при використанні технології ЕТА-обігріву.....	149
3.4.3. Вплив кроків і глибини закладання кабелів на тепловий стан грючої підлоги	155
3.4.4. Визначення коефіцієнтів <i>M</i> -нерівномірності грючої підлоги періодичної дії	160
ГЛАВА 4. Економічні, нормативні та технічні основи впровадження енергоощадної технології кабельного ЕТА-обігріву	164
4.1. Техніко-економічні основи впровадження кабельного ЕТА-обігріву	164
4.2. Нормативні основи впровадження енергоощадної технології кабельного ЕТА-обігріву.....	176

4.3. Технічні основи впровадження енергоощадної технології кабельного ЕТА-обігріву	178
4.3.1. Схемотехнічна реалізація технології кабельного ЕТА-обігріву	179
4.3.2. Централізоване автоматичне управління кабельним ЕТА-обігрівом	180
4.3.3. Локальне автоматичне управління кабельним ЕТА-обігрівом	183
4.3.4. Вітчизняні нагрівальні кабелі як основа технології ЕКСО	188
ГЛАВА 5. Забезпечення життєдіяльності та питання безпеки людини в приміщеннях з ЕКСО	198
5.1. Тепловий комфорт у приміщеннях з ЕКСО	198
5.2. Електробезпека у приміщеннях з ЕКСО	200
5.3. Електромагнітна безпека у приміщеннях з ЕКСО	209
5.4. Пожежна безпека у приміщеннях з ЕКСО	211
ГЛАВА 6. Технологія влаштування, монтаж та випробування ЕКСО	213
6.1. Нова будівельно-монтажна технологія влаштування ЕТА-обігріву	213
6.2. Монтаж елементів ЕКСО	217
6.3. Приймально-здавальні випробування ЕКСО	220
ВИСНОВКИ. Перспективи розповсюдження технології ЕТА-обігріву в Україні	226
РЕЗЮМЕ	236
ЛІТЕРАТУРА	239
Додаток А. Програма електротеплозабезпечення України за технологію електротеплоакумуляційного обігріву (проект)	248
Додаток Б. Приклад вибору параметрів за технологією електрообігріву прямої дії	261
Додаток В. Приклад вибору параметрів за технологією електротеплоакумуляційного обігріву	264

Скорочення та умовні позначення

АБ	– адміністративна будівля
АПК	– агропромисловий комплекс
АСОЕ	– автоматизована система обліку електроенергії
АЕС	– атомна електростанція
БСНН	– безпечна система наднизької напруги
АЕС	– атомна електростанція
ВВП	– внутрішній валовий продукт
ВВТ	– водовугільна технологія
ВДЕ	– відновлювані джерела енергії
ВЕЗ	– вільна економічна зона
ВЕУ	– вітроенергетична установка
ВМКБ	– висотний монолітно-каркасний будинок
ГВП	– гаряче водопостачання
ГАЕС	– гідроакumuлююча електростанція
ГЕС	– гідроелектростанція
ГУ	– граничні умови
ГФ	– геометричні функції
Днп	– Дніпропетровськ
ЕЕ	– електроенергія
ЕЕС	– електроенергетична система
ЕЕТО	– енергоощадна електроакumuляційна технологія обігріву
ЕК	– енергетична компанія
ЕКСО	– електрична кабельна система обігріву
ЕМС	– електромагнітна сумісність
ЕНІН	– Електроенергетичний інститут ім. Г.М. Кржижанівського
ЕПО	– електропередавальна (електропостачальна) організація
ЕО	– електроопалення
ЕС	– електростанція
ЕТА	– електротеплоакumuляція
ЕТЗ	– електротеплозабезпечення
ЕТО	– електроакumuляційна технологія обігріву
ЕТУ	– електротермічна установка
ЄС	– Європейський Союз (-15, -25, -27)
ЖБ	– житловий будинок
ЖКК	– житлово-комунальний комплекс
З	– Захід
ЗОШ	– загальноосвітня школа
ЗСНН	– система наднизької напруги з заземленням
ІТТФ	– Інститут технічної теплофізики
ІЧ	– інфрачервоне
КДПЕ	– Комплексна державна програма енергозбереження
КЕС	– конденсаційна електростанція
к.к.д.	– коефіцієнт корисної дії
КЛ	– кабельна лінія
КПІ	– Київський політехнічний інститут
Кр	– Крим

КТМП	– коефіцієнт тепло-, масопереносу
ЛЕП	– лінія електропередачі
МВС	– Міністерство внутрішніх справ
МЕА	– Міжнародна енергетична агенція
МЕК	– Міжнародна електротехнічна комісія
Мінрегіонбуд	– Міністерство регіонального розвитку і будівництва України
Мінпаливенерго	– Міністерство палива та енергетики України
МНС	– Міністерство з надзвичайних ситуацій
МПЖБ	– малоповерховий житловий будинок
НАЕК	– Національна акціонерна енергетична компанія України
НАЕР	– Національне агентство України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів
НАНУ	– Національна академія наук України
НВП	– науково-виробниче підприємство
НД	– нормативний документ
НДІ	– науково-дослідний інститут
НЕК	– Національна енергетична компанія
НДР	– науково-дослідна робота
НКРЕ	– Національна комісія регулювання енергетики України
НУ	– початкові умови
ОЕС	– об'єднана електроенергетична система
ОЕСУ	– об'єднана електроенергетична система України
ОРЕ	– оптовий ринок електричної енергії
ПВХ	– полівінілхлорид
ПГ	– природний газ
Пд	– Південь
ПЕР	– первинні енергоресурси
ПЕО	– пряме електричне опалення
ПЗ	– південно-західна
ПЗВ	– пристрій захисного вимикання
ПКЕЕ	– правила користування електричною енергією
ПЛ	– повітряна лінія
Пн	– Північна
ПП	– промислове підприємство
ППО	– променево-панельне опалення
ПСЕ	– паливна складова енергії
ПТН	– парокompресійні теплові насоси
ПУЕ	– правила улаштування електроустановок
РЕМ	– районна електромережа
РФ	– Російська Федерація
СДТ	– система децентралізованого теплопостачання
СЕТОП	– система електротермічного теплоакumuляційного опалення приміщень
СП	– спосіб інтегральних перетворень
СКВ	– середньоквадратичне відхилення
СПД	– суб'єкт підприємницької діяльності
СР	– споживач-регулятор
СЦТ	– система централізованого теплопостачання

ТАЕП	–	теплоакумуючі електropечі
ТБ	–	техніка безпеки
ТГС	–	тепловий генератор спеціальний
ТДПЧ	–	тарифи диференційовані за періодами часу
ТЕО	–	технологія електроаккумуляційного обігріву
ТЕС	–	теплова електростанція
ТЕЦ	–	теплоелектроцентрально
ТНУ	–	теплонасосні установки
ТВО	–	традиційне водяне опалення
ТОВ	–	товариство з обмеженою відповідальністю
ТФХ	–	теплофізичні характеристики
у.о.	–	умовна одиниця
у.п.	–	умовне паливо
УГН	–	установка гідродинамічного нагрівання
УЕ	–	Укренерго
ФАП	–	фельдшерсько-акушерський пункт
ФО	–	фізична особа
Ц	–	Центр
ЦК	–	цивільний кодекс
ЦПК	–	целюлозно-паперовий комбінат
ЦТП	–	центральний тепловий пункт
ШРК	–	шар різких коливань
ЮО	–	юридична особа
AIS	–	Agroindustrial Complex
HCS	–	Housing and communal services
ICNIRIP	–	International Commission on Non Ionizing Radiation Protection
NPP	–	nuclear power plant
PER	–	primary energy resources
t	–	час, година
УСТЕ	–	Європейський Союз з координації передачі електроенергії
UPGU	–	united power grid of Ukraine

ПЕРЕДМОВА

Поточне завдання полягає не так у реорганізації науки, як у налагодженні механізму потрібності її діяльності державі. Енергетика є вдячним плацдармом для такої діяльності держави ще й тому, що вона значною мірою залишається державною сферою господарювання.

«Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали». Т. 2, К: Академперіодика, 2006. – С. 254.

Історія розвитку вітчизняного електроопалення налічує майже 30 років. Але поки природний газ залишався єдиним, але, одночасно і найбільшим за обсягом використання (41 % від загального паливного ресурсу) видом ПЕР, вартісні показники якого в Україні, на відміну від інших основних складових споживання ПЕР (вугілля, рідкого та ядерного палива), на внутрішньому ринку значно поступалися світовим, великої уваги електрообігріву не приділялося. Лише навесні 2005 р., коли було спрогнозовано значну ймовірність різкого стрибка внутрішніх цін на газ, роботи з цього напрямку енергозабезпечення стали більш інтенсивними. Саме у цей час було поставлено проблемні завдання щодо підвищення рівня енергонезалежності країни. Улітку 2005 р. в Міністерстві палива та енергетики (Мінпаливенерго) України розпочалися активні пошуки шляхів підвищення енергонезалежності країни та зменшення обсягів споживання імпортованих енергоносіїв. Було оптимізовано основні напрямки «Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.» (далі – «Стратегія»). У Мінпаливенерго України, у ході системних робіт з удосконалення енерговиробництва та енергоспоживання, відбулася своєрідна інвентаризація засобів енерготеплопостачання, і особливу увагу було приділено електрообігріву. Оскільки вже перші розрахунки та узагальнення практики використання енергоефективних видів електрообігріву продемонстрували доцільність розвитку цієї технології у сучасних соціально-економічних умовах України, то вказаний вид обігріву було включено до матеріалів оновленого проекту «Стратегії». Газова криза кінця 2005 – початку 2006 років стала додатковим імпульсом для пошуків усіх перспективних видів енергоспоживання. У березні 2006 р. було прийнято скоректовану «Стратегію», у якій електрообігріву надана певна увага.

Технологія електроопалення знаходиться на межі електроенергетики та теплоенергетики, тому її поглиблений техніко-економічний аналіз та спеціальне дослідження потребують залучення фахівців не тільки з енергетики, але і з ряду суміжних галузей. Особливо недостатньо була досліджена теплофізична складова цієї технології. Очевидно також, що найбільш перспективними є розробка та впровадження нових технологій енергопостачання в галузях з великими потребами енергії і одночасно з великими її питомими втратами. З цього погляду найбільш проблемні споживачі енергії зосереджуються в житлово-комунальному та агропромисловому комплексах України. Багаторічні дослідження енергоефективності систем енергопостачання будинків та розробка науково-технічних засад енергоощадної технології електротеплоакумуляційного обігріву в ЖКК та АПК України проводилися в Міністерстві палива та енергетики України,

Міністерстві регіонального розвитку та будівництва України (Мінрегіонбуд), Національній Академії наук України (НАНУ).

Значна частина матеріалів була одержана завдяки НДР «Розробка науково-технічних засад енергоощадної технології електротеплоакумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України», яка на замовлення Мінпаливенерго була виконана НВП «ЕЛЕТЕР» у 2006 р. (держреєстрація № 0106U000559). Для виконання робіт, що потребують проведення спільних фахових досліджень, були залучені ІТТФ НАН України (м. Київ), галузеве НДІ «Укрсілєнерго-проект» (м. Київ) та КиївЗДНІЕП. Для широкомасштабного впровадження нової технології необхідно було розробити та розпочати виробництво вітчизняного нагрівального кабелю, що було здійснено спільними зусиллями ВАТ «Одескабель» та НВП «Елетер». Сотні кілометрів вітчизняного нагрівального кабелю потрапили на ринки СНД.

Пропонована книга продовжує лінію монографічних досліджень, започатковану в 2001 р. збіркою «Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом» (Сб. научных статей под редакцией Д.И. Розинского. – К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элетер», 2001. – 156 с.). Нова книга підсумовує результати проведеної за останні роки роботи, а також систематизує нові відомості з інших джерел, які безпосередньо стосуються цієї тематики.

Структура монографії є традиційною. На початку монографії наводяться результати вивчення вітчизняного та закордонного досвіду, узагальнення патентної документації, огляд науково-технічної інформації щодо існуючої методології, технічних засобів і методів електрообігріву взагалі і електротеплоакумуляційного обігріву зокрема.

Після розгляду можливих напрямів досліджень та оцінки їх актуальності обґрунтовуються напрями та обсяги теоретичних та експериментальних досліджень. Було проведено аналіз навантажень ОЕС України у зимовий день, оцінено потенціал та пріоритетні напрямки упровадження електрообігріву. На основі одержаних даних було розроблено концептуальні засади впровадження різних способів електротеплоакумуляційного обігріву в житлово-комунальному та агропромисловому комплексах України. Також наводяться відомості про розроблену проектну та робочу технічну документацію для основних категорій об'єктів упровадження: адміністративної будівлі (АБ), фельдшерсько-акушерського пункту (ФАП), загальноосвітньої школи (ЗОШ), малоповерхового житлового будинку (МПЖБ), висотного монолітно-каркасного будинку (ВМКБ). Ці об'єкти формують основний типаж перспективних об'єктів упровадження електрообігріву в ЖКК та АПК України.

На прикінцевих етапах роботи було проведено узагальнення та оцінку результатів досліджень: сформульовано висновки та вироблено практичні рекомендації щодо ефективності застосування технічних засобів та методів упровадження електротеплоакумуляційного обігріву. На їх основі був запропонований проект «Програми електротеплозабезпечення за технологією електротеплоакумуляційного обігріву».

У 2006 р., коли створювалася монографія, проблема енергоефективності ЖКК і АПК України, як унаслідок відомих політичних причин, так і через прогресуючий дефіцит вуглеводневого палива в умовах неухильного зростання попиту на енергію, стала особливо актуальною. Зволікання з пошуком вирішення проблеми перетворилися на пряму загрозу енергетичній безпеці країни, оскільки у більшості будівельних проектів домінують інженерні рішення, що спираються на традиційні системи опалення, які характеризуються великими втратами енергії у процесі її транспортування і використання у кінцевих споживачів. Стало очевидним, що пріоритетними вимогами до новітнього теплозабезпечення на рівні сучасних технологій у ЖКК повинно стати значне

зниження питомих витрат енергії при одночасному підвищенні автономності, надійності, зручності в обслуговуванні та екологічності у кінцевого споживача. При цьому окремим завданням є зниження абсолютних обсягів споживання енергоресурсів на потреби ЖКК в умовах зростання енергоспоживання населенням, сферою послуг, промисловим та сільськогосподарським виробництвом. Таким чином, після 2006 р. вже мало йтися про пошук реальних нових технологій для витіснення природного газу як базового первинного енергоносія у виробництві теплової енергії.

Автори щиро вдячні своїм колегам і співробітникам, без дружньої творчої допомоги яких ця робота не було б здійснено у повному обсязі. Особливу подяку автори висловлюють доктору технічних наук, професору П.Г. Круковському, кандидату технічних наук О.Ю. Тадлі, кандидату фізико-математичних наук А.С. Полубінському – співробітникам ІТТФ НАН України; М.В. Керницькому, В.Г. Стафійчуку – співробітникам інституту «Укрсіленергопроект»; кандидату технічних наук Л.Ф. Черних – науковому співробітнику інституту «КиївЗДНІЕП»; кандидату технічних наук В.В. Пиркову – науковому консультанту фірми «Данфос»; Ю.С. Громадському – директору ТОВ «Київпромелектропроект»; С.Я. Лопатіну – директору ТОВ «Лотерм»; О.С. Сенянінову, Р.Ю. Сітницькому, В.Л. Когену – співробітникам ТОВ «НВП «Елетер»; Д.В. Іоргачову – директору ВАТ «Одескабель»; О.П. Авдієнко, Д.В. Барзеловічу – начальникам управлінь Мінрегіонбуду України; кандидату фізико-математичних наук Л.С. Симоненко – заміснику начальника відділення технічної експертизи НКРЕ України.

Автори щиро вдячні рецензентам книги: члену-кореспонденту НАН України, доктору технічних наук, професору А.А. Халатову; академіку Академії наук вищої школи, доктору технічних наук, професору Б.Х. Драганову; доктору технічних наук, професору О.С. Яндульському.

Книга рекомендована для електроенергетиків, архітекторів, проєктантів та інженерів систем опалення житлових, громадських та промислових об'єктів, працівників ЖКК і АПК, викладачів та студентів відповідних спеціальностей.

Автори з вдячністю приймуть усі зауваження по книзі, які просять надсилати за адресою: 03150, Київ, а/с 143; або НВП «Елетер», вул. Магнітогорська, 2, Київ, 03150, Розинському Д. Й.

Глава 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В ЖКК ТА АПК УКРАЇНИ

1.1. Загальні зауваження

Технології теплопостачання і тепловикористання, у тому числі обігріву та опалення, належать до категорії критичних технологій, які забезпечують не тільки життєво важливі повсякденні потреби населення та народного господарства, але є також складовими стратегічної безпеки держави [1-3]. Крім того, вони характеризуються дуже великими обсягами споживання енергетичних ресурсів та інтенсивністю антропогенного навантаження довколишнього середовища. Но окрему увагу, внаслідок великих обсягів споживання енергії та надмірних питомих (наприклад, на одиницю ВВП) її втрат, заслуговує питання розробки сучасних технологій обігріву для житлово-господарського комплексу та промислових, фермерських і житлових об'єктів в АПК. Тому розвитку цих технологій, підвищенню їх енергоощадних та екологічних характеристик, виведенню їх на загальний сучасний світовий технологічний рівень постійно приділяється велика увага.

Найбільшого розповсюдження у міському середовищі зазнали системи централізованого теплопостачання великої потужності. Але в умовах сільської місцевості системи центрального теплопостачання порівняно з міськими є більш витратними, внаслідок, наприклад, збільшених питомих втрат при транспортуванні. Усі системи центрального теплопостачання характеризуються великою тепловою інерцією, матеріалоемністю, потребують великих капітальних вкладень і експлуатаційних витрат, унаслідок чого на практиці вони у цілому не є енергоекономними. Згідно із Законом Європейської Співдружності «Про енергетической ефективности зданий»¹ [1] для будинків, що будуються, площею понад 1000 м², повинні бути розглянуті й обрані до початку зведення будинку такі альтернативні системи теплопостачання: децентралізовані; централізовані; районні або квартальні і, при можливості, теплонасосні. Що ж до існуючих будинків площею понад 1000 м², то, у разі їх загальної реконструкції, енергетичну ефективність треба довести до мінімальних вимог з енергоефективності будинків, встановлених державами-членами ЄС. Оскільки Україна вибрала європейський вектор розвитку, то вона повинна вже зараз враховувати цей закон. Тобто їй, на шляху інтеграції з ЄС, необхідно гармонізувати своє законодавство до чинного у Брюсселі, у тому числі в частині методології нормування витрат на обігрів та опалення. Фактично, ця методологія спільна для ЄС та України. Основна відмінність пов'язана з тим, що в Україні широко розповсюджене централізоване теплопостачання.

Для досягнення та підтримання необхідних температурних умов на об'єктах різного призначення в ЖКК України зараз найчастіше застосовуються: традиційний центральний водяний, повітряний та комбінований (водяний та повітряний) види обігріву з використанням органічного палива, а в АПК України – ті ж самі види опалення, але в їх автономному варіанті.

¹ Цей Закон було прийнято у грудні 2002 р., він набув чинності в січні 2003 р. Закон вводить принцип повної енергетичної ефективності і встановлює загальні цілі та принципи енергопостачання будинку в державах-членах ЄС. Передбачається, що детальне виконання цих принципів буде здійснюватися кожною з держав на національному або регіональному рівнях з урахуванням конкретної ситуації. Однак держави-члени ЄС повинні скоригувати свої закони, норми й адміністративні вимоги відповідно до цього закону.

Масштаби використання електрообігріву зумовлені техніко-економічною доцільністю. Оптимізація промислових технологій електрообігріву є предметом численних фахових досліджень (електротермії, дугових печей тощо) і знаходиться поза межами нашого дослідження. Навпаки, питання підвищення ефективності технологій електрообігріву у ЖКК, АПК поки що окремо не розглядалося. Таке становище з огляду на великі обсяги споживання ПЕР та електроенергії в ЖКК і АПК (приблизно третя частина електробалансу) є неприпустимим.

Вважається, що зараз існують усі передумови для подальшої електрифікації побуту населення (як міського, так і того, що проживає у сільській місцевості) за рахунок поширення електрообігріву. В Україні вже давно з'явилися всі можливості для повної або комплексної електрифікації сільського господарства, коли всі теплові процеси у тваринництві, рослинництві, побуті сільського населення будуть базуватися на споживанні електричної енергії. Необхідно лише підвищити показники енергоефективності електрообігріву шляхом пошуку, розробки та впровадження відповідних нових електротехнологій. У сучасних соціально-економічних умовах України така нова електротехнологія обігріву повинна відповідати вимогам актуального і перспективного енергозбереження (у тому числі вимогам вищезгаданого нормативного документу ЄС [1]), вимогам використання провального інтервалу добового циклу навантажень електромережі, а також повинна бути максимальною регульованою. Нові електротехнології обігріву мають забезпечувати економію матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів шляхом утилізації енергії, наявної у продуктах викидів (наприклад, за рахунок використання тепла повітря, що витягується вентилятором із тваринницького приміщення); відповідати вимогам механізації технологій сільськогосподарського виробництва не тільки за допомогою їх електрифікації, але й комп'ютеризації. При цьому бажано, щоб електротехнологія дозволяла здійснити безпаперовий, у режимі «*on-line*», облік та контроль за витратами електроенергії. Окремим питанням, яке також бажано вирішувати у нових електротехнологіях сільського господарства, є їх придатність до застосування у випадку енергопостачання від нетрадиційних джерел електроенергії. Вважається, що «нетрадиційні джерела енергії в сільському господарстві є ... важливою базою енергопостачання автономних споживачів (особливо для систем акумуляційного опалення виробничих приміщень), а також дозволяють зекономити органічне паливо в ряді традиційних технологій (нагрівання води, повітря тощо)» [2].

Соціальна задача нової електротехнології полягає в тому, аби підвищити рівень електрифікації не тільки великих АПК-підприємств, громадських будинків типу АБ, ЗОШ, ФАП, але й побуту, осель і сільських (фермерських) господарств. Для цього необхідно, щоб комплекти відповідного високоякісного технологічного обладнання були малогабаритними, невисокої вартості та надійними.

Усі ці питання успішно вирішуються при застосуванні технологій теплоаккумуляційного обігріву на базі використання теплоаккумуляційних електропечей (ТАЕП) і/або електрокабельних систем обігріву (ЕКСО). На відміну від теплоаккумуляційних електропечей, ЕКСО є технологією комплексного променево-панельного опалення (ППО) з використанням акумуляції тепла в огорожувальних конструкціях.

Аксіоматичною умовою можливості практичного використання панельно-променевого опалення є вимога забезпечення теплової потужності опалювального приладу, здатного забезпечити тепловий комфорт. Ця потужність визначається очевидним балансом між тепловими витратами $Q_{т.внтр.}$ і потужністю опалювального приладу (або нагрівальної панелі) $Q_{о.п.}$:

$$Q_{\text{т.витр}} = \left[(t_{\text{прим}} - t_{\text{сер}}) / R_{\text{т.огор}} F_{\text{зовн.огор}} + Q_{\text{вент}} \right] \leq Q_{\text{о.п}} = \alpha (t_{\text{ппо}} - t_{\text{прим}}) F_{\text{ппо}},$$

де $t_{\text{прим}}$, $t_{\text{сер}}$ – температура повітря усередині приміщення і навколишнього середовища; $R_{\text{т.огор}}$, $F_{\text{зовн.огор}}$ – термічний опір і площа зовнішніх огорожень; $Q_{\text{вент}}$ – вентиляційні та інші тепловтрати; α , $t_{\text{ппо}}$, $F_{\text{ппо}}$ – коефіцієнт тепловіддачі, температура і площа нагрівальної поверхні ППО.

Тому природно, що перші системи ППО з'явилися і поширилися у місцевостях, по-перше, з низьким перепадом $\Delta T = (t_{\text{прим}} - t_{\text{сер}})$, тобто в місцевостях з м'яким кліматом, у якому комфортні показники мікроклімату приміщення можливі при невеликих потужностях теплогенераторів. По-друге, – у місцевостях, де є достатня кількість доступного за ціною палива (переважно деревини). Аналогом сучасних ППО можна вважати жаровні, в яких для досягнення опалювального результату використовувалося випромінювання (з максимумом, зміщеним в ІЧ-частину спектру) від розжареного вугілля. Жаровні, виготовлені з каменю, глини, металу, розповсюджені з бронзової доби. Здавня відомий у народів Східної Азії *кан* – димохід, що проходить від топки уздовж стін житлового приміщення. Тепле повітря і дим, що йдуть по *кану*, зігрівають приміщення і лежанки, надбудовані над *каном*. Але безпосередніми попередниками сучасних ППО вважаються так звані *гіпокаустичні* опалювальні системи римського часу. У цих системах димові гази від опалювальних печей пропускали через спеціальні канали, влаштовані у стінах і підлозі. Тепло газів, що проходили, засвоювалося масивом будівельних конструкцій, і акумульованої таким чином теплоти за одну-дві протопки протягом доби було досить для підтримки середньодобової комфортної температури. Гіпокаустичні системи вимагали великих витрат палива і роботи на обслуговування. Тому вони застосовувалися переважно в багатих віллах і палацах, а також у громадських будівлях типу терм. Приблизно в цей же час зафіксовано використання диму вогнища для зігрівання кам'яної підлоги (*ондоль*) в іншій теплій країні – стародавній Кореї [4-6]. Свого часу ППО набуло надзвичайно широкого розповсюдження на Близькому та Середньому Сході. Зокрема, протягом 5-6 останніх сотень років існування Османської імперії *хамами* (лазні) були обов'язковим атрибутом інфраструктури південних (зокрема, на півдні сучасної України – у Кафі (Феодосії), Керчі, Гезльові (Євпаторії), Аккермані (Белгород-Дністровському), Ізмаїлі, Бахчисараї) міст і турецьких портів (карантинних дворів). Залишки *хамамів* знайдені при археологічному дослідженні турецьких містечок («городків») на Середньому і Нижньому Дніпрі. У цих спорудах для досягнення опалювального ефекту димові гази від топок спеціальних великих печей проходили через систему камер, влаштованих під підлогою мийних приміщень і кімнат відпочинку. Частина димових газів проходила через спеціальні канали в кам'яних лавах, які, таким чином, також створювали додатковий опалювальний ефект. Комплексна дія на людський організм трьох видів термічної дії (на базі конвективного, променевого і теплопровідного механізмів поширення тепла), особливо у поєднанні з іншими лікувально-оздоровчими процедурами (наприклад, масажем) у цілому мала великий бальнеологічний і відновлюючий ефект та стала причиною популярності знаменитої *туркечани* (турецької лазні).

У середній та північній кліматичних смугах гіпокаустичні системи тривалий час не знаходили застосування у зв'язку зі складністю улаштування надійних гріючих панелей і поверхонь на фоні низьких загальних показників теплової ефективності будівель. Опалювальне обладнання деякий час складалося із тепломасивних печей, які при одній-двох топ-

ках забезпечували опалювальний ефект, що дорівнював дії вогнища безперервної цілодобової топки. Тільки після появи та широкого розповсюдження в інженерно-архітектурній практиці нового будівельного матеріалу – бетону, здатного створювати суцільні «литі» конструкції, були запропоновані й упроваджені перші прилади ППО із закладенням нагрівальних елементів у масиви захисних конструкцій. У Росії перші такі системи з'явилися в 1905 р. в Саратові (розробник – В.А. Яхимовіч, теплоносій – гаряча вода), і вже через 10 років в Росії використовувалося більше 100 таких опалювальних установок [6]. Завдяки високим пластичним (на стадії формування) і міцним (після затвердіння) властивостям бетону з нього можна було виготовити і потім нагрівати будівельну конструкцію довільної форми та розміру, наприклад, «теплі» поручні і сходи. Вже через 8 років був запропонований електропідігрів огорож шляхом закладання в бетон огорож електричних нагрівальних елементів у вигляді спіралей з дроту [7].

У США застосування опалення підлоги пов'язане з ім'ям знаменитого американського архітектора Ф.Л. Райта, який створив не тільки концепцію «органічної архітектури», але й відкрив у 1930-х роках новий напрям в інженерному опалювальному устаткуванні [8]. Після Другої світової війни (у 1950–60-ті рр.) установки опалення підлоги з'явилися в Західній Європі. У більшості перерахованих випадків теплоносієм була гаряча вода, що пропускала по сталевих або мідних трубах. Проте, теплоізоляція будівель залишалася все ще недосконалою і при «середньоевропейських» та «скандинавських» розрахункових температурах ($-10 \div -22 \text{ }^\circ\text{C}$), для реалізації відповідного теплового навантаження (його індикативні значення лежать в інтервалі $60\text{--}90 \text{ Вт/м}^2$), була потрібна занадто велика (більше $26 \text{ }^\circ\text{C} - 29 \text{ }^\circ\text{C}$), неприпустима в житлових приміщеннях із санітарно-гігієнічних міркувань, температура підлоги. У кліматичних умовах України теплозахист будівель, що складають основний житловий фонд, не гарантує достатній тепловий потік від системи опалення підлоги, і у ряді випадків необхідно є установка додаткової системи опалення. Встановлення комбінованої системи опалення збільшує приблизно удвічі капітальні витрати і у разі несприятливих результатів техніко-економічного розрахунку, тобто при помірних термінах окупності (до 7 років), використання опалення підлогою втрачає сенс¹.

Усе ж таки з розвитком інженерно-будівельних технологій розширювалася сфера і об'єми впровадження ППО. Однією з причин якісного й кількісного стрибка в розповсюдженні ППО виявилися енергетичні кризи 70-х років. До кінця 1970-х років, разом із удосконаленням теплозахисту будівель, опалення підлоги отримує все більше розповсюдження, зокрема, в Німеччині, Швейцарії, Австрії та скандинавських країнах. Стверджується, що зараз у Германії, Данії та Австрії від 30 % до 50 % нових житлових будівель має опалення підлоги [4, 5, 9]. У сучасній Кореї (Південній) близько 90 % житлових будинків обігріваються через підлогу [9]. Опалення підлоги також широко використовується для офісних і промислових будівель. На зміну сталевим або мідним трубам прийшли поліетиленові труби [9]. Як і раніше, домінують водяні системи, використання яких нормується європейським стандартом [10], створеним на основі британського стандарту. Водночас, особливо в країнах з великою часткою в загальному електроенергобалансі складових гідроелектроенергетики і ядерної електроенергетики, отримують розповсюдження системи з нагрівальними кабелями. Практика показала, що їх перевагою порівняно з водяними системами є менші капітальні та експлуатаційні витрати. Тобто, системи не мають електрокотлів-бойлерів і баків-накопичувачів, у них відсутня профілактика водяної системи, вони надійніші, мають меншу матеріалоемність.

¹ Виключаючи, природно, випадки домогосподарств елітного класу, в яких опалення підлоги майже в обов'язковому порядку доповнює основну систему для обігріву підлог ванних, дитячих та ігрових кімнат.

Енергоощадний аспект технологій ППО зараз став широко відомим, з одного боку, серед великої кількості студентів [4, 5, 11], а з іншого, – серед будівельників [12]. Потенціал енергоощадності технологій, що розглядаються, може бути суттєво підвищеним за рахунок використання інших енергозберігаючих заходів, у тому числі теплоакumuлюючих вентиляторів, широкого застосування автоматичних приладів обліку і керування мікрокліматом, відповідно до комп'ютерної програми керування та стану навколишнього середовища. Технології теплоакumuляційного обігріву є у списку заходів з енергозбереження, які рекомендуються відповідними програмами енергетичного менеджменту у ЖПК і АПК, а також відповідають комплексу вимог «Енергетичної стратегії України до 2030 р.». Враховуючи, що з усієї кількості енергії, яка споживається в Україні, близько 50 % її споживається у вигляді електроенергії [13], саме раціональному використанню електроенергії необхідно надавати великої ваги. Технологія теплоакumuляційного обігріву розвивається не на пустому місці. Сьогодні з цього питання накопичено достатньо матеріалів, які потребують окремої роботи з аналізу та узагальнення.

В огляді, що наводиться нижче, узагальнюється науково-технічна і патентна документація щодо існуючих технічних засобів і методів електрообігріву взагалі і електротеплоакumuляційного обігріву зокрема, що необхідно для вибору напрямів дослідження. Увага зверталася, головним чином, на системи з прямим перетворенням електричної енергії в теплову (за законом *Джоуля – Ленца*). Крім того, розглядаються окремі групи технологій на базі трансформації електричної енергії в теплову (в теплових насосах, теплоакumuлюючих приладах опалення з високотемпературною серцевиною тощо).

Зауваження термінологічного характеру. Часто поняття «обігрів», «обігрівання» і «опалення» ототожнюються. Зазвичай термін «обігрівання», «опалення» застосовується для об'єктів житлово-комунального господарства; термін «обігрів» має більшу сферу застосування, яка включає також об'єкти промислового та агротехнологічного призначення. Ми будемо вважати усі терміни приблизно рівнозначними. Як одиниця впровадження новітніх технологій електротеплоспоживання у ЖКК використовується поряд із терміном «квартира», «будинок» синонімічне поняття «домогосподарство», яке є зручним для визначення соціально-економічних аспектів впровадження електроопалення. *Домогосподарство* є сукупністю осіб, які разом проживають в одному житловому приміщенні або його частині, забезпечують себе всім необхідним для життя, ведуть спільне господарство, повністю або частково об'єднують та витрачають кошти (стаття 1 Закону України «Про Всеукраїнський перепис населення»).

1.2. Сучасний стан розповсюдження технологій електротеплопостачання

Першим питанням, яке постає при аналізі проблем електрообігріву, є питання про його сучасне розповсюдження. Але у цілому про сьгоднішній рівень розповсюдження технологій електротеплопостачання судити за офіційними даними важко, бо у статистичних даних відсутня графа «кількість теплової енергії, яка виробляється шляхом трансформації електричної енергії». Причиною є те, що її частка у загальному теплозабезпеченні України знаходиться нижче рівня, на якому цей показник може вважатися суттєвим для офіційної статистики. Але все ж таки досвід використання електроенергії є. Мінпаливом було проведено анкетування усіх обленерго щодо використання електрообігріву для електрифікації побуту. Його результати в обробленому вигляді демонструє табл. 1.1, 1.2. Табл. 1.2 містить відомості, ранжировані за потужністю, кількістю будинків та квартир, закладів соціальної сфери (з системами опалення потужністю вище 100 кВт і до 100 кВт).

**Упровадження електрообігріву в облenerго України
(станом на 01.08.05, згідно з офіційно оформленими дозволами) [13]**

Код області	Назва облenerго	Житлові будинки та квартири		Заклади соціальної сфери > 100 кВт		Інші заклади соціальної сфери		Загальна потужність, кВт/%
		кількість, шт.	загальна потужність, кВт/%	кількість, шт.	загальна потужність, кВт/%	кількість, шт.	загальна потужність, кВт/%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Запоріжжяоблenerго	1075	6214 12,29	21	5752,6 11,38	217	38591,4 76,33	50558 100
9	Київоблenerго		0,00		0,00	4773	29535,92 100	29535,9 100
5	Житомироблenerго	2791	19001 69,47		0,00	344	8349 30,53	27350 100
1	Вінницяоблenerго	1963	11778 85,93		0,00	71	1929 14,07	13707 100
15	Одесаоблenerго		3769 33,67	4	3270,8 29,22	108	4152,97 37,10	11192,8 100
16	Полтаваоблenerго	464	4511 47,78		0,00	485	4931 52,22	9442 100
18	Рівнеоблenerго	1243	6089,5 74,44		0,00	47	2091 25,56	8180,5 100

НТБ ВНТУ
М. Вінниця

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	Черкасиобленерго	1339	7453 95,02			21	391 4,98	7844 100
12	Луганськенерго		0,00	7	1901,47 25,07	324	5683,42 74,93	7584,89 100
26	Чернівціобленерго	380	2746,5 37,36	18	3855 52,45	12	749 10,19	7350,5 100
3	Дніпрообленерго	627	3274,5 58,65	3	947,6 16,97	367	1360,8 24,37	5582,9 100
24	Хмельницькобленерго	85	243 4,70			303	4927 95,30	5170 100
10	Кіровоградобленерго	1840	2407,57 51,44	2	852 18,20	103	1421 30,36	4680,57 100
22	Харківобленерго		0,00	14	3023,4 66,59	84	1516,6 33,41	4540 100
4	Донецькобленерго	5	19,8 0,69	3	1120 39,21	108	1716,7 60,10	2856,5 100
27	Чернігівобленерго	229	1460 51,14			14	1395 48,86	2855 100
14	Миколаївобленерго	138	476 16,71	6	1525,3 53,55	61	847,3 29,74	2848,6 100
13	Львівобленерго		0,00	5	690 29,52	39	1647,5 70,48	2337,5 100%
11	Крименерго	84	422 19,82	3	555,45 26,09	115	1151,3 54,08	2128,75 100%

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Волинсьобленерго	48	479 24,44	3	740 37,75	32	741,2 37,81	1960,2 100%
21	Тернопільобленерго	22	170,5 8,89			35	1746,6 91,11	1917,1 100%
23	Херсонобленерго	85	967,5 66,26	1	120 8,22	17	372,65 25,52	1460,15 100%
6	Закарпаттяобленерго	24	50 10,53			9	425 89,47	475 100%
17	Прикарпаттяобленерго					115	346,1 100	346,1 100%
19	Севастопольенерго					21	248,5 100	248,5 100%
8	Київенерго					10	88,2 100	88,2 100%
20	Сумиобленерго	2	15 46,88			2	17 53,13	32 100%
	Усього	12 444	71546,99 33,7%	90	24353,73 11,5	7837	116 373 54,8	212 273 100

Розподіл потужностей (кВт) та видів споживачів електрообігріву в областях України [13]

Код області	Назва обленерго	Загальна потужність, кВт	Код області	Назва обленерго	Житлові будинки та квартири, кВт	Код області	Назва обленерго	Заклади соцсфери >100 кВт	Код області	Назва обленерго	Заклади соцсфери <100 кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	Запоріжжяобленерго	50 558,0	5	Житомиробленерго	19001	7	Запоріжжяобленерго	5 753	7	Запоріжжяобленерго	38 591,4
9	Київобленерго	29 535,9	1	Вінницяобленерго	11778	26	Чернівціобленерго	3 855	9	Київобленерго	29 535,9
5	Житомиробленерго	27 350,0	25	Черкасиобленерго	7453	15	Одесаобленерго	3 271	5	Житомиробленерго	8 349,0
1	Вінницяобленерго	13 707,0	7	Запоріжжяобленерго	6214	22	Харківобленерго	3 023	12	Луганське енерго	5 683,4
15	Одесаобленерго	11 192,8	18	Рівнеенерго	6089,5	12	Луганське енерго	1 901	16	Полтаваобленерго	4 931,0
16	Полтаваобленерго	9 442,0	16	Полтаваобленерго	4511	14	Миколаївобленерго	1 525	24	Хмельницькобленерго	4 927,0
18	Рівнеенерго	8 180,5	15	Одесаобленерго	3769	4	Донецькобленерго	1 120	15	Одесаобленерго	4 153,0
25	Черкасиобленерго	7 844,0	3	Дніпрообленерго	3274,5	3	Дніпрообленерго	948	18	Рівнеенерго	2 091,0
12	Луганське енерго	7 584,9	26	Чернівціобленерго	2746,5	10	Кіровоградобленерго	852	1	Вінницяобленерго	1 929,0
26	Чернівціобленерго	7 350,5	10	Кіровоградобленерго	2407,57	2	Волиньобленерго	740	21	Тернопільобленерго	1 746,6
3	Дніпрообленерго	5 582,9	27	Чернігівобленерго	1460	13	Львівобленерго	690	4	Донецькобленерго	1 716,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	Хмельницькобленерго	5 170,0	23	Херсонобленерго	967,5	11	Крименерго	555	13	Львівобленерго	1 647,5
10	Кіровоградобленерго	4 680,6	2	Волиньобленерго	479	23	Херсонобленерго	120	22	Харківобленерго	1 516,6
22	Харківобленерго	4 540,0	14	Миколаївобленерго	476	9	Київобленерго		10	Кіровоградобленерго	1 421,0
4	Донецькобленерго	2 856,5	11	Крименерго	422	5	Житомиробленерго		27	Чернігівобленерго	1 395,0
27	Чернігівобленерго	2 855,0	24	Хмельницькобленерго	243	1	Вінницяобленерго		3	Дніпрообленерго	1 360,8
14	Миколаївобленерго	2 848,6	21	Тернопільобленерго	170,5	16	Полтаваобленерго		11	Крименерго	1 151,3
13	Львівобленерго	2 337,5	6	Закарпаттяобленерго	50	18	Рівнеенерго		14	Миколаївобленерго	847,3
11	Крименерго	2 128,8	4	Донецькобленерго	19,8	25	Черкасиобленерго		26	Чернівціобленерго	749,0
2	Волиньобленерго	1 960,2	20	Сумиобленерго	15	24	Хмельницькобленерго		2	Волиньобленерго	741,2
21	Тернопільобленерго	1 917,1	9	Київобленерго		27	Чернігівобленерго		6	Закарпаттяобленерго	425,0
23	Херсонобленерго	1 460,2	12	Луганське енерго		21	Тернопільобленерго		25	Черкасиобленерго	391,0
6	Закарпаттяобленерго	475,0	22	Харківобленерго		6	Закарпаттяобленерго		23	Херсонобленерго	372,7
17	Прикарпаттяобленерго	346,1	13	Львівобленерго		17	Прикарпаттяобленерго		17	Прикарпаттяобленерго	346,1
19	Севастопольенерго	248,5	17	Прикарпаттяобленерго		19	Севастопольенерго		19	Севастопольенерго	248,5
8	Київенерго	88,2	19	Севастопольенерго		8	Київенерго		8	Київенерго	88,2
20	Сумиобленерго	32,0	8	Київенерго		20	Сумиобленерго		20	Сумиобленерго	17,0
Усього		212 273	Усього		71 547	Усього		24 354	Усього		116 372

Як свідчать наведені матеріали, найвищі показники споживання електроенергії для житла і соціальних об'єктів в Україні спостерігаються у Запорізькій області. Потім ідуть Київська, Житомирська, Вінницька, Одеська області. Але якщо дані розташувати у порядку споживання електроенергії для опалення тільки житла, то рейтинг складуть Житомирська, Вінницька, Черкаська, Запорізька, Рівненська області. За використанням електрообігріву для об'єктів соціальної сфери області розташовуються таким чином: Запорізька, Чернівецька, Одеська, Харківська, Луганська (заклади, які споживають більше 100 кВт) і Запорізька, Київська, Житомирська, Луганська, Полтавська (із закладами, які споживають менше 100 кВт).

Ці дані показують, що областями з найбільш електрифікованим теплопостачанням в Україні є Запорізька і Житомирська області. Обидві області знаходяться у енергорайонах дії усіх наявних в Україні АЕС. Використовуються існуючі системи водяного опалення, що первинно базувалися на вогневих печах. Замість них, за інформацією інституту «Укрсіленергопроект», використовуються електрокотли потужністю 6-9 кВт типу ЕВ-9, БАЕ-0,2, ЕПВ-10, ЕПВ-15, ЕВ-Ф-15; резисторні котли типу ЕКП-6; серійні водонагрівачі САОС-400, ВЕП-600 тощо. Інколи використовуються акумуляційні печі, електрокабельний обігрів підлоги, стін, електронагрівальні панелі типу ПЕБ-0,4/73, ПЕБ-0,75/110, панельно-промисловий обігрів та інше електротеплове обладнання.

Загалом, показник встановлених потужностей електротеплопостачання в Україні не перевищує 0,5 % від навантажень ОЕС. Цей відсоток є занадто малим для такої країни, як Україна. Для порівняння, у розвинутих країнах ця частка вимірюється десятками відсотків.

1.3. Методологія децентралізованого теплопостачання на базі електрообігріву

Концептуальні та технічні питання електрообігріву у першу чергу були поставлені для електротеплозабезпечення села, як для підприємств АПК, так і щодо електроопалення житла і господарств. Територіально розсіяні споживачі для задоволення потреб у тепловій енергії змушені будувати і експлуатувати невеликі котельні, а окремі домогосподарства – вогневі печі. У такому випадку, крім підвищених трудових і амортизаційних витрат, виникають додаткові проблеми, пов'язані з доставкою палива. На відміну від обігріву за допомогою паливних теплогенераторів, електрообігрів характеризується компактністю; меншими капітальними і експлуатаційними витратами (особливо, якщо порівняти вклади в електромережу і витрати на прокладання теплотрас, їх обслуговування та ремонт); більшою надійністю і пожегобезпечністю, відсутністю витрат на газоочищення (внаслідок відсутності продуктів горіння); більшою енергетичною ефективністю (тому що енергія виділяється безпосередньо у робочому просторі); можливістю більш точного регулювання показників мікроклімату. Як відомо, розвиток електротеплоакумуляційного обігріву дозволяє зменшити витрати на запуски та зупинки маневрових енергоблоків, тобто підвищити коефіцієнти використання електрогенеруючих потужностей та ущільнити графік навантаження ОЕС.

Перелічені обставини спонукають до пошуку та розвитку систем електроакумуляційного теплозабезпечення і формують методологію системи децентралізованого теплопостачання (СДТ) на базі електрообігріву.

Питання електрообігріву сільських житлових будинків були ретельно розглянуті в циклі робіт початку 90-х років минулого століття. Ці роботи було виконано відповідно до закону про пріоритетний розвиток села (Постанова Кабінету Міністрів України від 4 липня 1991 р. № 72 і Наказ Міненерго України від 23 липня 1991 року № 45). Скорис-

таємося статтями [14-21], насамперед, програмними публікаціями В.Г. Стафійчука, С.Я. Меженного [14, 15], у яких найбільш повно освітлено передумови і результати першої спроби масштабного упровадження електрообігріву в Україні. Зазначеними вище директивними документами планувалося до 1995 р. перевести на електрообігрів 280 тис. будинків, а до 2000 р. – 800 тис. будинків у сільській місцевості. Це вимагало збільшення вдвічі усього сільського побутового електроспоживання, тобто вимагало понад 10 млн. кВт додаткових генеруючих потужностей і відповідного збільшення пропускної здатності електричних мереж. Однак практичне втілення цих планів за-трималося мінімум на 15 років. Причиною були не тільки економічні труднощі, обумовлені системною кризою в Україні як у країні з перехідною економікою, але і дією багатьох суперечливих факторів. Виявилось, що з усіх дефіцитів найбільш стійким є дефіцит генеруючих потужностей (закордонний досвід застосування електроенергії на побутовий дефіцит зумовлений, насамперед, наявністю вільних генеруючих потужностей і запасом пропускної здатності мереж), а також провідникових матеріалів і устаткування для докорінної реконструкції електричних мереж.

У той же час, з огляду на важливість забезпечення одержання сільськогосподарської продукції (через стратегічне значення продовольчої проблеми), а також зважаючи на незабезпеченість сільських жителів паливом та відсутність елементарних побутових умов, зрозуміло, що інженерна облаштованість села є пріоритетним питанням. Шляхами модернізації є газифікація і/або електрифікація побутових технологій, включаючи обігрів приміщень, гаряче водопостачання, приготування їжі. Електроенергія як енергоносіє має ряд безперечних переваг, до яких належать: відносно легке транспортування і підведення до кожного розсоередженого споживача, зручність регулювання, екологічна чистота і простота використання. Тому переваги електроенергії при виборі енергоносія для села у наявних умовах можуть вивести її на перше місце.

Техніко-економічні розрахунки демонструють безумовну доцільність застосування природного газу для обігріву в середніх і великих населених пунктах. Економічна доцільність застосування електроенергії для теплових потреб не є настільки очевидною і є далеко не безумовною. Однак різке підвищення цін на природний газ, що відбулося у січні 2006 р., змушує ще раз, через 15 років, звернутися до електроопалення.

Цінність першої спроби тотальної електрифікації сільського побуту полягала також у проведенні щонайменше дворічного експерименту з установленням пільгових тарифів. При дії тарифу 1 коп./кВт·год сільське побутове електроспоживання зросло на 60 %, а у виробничому секторі – усього на 3 % - 5 %.

При виборі електроенергії як базового енергоносія авторами [15] було виділено чотири групи питань, що цілком зберегли свою актуальність і зараз:

- системи і пристрої електротеплозабезпечення (ЕТЗ) сільських житлових будинків;
- системи електропостачання сільських населених пунктів з урахуванням застосування ЕТЗ у житлових будинках;
- системи прямого і непрямого (за допомогою тарифів) керування ЕТЗ і обліком електроенергії;
- принципи обґрунтування і вибору зон доцільного застосування електроенергії для електротеплозабезпечення.

До першої групи питань належить розробка систем електротеплозабезпечення сільських житлових будинків. У сфері проектування систем електропостачання сільських населених пунктів інститутом «Укрсіленергопроект» вирішено ряд питань методичного характеру.

Насамперед розробляється концепція розвитку сільських електричних мереж з урахуванням навантажень електропостачання¹. Відповідно до цих вказівок, з огляду на відсутність точної інформації про навантаження, а також можливість різночасного придбання опалювальних систем, електричних печей для приготування їжі і електроводонагрівачів, передбачено наступний порядок проектування сільських електричних мереж.

За відсутності даних про навантаження розраховується трифазна мережа 0,38 кВ максимальної довжини при виконанні її проводом АС-95 і навантаженнях до 4 кВт на кожен будинок. Потужність трансформатора 10/0,4 кВ вибирається відповідно до навантажень споживачів на лініях, що приєднуються. На лінії 0,38 кВ через 300-400 м встановлюються секціонуючі пункти. Надалі при зростанні електричних навантажень проводиться тільки заміна трансформаторів на існуючих ТП 10/0,4 кВ і будуються нові ТП з переключенням частини споживачів з готовими ділянками мереж на ці ТП 10/0,4 кВ (вводиться поняття мережі, що адаптується до зміни навантажень).

У другій групі питань розроблено і затверджено методичні вказівки з розрахунку електричних навантажень сільських житлових будинків з електротеплозабезпеченням. Проведено оцінку (за методикою ЕНІН імені Г.М. Кржижанівського) ефективності застосування електроенергії порівняно з іншими енергоносіями (вугілля, газ, дрова) для електротеплозабезпечення житлових будинків. Встановлено, що при цінах на енергоносії й устаткування, що існували у 1990 р., електроенергія є ефективною для населених пунктів із кількістю будинків, що не перевищує 25. Розроблено проект типового застосування електротеплозабезпечення сільського житлового будинку з використанням електротеплоакумулюючих печей ПО «Запоріжтрансформатор».

У 1992 р. мали бути переглянуті обласні схеми розвитку сільських електричних мереж 35/10 кВ з урахуванням електротеплозабезпечення житлових будинків. Щодо *третьої групи питань* – розробки систем прямого і непрямого (за допомогою тарифів) керування системами ЕТЗ і обліку електроенергії, то Київський політехнічний інститут (КПІ) довів до серійного випуску систему телекерування споживачами за радіоканалом і двотарифною приставкою до лічильника електроенергії.

Усі роботи з ЕТЗ сільських житлових будинків повинні бути базуватися на обґрунтованих схемах електротеплозабезпечення сільських районів, що належать до *четвертої*, найменш розробленої групи питань. Основна частина такої роботи мала виконуватися інститутами НАН України.

Подальший розвиток електропостачання села з урахуванням електрообігріву житлових будинків повинен відбуватися у напрямку зниження собівартості передачі електроенергії і збільшення прибутків енергосистеми. Це повинно здійснюватися насамперед за рахунок реалізації енергозберігаючої політики в системах ЕТЗ сільських житлових будинків, що призведе до зниження розрахункових навантажень, а отже, і витрат на вироблення і передачу електроенергії. Для цього необхідно оцінити електричні навантаження ЕТЗ існуючих і перспективних типів житлових будинків у сільській місцевості. Необхідно зіставити варіанти акумулюючих систем ЕТЗ, що працюють з індивідуальними нагрівниками в кожному приміщенні, і систем централізованого водяного опалення з баком-акумулятором, що працюють у вільному режимі. Розрахункові електричні навантаження, побудовані на питомих теплових навантаженнях, будуть залежати від теплоізоляційних властивостей будинків. Тому для зменшення електричних навантажень доцільно розглянути питання про поліпшення тепло-

¹ До цього часу реалізована у вигляді «Тимчасових вказівок з принципів побудови сільських електричних мереж Міненерго України з урахуванням навантажень електротеплозабезпечення».

ізолюючих властивостей будинків (підвищення термічного опору огорожі, перегляд розрахункових температур, раціональне сполучення систем ЕТЗ із дублюючими резервними вогневими печами). Крім того, варто розглянути питання проектування енергоактивних будинків, де системи електроопалення і гарячого водопостачання були б пов'язані з теплосистемами гарячого водопостачання і теплових насосів.

Установка індивідуальних нагрівачів у кожній кімнаті дасть можливість за рахунок децентралізованого регулювання температури заощаджувати електроенергію. Крім того, такі системи, порівняно з централізованими системами водяного опалення, будуть мати значно меншу металоємність.

При переході до ринкових відносин у процесі проектування сільських мереж з навантаженнями ЕТЗ видається доцільним розглядати техніко-економічні показники системи «мережа – споживач», оскільки значні електротеплові навантаження будуть визначати режими роботи сільських електричних мереж, споживач буде зацікавлений в оцінці вартості теплової енергії та гарячої води, одержуваної від електротеплових систем порівняно з традиційними системами, а енергосистема буде зацікавлена в оцінці прибутку, який отримає при упровадженні в її зоні систем електротеплозабезпечення сільськогосподарських споживачів. Для уникнення протиріч між постачальником і споживачем електроенергії потрібен тариф, який би стимулював споживача і забезпечував енергосистемі необхідний прибуток.

При розгляді системи «мережа-споживач» з електротеплозабезпеченням необхідно досліджувати зміну режимів роботи розподільних і системоутворюючих мереж та дати пропозиції з розробки нових конструкцій електроустаткування мереж.

Таким чином, ефективний розвиток системи електропостачання села з урахуванням електропостачання житлових будинків є можливим при вирішенні таких питань [15]:

- вивчення шляхів і способів зниження витрат тепла на опалення житлових будинків, і, як наслідок, зниження електротеплових навантажень;
- розробка і проектування енергоекономічних і енергоактивних житлових будинків у сільській місцевості з розвинутими інженерними системами на базі синтезу електротеплоустановок і поновлюваних джерел енергії;
- випереджаючий розвиток сільських електричних мереж щодо збільшення навантажень, у тому числі електротеплових;
- проектування сільських електричних мереж разом із системами керування електричними навантаженнями;
- виконання енергосистемами робіт з установки в технічному обслуговуванні систем електротеплозабезпечення;
- координація дій з розвитку газових і електричних мереж у сільській місцевості;
- розробка комплексних програм енергопостачання.

У статті підкреслювалося, що для вирішення наявних проблем та усунення протиріч між постачальником електроенергії та споживачем необхідні скоординовані зусилля всіх організацій Міненерго, Мінсільгоспу, Академії наук і Мінекономіки України на базі державної програми планованого (керованого) упровадження систем електротеплозабезпечення в сільській місцевості і розвитку сільських електричних мереж.

У статті [20] найбільш докладно продемонстровано необхідність розробки вітчизняних електроакумуляційних систем теплопостачання (зосередженої дії) у побуті, ЖКК, АПК. Ця необхідність визначається сучасною структурою енергопостачання, зміною цін на традиційні види палива, через що зростають вимоги до споживчих властивостей інженерного устаткування. Ідея централізованого теплопостачання без еко-

номічного обґрунтування часто поширюється на райони малоповерхової забудови в містах і сільській місцевості, де широко практикується будівництво котелень з теплопродуктивністю, нижчою за 10 Гкал/год (12 МВт), що мають коефіцієнт використання палива, нижчий за 0,5, а при постачанні несортного палива навіть 0,2–0,3. ПО «Запоріжтрансформатор» розроблено і серійно випускається система електротеплозабезпечення сільських житлових будинків на базі акумуляційних печей із твердим накопичувачем (ТАЕП). Більш докладно вона розглядається нижче.

Досвід експлуатації ТАЕП показав, що одним із можливих шляхів підвищення техніко-економічних показників систем електроопалення є використання акумуляційних приладів, що накопичують резервне тепло в періоди спаду електричних навантажень енергосистем, насамперед уночі. Застосування подібних конструкцій дозволить підвищити ефективність роботи енергосистем, заощадити рідке паливо (мазут, дистилат) і трудові ресурси.

Найважливішою умовою надійної роботи енергосистеми є можливість здійснювати гнучке регулювання режиму виробництва електроенергії відповідно до графіка її споживання. Проблема добового регулювання в енергосистемах, в основі паливно-енергетичного балансу яких знаходяться ТЕС і АЕС, є вкрай актуальною для енергетиків, позаяк резерви регулювання на сьогодні цілком вичерпані. Нерівномірність добових графіків навантаження ОЕС, за даними ЦДУ та інституту «Енергомережпроект», буде збільшуватися, а витрати потужності за умови введення гідроакумулюючих станцій із зарядкою 17,1 млн. кВт*год і промислових споживачів-регуляторів із загальною потужністю 12,4 млн. кВт будуть досить значними. Для ОЕС узимку нічне зниження навантаження буде складати орієнтовно 12 млн. кВт.

Розподільні електричні мережі системного значення із напругою 110 кВ і вище, як правило, мають графік навантаження, близький до графіка навантаження енергосистем, а їх пропускна здатність у нічні години має значні резерви. Таким чином, виникає можливість використання позапікової електроенергії для систем електроопалення житлових будинків. Автором сформульовано проблеми, які необхідно вирішити, аби запровадити використання нічної електроенергії для опалення [20]:

- розробка й організація виробництва побутового електротермічного устаткування (електротеплогенераторів, теплових акумуляторів, приладів контролю та автоматики і т. д.);
- створення економічних передумов для стимулювання застосування електроенергії на опалення, зокрема встановлення економічно обґрунтованого тарифу на «позапікову» електроенергію;
- створення та освоєння випуску нових надійних і дешевих вітчизняних матеріалів (акумулюючі та теплоізоляційні вироби з високими тепловими характеристиками);
- відсутність налагодженого сервісу в енергетиці у поєднанні з низькою якістю енергетичного устаткування і мереж у сільській місцевості роблять українським скрутним оперативне обслуговування споживачів у віддалених районах;
- відсутність державної програми з розробки цілого комплексу інженерного енергетичного устаткування для сільського господарства в контакті енергозбереження.

Частина проблем, що сформульовані у статті [20], зараз, через 15 років, можна вважати вирішеними. Зокрема це питання щодо серійного випуску теплоізоляції з високими теплоізоляційними характеристиками, надійних і простих приладів контролю

й автоматики. З'явилися доступні багатотарифні лічильники та інше устаткування позапікового включення, що дозволяє легко встановлювати в кожному окремому будинку автономну систему керування.

У статті [21] електроопалення сільських будинків розглядається як засіб соціальної перебудови села. Ця публікація багатьма своїми положеннями перегукується з уже розглянутою статтею [15]. У сільській місцевості України постійно ускладнюється демографічна ситуація. Щорічно протягом останніх 19-ти років кількість населених пунктів зменшувалася на 130 сіл (на 2 села щотижня).

Головною причиною міграції є незадовільні умови праці та побуту, відсутність нормальної інфраструктури – газифікації, транспортного обслуговування тощо.

Електроозброєність сільського трудівника майже у 7 разів нижча, ніж у робітників промисловості (4,3 тис. кВт•год/рік порівняно з 28 тис. кВт•год/рік), а побутове споживання електричної енергії у 3 рази менше, ніж у міського мешканця.

Виробляючи наприкінці ХХ ст. більше третини валового національного продукту України, сільське господарство споживало тоді відповідно 9,7 % електроенергії і 6,8 % газу від загального об'єму їх споживання в Україні. У сільському господарстві в 1990 р. використано 25,9 млрд. кВт•год електроенергії, у тому числі в побуті – 6,8 млрд. кВт•год. Електроенергія в сільських будинках використовується переважно для освітлення і живлення електропобутових приладів.

Постанова КМ України «Про газифікацію сільських населених пунктів та збільшення використання електричної енергії на побутові потреби села» визначала основні напрямки соціальної перебудови села і розвитку сільськогосподарського виробництва на базі широкого використання електроенергії і природного газу. Ця постанова є складовою частиною республіканської програми відродження села і вирішення продовольчої програми.

Розвиток газифікації та електроенергетики безпосередньо впливає на підвищення рівня життя і ефективності економічного зростання, у тому числі на продуктивність праці, ресурсозбереження, виробниче, побутове і природне середовище проживання. У більшості стаціонарних процесів виробництва і побуту села немає альтернативи застосуванню електроенергії. Досвід передових господарств із прогресивною технологією та чіткою організацією виробництва засвідчує високу ефективність застосування електричної енергії і газу. У багатьох технологічних процесах споживання 3 кВт•год приносить ефект 10 коп., при цьому забезпечується зростання продуктивності праці у 2–2,5 рази, і зменшуються витрати на виробництво продукції в 1,5 рази.

Соціальна роль електрифікації полягає в поліпшенні умов праці трудівників сільськогосподарського виробництва, піднесенні загальної культури, створенні таких умов життя на селі, які не поступалися б соціально-побутовим умовам у місті.

Низький рівень комплексної електромеханізації сільськогосподарських виробничих процесів є однією з головних причин великих витрат праці на виробництво одиниці продукції.

Рациональне й ефективне використання енергоресурсів вимагає [21]:

- проведення ефективних енергозберігаючих заходів, які включають упровадження пооб'єктного обліку електроенергії (із забезпеченням електrolічильниками), системи пільг і заохочень за економію енергії;
- підвищення технічного рівня електротехнічного і теплотехнічного обладнання, а також систем електро- і теплопостачання;
- упровадження теплоутилізаційних систем і теплових насосів в енергоємних процесах сільськогосподарського виробництва і побуту;

- розробки раціональних схем енергопостачання для регіонів країни за об'ємами і видами енергоносіїв;
- здійснення проектування і спорудження сільських будівель із поліпшеною теплоізоляцією, що зменшує тепловитрати в 1,3–1,5 рази і таким чином знизити споживання електроенергії в середньому на опалення одного будинку з 18 тис. кВт•год до 10 тис. кВт•год/рік;
- розробки і широкого впровадження обладнання для використання нетрадиційних джерел енергії (відновлювальних і вторинних енергоресурсів) з метою заміни органічного палива.

Нагальність багатьох пропозицій збереглася. Наприклад, доречною видається пропозиція запровадити пільгове оподаткування фондів споживання на прибуток від виробництва спеціалізованого електрозберігаючого обладнання для села, а також робіт з будівництва, реконструкції і експлуатації електричних мереж, установок та інших об'єктів електропостачання на селі.

1.4. Досвід використання сучасного децентралізованого теплопостачання на базі прямого електрообігріву

Електроопалення в умовах, коли ніякий інший вид опалення не може бути використаним. Є ряд випадків, коли електроопалення є єдиним доступним видом опалення. Наприклад, у тих віддалених регіонах або районах, де система централізованого теплопостачання (СЦТ) не можлива, а СДТ виявляється майже єдиною можливістю одержати якісні послуги з опалення, гарячого водопостачання, приготування їжі. Прикладом може бути один із об'єктів муніципальної теплової мережі в Мурманській області РФ [22], де ефективність електроопалення в декілька разів вища, ніж будь-яка інша технологія теплопостачання. Інша робота [23] розглядає досвід будівництва в історичному кварталі (практично – у самому центрі) м. Петрозаводська (Карелія) будинків із сучасним рівнем комфорту, надійності, ефективності. У результаті аналізу різноманітних проектів було прийнято рішення відмовитися від центрального теплопостачання та облаштувати кожен будинок експериментального кварталу (2 адміністративних будинки середньої поверховості, 5 житлових будинків, які складаються з блокованих секцій-квартир на трьох рівнях-поверхах: 1-ий поверх – гараж 18 м², комора, міні-електрощитова, технічні приміщення, передпокій, одна житлова кімната; 2-ий поверх – кухня, вітальня 20–23 м², гостьовий санвузол; 3-й поверх – 2 спальні по 16–18 м² та санвузол) системою індивідуального електроопалення. Кожна квартира має ввідно-розподільний пристрій, який забезпечує функціонування системи опалення, гарячого водопостачання (ГВП), освітлення тощо. Електроспоживання на кожную квартиру навіть у найбільш холодну п'ятиденку $t_{\text{розра}} = -29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для багатьох міст Східної України $t_{\text{розра}} = -26\text{ }^{\circ}\text{C}$) складало менше ніж 6 кВт•год. Стверджується, що питоме навантаження у цих будинках складало замість звичних 80 Вт•год/м² тільки 40 Вт•год/м². Було використано прямий електрообігрів – за допомогою електроконвекторів «Вармос» (Фінляндія). За рахунок електроопалення та інших технологій енергозберігання вартість житла знизилася у два рази. Було подолано психологічний бар'єр щодо нових інженерних рішень.

Необхідність переходу від централізованої системи теплопостачання до децентралізованих електричних систем підтверджується матеріалами центру «Інновації високіх технологій». Пропозиція центру була підготована за результатами моніторингу теплових мереж Мурманської області – регіону, де було напрацьовано великий досвід з впровадження енергозберігаючих систем електричного опалення.

Як приклад можна навести ситуацію з одним із об'єктів муніципальної теплової мережі в Мурманській області, на якому в 1999 році був проведений енергоаудит. Він показав, що загальний к.к.д. усієї теплової мережі склав усього 2 %. Стара котельня передавала тепло до об'єкта старою теплотрасою завдовжки кілька кілометрів. Таким чином, для одержання у квартирі 2 кВт*год тепла спалювали 100 кВт*год палива. Зрозуміло, якими є економічні показники системи і тариф на тепло, що відбиває такі витрати.

Термін окупності об'єктів, переведених у цьому регіоні на електричне опалення, склав не більше одного опалювального сезону. Ідеться не тільки про адміністративно-побутові і приватні будинки, але і про великі промислові об'єкти з установленою тепловою потужністю, більшою за 1 МВт, тобто про інфрачервоне електричне опалення цехів Мурманської судноверфі потужністю 1,2 МВт і електричне опалення підземного рудника АТ «Апатит» з тепловою потужністю 6 МВт. При здійсненні проєкту було доведено їх економічну доцільність (економія умовного палива та економія експлуатаційних витрат). Покажемо на конкретному прикладі, як здійснюється економія.

К.к.д. ТЕЦ (перетворення енергії палива на теплову енергію) не перевищує 45 %. Аудиторські фірми вказують на втрати у теплотрасах у межах 35–40 %. Крім того, при значній довжині традиційних теплотрас найчастіше виникає необхідність у проміжному підігріві, тобто в установці проміжних бойлерних. Отже, відсоток тепла, що доходить до споживача, складає 9,4 % (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Втрати палива при використанні базового варіанту

Технологічна операція	Корисне тепло, т.у.п	Втрати тепла, т.у.п
Завезено на ТЕЦ	100	–
Перероблено на тепло 45 %	45	55
Втрати на передачу бойлеру 30 %	31,5	68,5
Втрати в бойлері 55 %	14,1	85,9
Втрати при доставці споживачу 30 %	9,4	90,1

Якщо використовувати ТЕЦ тільки для виробництва електроенергії, можна підвищити коефіцієнт використання палива до 55–60 %. Також можна проміжні бойлери на паливі замінити електричними бойлерами, що живляться по ЛЕП від ТЕЦ. При цьому розведення тепла від бойлерів до споживача зберігається в колишньому варіанті – по теплотрасі. У такій схемі при скороченні довжини трас на половину втрати палива знизилися з 90,1 до 61,3 т.у.п, тобто на 28 % (табл. 1.4), к.к.д. таких систем зріс з 9,4 % до 38,7 %. При цьому електричні бойлери не створюють екологічних проблем.

Таблиця 1.4

Втрати палива при використанні електричних бойлерів (варіант централізованого по теплотрасах теплопостачання)

Технологічна операція	Корисне тепло, т.у.п	Втрати тепла, т.у.п
Завезено на ТЕЦ	100	–
Перероблено на електроенергію 60 %	60	40
Втрати в ЛЕП до бойлера 3 %	58,2	41,8
Втрати в електробойлері 5 %	55,3	44,7
Втрати в теплотрасі при доставці споживачу 30 %	38,7	61,3

І, нарешті, схема при повній відмові від теплових магістралей та при переведенні споживачів на індивідуальні електричні генератори тепла. У цьому випадку втрати на лінійних електропередачах складуть лише 3 %. Електроенергія перетвориться в тепло з к.к.д. перетворення 95–98 % – це коефіцієнт потужності будь-якого резистивного нагрівача. У результаті втрати відбуваються тільки на ТЕЦ, к.к.д. такої схеми складає вже 58,2 % (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Втрати палива при використанні індивідуальних електричних генераторів тепла

Технологічна операція	Корисне тепло, т.уп	Втрати тепла, т.уп
Завезено на ТЕЦ	100	–
Перероблено на електроенергію 60 %	60	40
Втрати в ЛЕП до споживача 3 %	58,2	41,8

Таким чином, при порівнянні даних табл. 1.3–1.5 впливає, що якщо у якості основного енергоносія буде використовуватися електроенергія, то без залучення нових енергетичних потужностей з’являються резервні запаси палива (50–52 %). Електроенергія як енергоносіє має втрати на передачу до споживача, швидке перетворення електроенергії на тепло і головне – цей вид палива є екологічно безпечним. Використання електроенергії є також одним із варіантів вирішення проблем, пов’язаних як із житлово-комунальною, так і з промисловою тепловою енергетикою в цілому, тим більше, що технічних засобів для цього на ринку вистачає: електричні котли, електроконвектори, інфрачервоні системи, електричні водонагрівачі. Авторам проекту вдалося довести, що електроенергія може бути економічно обґрунтованим джерелом тепла, і що при цьому буде здійснюватися економія умовного палива.

Зіставлення економічних аспектів прямого стаціонарного електроопалення та інших видів опалення для заміського будинку. Останнім часом в усьому світі спостерігається стійка тенденція переходу від централізованих систем опалення до автономних, які забезпечують теплом конкретну квартиру, групу квартир, окремих будинок. Як відомо, у структурі сучасного житлового будівництва України 2/3 обсягу забудови належить малоповерховим будинкам. У них використовуються нові архітектурно-технічні рішення, технології, сучасні матеріали. Замовники прагнуть забезпечити одночасно високу надійність і комфортабельність житла, що будується за межами мегаполісів. Цей приватний сектор споживає велику кількість нових технологій і сучасних засобів інженерного забезпечення. Одним із найважливіших елементів інженерного забезпечення є опалення. У сфері опалення дуже складно оцінити всі аспекти і проблеми вибору, установки й експлуатації певного виду опалення з огляду на те, що ринок устаткування і матеріалів для цього є дуже широким і різноманітним. Крім того, світові досягнення в галузі опалення стали доступними для споживача, а інформація про їх порівняльні властивості і можливості, як правило, є доступною тільки фахівцям. На раціональний вибір системи опалення впливає багато факторів: доступність конкретного виду палива, екологічні аспекти, проектно-архітектурні рішення, величина споруджуваного об’єкта, фінансові можливості людини та багато іншого.

Серед автономних систем опалення високої якості широко використовується принцип прямого стаціонарного електроопалення: перетворення електроенергії на тепло без проміжних теплоносіїв. Нагрівальні елементи в такому сучасному устаткуванні

мають низькі температурні характеристики (50 °С–130 °С), забезпечують захист від електромагнітних випромінювань, не спалюють кисень, і в результаті їх застосування не змінюється вологість у приміщенні.

Публікація [24] розглядає економічні аспекти витрат на установку й експлуатацію традиційного водяного опалення (ТВО) і прямого електричного опалення (ПЕО) для замиського будинку та котеджу з опалювальними площами відповідно 100 і 300 м². Крім того, додатково опишемо ті нюанси установки й її експлуатації, які на сьогодні складно виміряти фінансовими витратами, але вони істотно впливають на якісні характеристики порівнюваних систем.

Капітальні витрати. Для аналізу обрано два будинки з опалювальною площею 100 і 300 м² з устаткуванням вітчизняного або імпортного виробництва. Підсумкові результати наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

**Капітальні витрати (в умовних одиницях, 1999 р.)
на традиційне водяне опалення (ТВО) і прямий електрообігрів (ПЕО)**

Устаткування	Опалювальна площа, м ²					
	100			300		
	ТВО імпорт	ТВО	ПЕО	ТВО імпорт	ТВО	ПЕО
Котел (електричний, газовий; рідке або тверде паливо)	500 – 1100	100 – 400	немає	730 – 3500	110 – 600	немає
Радіатори або електроконвектори	600 – 1000	500 – 800	650 – 1200	1400 – 3200	1200 – 2200	1900 – 3000
Антифриз «Норт»	100 – 300	100 – 300	немає	300 – 1000	300 – 1000	немає
Монтаж	600 – 1200	400 – 700	50 – 200	1000 – 2500	800 – 1200	70 – 400
Разом:	1800 – 3600	1100 – 2200	700 – 1400	3430 – 10200	2410 – 5000	1970 – 3400
Вартість м ²	18 – 36	11 – 22	7 – 14	11,4 – 34	8 – 16,6	6,5 – 11,3

Слід зауважити, що різноманітність можливих варіантів ТВО може змінити дані, наведені в табл. 1.6. Крім того, можливою є комбінація імпортного і вітчизняного устаткування. Зупинимось більш детально на деяких особливостях і неврахованих моментах капітальних витрат для ТВО.

Опалювальний котел. Важливим моментом є вид палива і конструкція під кілька видів палива, а також наявність бойлера для підігріву питної води. Для електрокотла монтаж є найбільш простим, можна не використовувати окреме приміщення, не потрібне повітря, вода.

Установка газового котла вимагає окремого приміщення (котельні) та створення повітроводів до камери згоряння, а також димоходу для відводу продуктів горіння. Інакше екологія приміщення різко погіршується. Це вимагає додаткових, не врахованих у табл. 1.6, витрат. Для отримання гарячої води деякі котли мають вбудований бойлер, однак для доставки цієї гарячої води до місця використання (наприклад, з підвалу на перший і другий поверх, в інший кінець будинку) потрібно прокласти значну кількість труб. Проходячи по них, вода охолоджується, виникає інерційність гарячої і холодної води, знижується економність. Це робить дорожчим монтаж і псує інтер'єр. Альтернативним варіантом у цьому випадку може бути установка електричного водонагрівача у місці використання, що є значно зручнішим, тому що в літній період опалення не вмикається, а гаряча вода потрібна завжди.

Наголосимо, що в Україні, особливо взимку, тиск газу знижується до 100-120 мм водяного стовпа при нормі для котлів 180 мм. Це може призвести до відключення опалювальної системи з відповідними наслідками. Істотні витрати при газовому опаленні потрібні для підведення газу від магістралі до котла в будинку. Як правило, це близько 2000 доларів США. Значні засоби потрібні для оплати проекту на котлове приміщення та установку газової плити. Це теж коштує близько 2 000 доларів США. Без затвердженої і погодженої з відповідними службами проектної документації підключення газу заборонено. Ці витрати істотно знижують ефективність дешевої оплати в період експлуатації.

Установлення рідиннопаливних котлів (на солярці) є найбільш дорогим. Вони потребують додаткової ємності для кількох тон палива (700–800 доларів США). Обов'язково необхідний фільтр тонкого очищення палива, інакше форсунки котла швидко засмітяться, котел почне диміти й істотно знизиться к.к.д. Для роботи такого котла обов'язково потрібна електрика в системах запалювання, контролю горіння і насосу подачі палива. На жаль, навіть короточасне відключення живлення вимагає присутності людини для повторного включення опалення. Проблеми гарячої води, котельні та димоходів такі ж, як і в газового котла.

Недоліки твердопаливних котлів обумовлені необхідністю протягом доби постійно стежити за топковою камерою і вручну завантажувати паливо. Необхідно мати значний запас палива, площу для збереження, здійснювати доставку, завантаження і розвантаження палива.

Сучасні комбіновані котли на два і більше видів палива коштують дорожче і мають особливості монтажу й експлуатації, описані вище. До того ж перехід з одного палива на інше відбувається в ручному режимі, тобто необхідна присутність людини.

У більшості котлів захисна автоматика працює від електромережі, тому при відключенні електроенергії припиняється подача газу як на основний, так і на запасний пальник. Для включення системи, як правило, необхідна присутність людини, хоча зараз з'явилися котли з автоматичним розпаленням від електричного розряду і з резервною акумуляторною батареєю. Стационарному прямому електроопаленню не загрожують перепади напруги і тимчасове відключення.

Радіатори, арматура і монтаж. Вартість цієї складової ТО істотно залежить від принципу циркуляції рідини в системі опалення (природної або примусової) і від схеми розведення (однотрубна або двотрубна). Для природної циркуляції використовуються труби збільшеного діаметра. Як наслідок, збільшується вартість труб і складність монтажу. При застосуванні цього принципу ТО має значну інерційність і знижену тепловіддачу. Існують дуже обмежені можливості з регулювання температури у приміщенні. ТО з примусовою циркуляцією передбачає використання електричного насоса, вимагає установки сміттєзбірника і розширювального бака. Разом з тим можуть бути широко використані регулюючі вентиля.

Однотрубна система є приблизно в 1,5–2 рази дешевшою (через економію труб і арматури), ніж двотрубна, однак у цьому випадку практично неможливо регулювати температуру. Двотрубна система забезпечує регулювання температури, але регулюючі термостати роблять її дорожчою, та й сам процес складно автоматизувати і програмувати.

Нарешті, монтаж ТО практично неможливо здійснити самостійно, не маючи навичок і спеціальних інструментів, тоді як пряме стаціонарне електричне опалення може встановити і запустити будь-яка людина з технічною освітою, використовуючи найпростіші інструменти.

Електронагрівач рідинний електродний опалювальний РЕЕНО 0,3-0,7. Вказаний нагрівач (ТУ У 29.7-31521460-001-2004) [25, 26] призначено для обігріву житлових, промислових приміщень і розраховано на тривалу роботу без нагляду. Він складається з теплообмінника (тобто набору радіаторних секцій, або звичайних – з чавуну, або поліпшеної конструкції – з силуміну); електродного нагрівача, блока управління та захисту. Електронагрівач загвинчується замість нижньої заглушки радіаторної секції, а верхня заглушка замінюється на горловину, через яку заправляється радіаторна секція. Виробники РЕЕНО 0,3–0,7 стверджують, що за рахунок вбудованого терморегулятора та інших переваг електронагрівача досягається суттєве (у 2–3 рази) зниження загального електроспоживання.

У великих приміщеннях замість радіаторних секцій можуть використовуватися зварні реєстри із сталевих труб діаметром 75–125 мм. Максимальний ефект досягається при використанні труб діаметром 102–106 мм. Об'єм електронагрівача більший за 70 л. Температура теплоносія 65–70 °С (при вищій температурі інтенсифікується випаровування теплоносія). Необхідно контролювати рівень теплоносія. Вартість встановлення комплекту РЕЕНО 0,3–0,7 з блоком управління і захисту до радіатора замовника становить 130 у.о. для семисекційного радіатора. Як і в інших електрообігрівачах, відсутні трудові та інші витрати, пов'язані з доставкою палива. Зниження експлуатаційних витрат малих котелень можуть бути суттєвими.

Поточні й експлуатаційні витрати. Найважливішим параметром поточних витрат є витрата палива за одиницю часу і його вартість. Приблизну вартість палива наведено в табл. 1.7.

Згідно зі статистичними даними витрати енергії на опалення 1 м² за сезон складають 100 – 200 кВт•год залежно від тепловтрат опалювального приміщення. При розрахунку поточних витрат варто враховувати к.к.д. установки і теплові втрати будинку. Для районів України з найбільш суворими кліматичними умовами, відповідно до існуючих нормативів, розрахованих на зовнішню температуру -26 °С та в приміщенні + 18 °С, для опалення 1 м² приміщення необхідно 40 – 45 Вт, що складає 100 – 120 Вт на 1 м³ при висоті стелі 2,50 – 2,70 м. У табл. 1.8 наведено середні експлуатаційні витрати за видами енергоносіїв при щоденному проживанні протягом опалювального сезону.

Таблиця 1.7

Приблизна вартість палива

Енергоресурс	1999 р., дол. США	2005 р. (Україна)	
		дол. США	грн.
1 л солярки (10 кВт•год)	0,2	0,70	3,5
10 кВт•год електроенергії	0,12	0,24	1,2
1 м ³ газу (10 кВт•год)	0,06	0,06	0,3
1,33 кг вугілля (10 кВт•год)	0,023	0,07	0,356

Особливістю опалення з газовим котлом є необхідність періодичної профілактики і контролю стану пальників, кранів і автоматики фірмами, що мають відповідні ліцензії і за опалювальний сезон вимагають 100 – 300 дол. США (1999 р.). Якщо договору на такі роботи немає, то існує серйозна небезпека створення аварійної ситуації. Робота під час експлуатації і для профілактики систем опалення на рідкому паливі зазвичай зводиться до заміни паливного фільтра, профілактики насоса і перевірки системи по-

дачі і горіння палива, очищення форсунок. Проте хоч і незначний, але характерний, запах солярки у приміщенні завжди є. Використання ж твердого палива практично не вимагає профілактичних робіт. Однак необхідні витрати на доставку, розвантаження і збереження палива. Але найголовніше: немає автоматичного режиму, необхідна постійна присутність людини. Крім того, циклічний характер роботи котла призводить до коливань температури повітря в опалюваному приміщенні у межах 3 – 5 °С, а процес підтримки стабільної, заданої температури неможливо автоматизувати. Додатковою незручністю є засмічення території. При традиційному опаленні можливі аварійні протікання, усунення яких при заповненні опалювальної системи антифризом вимагає значних витрат. Якщо дачний будинок або котедж використовується не для постійного проживання, а тільки у вихідні дні та під час свят, то переваги ПЕО ще більш очевидні для такого типу приміщень – економія досягає 80 %.

Таблиця 1.8

Середні експлуатаційні витрати за видами енергоносіїв (1999 р.)

Вид ПЕР (паливо або особливості обігріву)		Статті витрат, дол. США					
		Профілак-тика	Витрата палива	Обслуговування	Разом	Можлива економія, %	
ТВО	100 м ²	Газ	100	30 – 40	–	130 – 140	до 20
		Солярка	20 – 50	120 – 200	–	140 – 250	до 20
		Вугілля	30	60 – 100	100 – 150	250 – 300	до 20
		Електрокотел	10 – 20	200 – 320	–	210 – 340	до 30
	300 м ²	Газ	150 – 250	90 – 120	–	240 – 370	до 30
		Солярка	50 – 100	370 – 450	–	400 – 550	до 30
		Вугілля	–	150 – 300	200 – 300	570 – 750	до 30
		Електрокотел	20 – 40	390 – 970	–	410 – 1010	до 30
ПЕО	100 м ²	–	150 – 250	–	150 – 250	до 80	
	300 м ²	–	300 – 750	–	300 – 750	до 80	

За відсутності людини і при коливаннях температури навколишнього середовища бажано підтримувати температуру приміщення близько 5 – 8 °С. Це сприяє тривалій експлуатації головних конструкцій, відсутності конденсату, вологості та цвілі.

Системи ТВО мають дуже обмежені можливості для відслідковування коливань зовнішньої температури повітря і підтримки заданої температури усередині кожного приміщення. Отже, в автоматичному режимі відбувається перегрів повітря, тобто перевитрата палива. При ТВО значно складніше в разі потреби відключити деякі приміщення, а іноді це практично неможливо. При істотній зміні температурних режимів у кількох приміщеннях при ТВО може змінитися відбалансований режим роботи гідравлічної системи теплоносія і термостат необхідно налагоджувати заново. Повторне включення легко порушить первинне балансування. Під час роботи в автоматичному режимі за відсутності людини опалювальна система може відключитися через спрацьовування засобів захисту, однак автоматичне включення не завжди передбачене, внаслідок чого при тривалому охолодженні будинку може статися замерзання незлітної води в різних резервуарах: каналізації, водопроводі. При наступному прогріві приміщень збільшиться вологість, навіть може з'явитися конденсат або можуть намокнути стіни.

Капітальні витрати ПЕО є нижчими, а експлуатаційні витрати – на одному рівні з рідким і твердим паливом. Імпордне устаткування стає більш-менш вигідним для будинків з площею, більшою за 300 м². Вітчизняне устаткування є більш економічно виправданими для будь-якого виду палива. Варто відзначити, що дуже складно врахувати якість імпортного устаткування; надійність, довговічність і безпеку котлів, витрати на заміну і ремонт вітчизняних труб і вентилів; ремонт котлів і так далі. Ймовірно, більш вигідним є комбіноване використання вітчизняного та імпортного устаткування.

Солярка і вугілля виявляються ефективними залежно від конкретних ситуацій, при цьому можна вважати, що порівняльний термін окупності має бути не більшим за 5 – 6 років.

1.5. Досвід використання опалення на базі комбінованого перетворення електричної енергії на теплоу

Розглянемо також невеликий практичний досвід повної електрифікації побуту на теренах України та її сусідів. У літературі [27] вказується, що на основі даних за мікрорайонами (кліматичні умови підмосковного м. Фрязіно, $t_{\text{розра}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і східносибірського м. Братська¹, $t_{\text{розра}} = -43\text{ }^{\circ}\text{C}$), забудованих п'ятиповерховими будинками серії 1-464А-15 і дев'ятиповерховими будинками серій 1-464Д-83, 1-464Д-84, 1-464Д-85, економічність традиційного опалення та електроопалення залежить від багатьох факторів. Але у будь-якому наборі початкових і граничних умов найбільш економічними системами є системи комбіновані. Вони включають систему грюючого кабелю з додатковими пристроями, режим акумуляції триває 8 годин. Найбільш широке впровадження електротеплопостачання є доцільним для сільської місцевості. Електрична енергія витісняє тверде паливо з систем опалення, тобто виключає витрати на заготівлю і транспортування палива, обслуговування печей. Отримано висновок [28], що системи електроопалення будуть рівноеконічними з центральними системами водяного опалення лише у разі їх комбінації з базовою системою центрального опалення. При цьому вони дають економію 230 кг у.п. на кожному квартиру. Дуже перспективним є застосування електродовідних пристроїв в умовах мегаполіса. Але усі ці розрахунки проводилися при низьких показниках теплового опору тогочасних огорож. Зараз ситуація суттєво змінилася, а з урахуванням 20 – 35 % економії тепла при використанні систем електроопалення перспективність електроопалення стає очевидною. Деякі джерела [29] стверджують, що розрахункова потужність електроопалення квартири є близькою до 10 кВт (в умовах низького термічного опору, що нормувався 40 років тому). Розглядається імовірність включення побутових електроприладів (коефіцієнт участі к.у.=0,04–0,14), можливість спільної роботи електроопалювальних приладів у нічні години (к.у.=0,8–0,9) та електродовідних пристроїв (к.у.=0,5). Також наводяться відомості про коефіцієнт участі електроопалювального навантаження квартири: за західноєвропейськими даними – 0,68 і 0,79; відповідно, для 100 і 200 квартир. Подальше зниження коефіцієнта участі

¹ Логіка обрання міст для створення експериментальних кварталів електроопалення є зрозумілою. Фрязіно є практично мегаполісом, столицею. Дослідному впровадженню електрообігріву саме у м. Братську сприяли дві обставини. Першою обставиною було те, що 50 років тому це було абсолютно нове місто, яке створювалося у дуже зручній місцевості, а архітектурно-інженерному колективу містобудівників було надано певний ступінь творчої свободи. Другою – містоутворюючим підприємством м. Братську є величезна ГЕС (4,5 ГВт; виробництво електроенергії 22,6 млрд. кВт*год/рік за наддешевою собівартістю). Можна вважати, що саме м. Братськ у світовому містобудуванні мало стати першим енергетично сприятливим районом (островом) не тільки для розташування енергоємних об'єктів (електрометалургії, ЦПК, тощо), а і для ЖКК, навіть всупереч екстремальним (розрахункова температура $t_{\text{розра}} = -43\text{ }^{\circ}\text{C}$ є удвічі нижчою, ніж для Києва) кліматичним умовам.

вважається малоімовірним. Фактичні значення вказаних коефіцієнтів можна одержати лише при побудові експериментального пілотного кварталу. Треба виключити можливість увімкнення електроопалення у час роботи електроплити або водонагрівача. Тоді вдасться уникнути навантаження на вході квартири понад 10 кВт навіть з перспективним набором електроприладів. Ситуація ще більше полегшиться, якщо використати комбіновану систему опалення.

Ідея комбінованого опалення знайшла подальший розвиток у відповідній праці [30]. При цьому подається дуже сучасне оформлення у вигляді концепції забезпечення споживачів енергією з одного джерела – комунальної ТЕЦ, що працює у режимі когенерації. Ця комунальна ТЕЦ здійснює централізоване опалення квартир від двох своїх власних енергосистем – електричної та теплової мереж. На «додаткову» електроенергію буде витрачатися у середньому 0,17 кг у.п. При цьому ефективно споживається електрична енергія, яка виробляється шляхом когенерації у періоди провалу навантаження у мережі.

1.6. Переваги й аргументація проти впровадження прямого електрообігріву

Усі види опалення, крім електричного, тією чи іншою мірою забруднюють навколишнє середовище. Витяжна вентиляція і насоси спричинять додаткові шуми та вібрацію. Витік газу і дизельного палива, а також вугільний пил негативно впливають на дихальні шляхи і слизові оболонки людини. Крім того, небезпека виникнення пожежі або якихось інших аварійних ситуацій при рідкому і газоподібному паливі є значно вищою, ніж при електроопаленні. Протікання отруйних антифризів є небезпечним для здоров'я людей і завдає шкоди будинку.

Сучасне електроопалення не спалює кисень і пил, не пересушує повітря. Випромінюючі обігрівачі і тепла підлога не створюють конвекційних потоків повітря і пилу, електромагнітні наведення відповідають європейським стандартам, є нижчими, ніж у побутових приладів.

Електричне опалення має найбільш широкі можливості щодо раціонального й економічного керування режимами опалення. Максимально може бути використана багатотарифна оплата за електроенергію (вночі дешевше у 4 рази). Саме в нічний час зовнішня температура найнижча, тобто збільшуються теплові втрати, тоді як удень працює багато побутових електроприладів, додатково виділяючи тепло. Різниця денної і нічної температури сягає 10 – 15 °С, для компенсації таких коливань потрібно до 50 % добових ресурсів. При використанні електротеплонакопичувачів економія може бути ще більш істотною, тому що теплоємність такого устаткування приблизно в 10 разів вища, ніж спожита енергія.

ПЕО дозволяє регулювати температуру в кожному окремому приміщенні через систему термостатів у широкому діапазоні температур (5 – 30 °С). При ПЕО термостати точно відслідковують необхідну температуру, і зміна температури зовнішнього повітря не впливає на температуру в приміщенні. Гнучкість у керуванні ПЕО дозволяє легко відключати опалення приміщень, при від'їзді встановлювати економічний мінімальний режим. Це істотно (до 50 %) заощаджує електроенергію. Програмні засоби керування дозволяють автоматизувати процес зміни температури протягом дня і тижня.

Сучасне електроопалювальне устаткування – конвектори, ІЧ-обігрівачі, ЕКСО – забезпечують надійний захист від пожежі та ураження електричним струмом. Продукція, як правило, сертифікована, з гарантією не менш ніж на два роки і терміном служби, не меншим за 25 років.

При кваліфікованому монтажі електричної проводки, установці автоматів відключення на коротке замикання і пристроїв захисного відключення на струм витоку відсутня можливість пожежі й ураження електричним струмом. Автор доходить висновку, що пряме електроопалення в Росії починає завойовувати свою частину ринку [31]. Наведені вище дані свідчать, що на ринку опалення знайдеться місце для всіх напрямків економічних, екологічних і енергозберігаючих підходів. Перспективним можна вважати сполучення прямого електроопалення і нетрадиційних підходів до одержання електроенергії: вітроустановки, термальні джерела, сонячні батареї.

Ми розглядали матеріали зіставлення лише прямого електрообігріву. Зіставлення ЕТА-обігріву в літературі відсутнє, і йому буде присвячено окремий параграф. Але зрозуміло, якщо прямий електрообігрів, як впливає з наведених прикладів, у багатьох випадках є конкурентноздатним порівняно з традиційними та іншими видами опалення, то у разі споживання електроенергії у пільговому інтервалі доби, його використання стає, безумовно, ще більш доцільним.

Коли йдеться про джоулеве, або резистивне електроопалення, єдиною його негативною властивістю звичайно вважаються майже подвійні (від 267 до 369 г.у.п. порівняно з 140÷221 г.у.п. [31]) витрати палива на виробництво 1 кВт·год теплової енергії. У більшості країн ціна на електричну енергію у 2–5 разів перевищує ціну на газ. Тому, задія справедливості, слід констатувати наявність статей, що відкидають електроопалення. Так, стверджується у [32], що проект електроопалення багатоквартирних житлових будинків позбавлений енергозберігаючого змісту.

Основним аргументом на користь таких проектів є удавана відсутність шкідливих викидів в атмосферу. Система, іноді виправдана в зоні дії великих гідроелектростанцій, одержала своє продовження в зоні дії ТЕЦ. Тарифоутворення таке, що, незважаючи на енергетичну й екологічну абсурдність такої системи, витрати жителів поки майже однакові з витратами на ЦТ, але у скільки разів збільшаться ці витрати після реструктуризації електроенергетики? І за чії гроші доведеться робити нову систему теплозабезпечення?

Оскаржити це твердження можна лише враховуючи, що реструктуризація електроенергетики проводиться одночасно з реструктуризацією всіх інших галузей економіки, у тому числі теплоенергетики ЖКК. І «витрати жителів», найімовірніше, *завжди* будуть «порівнянні з витратами на ЦТ», а ще реальна відсутність шкідливих викидів у місці опалення, плюс безумовний комфорт панельно-променевого опалення, та й комплекс енергозберігаючих властивостей електротеплоакумуляційного опалення. *А на питання «І за чії гроші доведеться робити нову систему теплозабезпечення?» розробники електротеплоакумуляційного опалення вже давно приготували відповідь: самими абонентами СДТ.* Звичайно, у рамках пропускової здатності електромереж, завдання модернізації яких було поставлено ще 20 років тому, тобто задовго до вибору європейського вектора розвитку України. І знову в статті опонента йдеться тільки про пряме, не електротеплоакумуляційне, опалення.

У якості другого прикладу можна навести іншу статтю [33]. Утім, автор неодноразово виступав проти електроопалення [34 – 39], однак його аргументація також не відзначається переконливістю. Більше того, складається враження, що автор «зациквився» на прямому електрообігріванні і не знайомий з енергоефективними різновидами електроопалення. Ні ТАЕП, ні електротеплоакумуляційному опаленню з накопиченням тепла в будівельних конструкціях у публікаціях [33 – 39] увага не приділяється. Тому дискусії тут, власне кажучи, відсутня.

Основними видами електроопалення є системи з трансформацією електричної енергії у теплову – прямий і/або теплоакумуляційний електрообігрів (конвектори та інші подібні

електронагрівальні прилади зараз не розглядаються), з використанням теплонасосних установок, електродних котлів, систем електрообігріву на базі електротермічних установок (ЕТУ), установок гідродинамічного нагрівання (УГН) та деяких інших.

1.7. Електротеплоакумуляційні системи обігріву

Принцип акумуляції тепла в огородженнях. Тепло може акумулюватися не тільки у великому баці з гарячою водою (при опаленні, орієнтовно, у добовому циклі кожен 1 кВт потужності «споживає» 250 л; за іншими даними, питома характеристика водяного акумулятора сягає 50 л/м² приміщення, що опалюється) або масивному сердечнику з теплоємного, теплопровідного, теплостійкого матеріалу. Звичайні будівельні конструкції приміщень – зовнішні та внутрішні огороження (стеля, підлога, стіни), а також меблі, обладнання, повітря мають теплоакумуляційні властивості, які проявляються при «кімнатних» температурах. Тому будь-який нагрівач, у тому числі електронагрівач прямої дії, певною мірою є «теплоакумуляційним», оскільки після припинення подачі електричної енергії температура приміщення внаслідок його теплової інерції, деякий час буде перебувати в інтервалі комфортних значень. Теплоємні властивості матеріалів характеризуються комплексом $\sqrt{\lambda c \rho}$, де λ , c , ρ — теплопровідність, теплоємність та щільність матеріалів. Теплоємні характеристики приміщення визначаються коефіцієнтом теплосасвоєння $s_b \equiv \sqrt{\lambda c \rho}$, який разом із коефіцієнтом тепловіддачі α_b від поверхні до повітря (індекс «в» ідентифікує внутрішню поверхню) утворює характеристику теплотривкості приміщення, тобто коефіцієнт тепловбирання $B = 1 / (1/\alpha_b + 1/s_b)$. При $s_b \rightarrow \infty$ коефіцієнт тепловбирання $B \rightarrow \alpha_b$ (практично $\alpha_b \approx 4\text{--}8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$), а зміна температури повітря (після відключення нагрівального приладу, тобто після припинення подачі тепла до приміщення), температура повітря досить швидко досягає середньої температури поверхонь і надалі знижується одночасно з температурою огорож у приміщенні, що опалюється, стає пропорційною переважно до інтенсивності теплових втрат. У випадку належного вибору теплової ізоляції (з малим $\sqrt{\lambda c \rho}$) і матеріалів огорожень (з великим $\sqrt{\lambda c \rho}$) «теплоакумуляційна» здатність приміщень з електрообігрівачами прямої дії буде високою. Виходячи зі сказаного, доцільно у контексті теплоакумуляційного опалення також розглянути будь-які електронагрівачі прямої дії, у тому числі й ті, що були розглянуті раніше.

Особливу категорію систем з «природною» акумуляцією тепла складають вогневі печі. Конструкція теплоємних печей передбачає підвищення теплової ємності за рахунок конструкції самої печі. Приміщення з будь-якими нагрівачами, які працюють у переривчатому опалювальному режимі, можуть вважатися акумуляційними, навіть системи з використанням електрорадіаторів, електроконвекторів, електротепловентиляторів¹. Але особливо зручними для використання теплоємності огорожень є нагрівачі на базі нагрівальних кабелів або різноманітних пластинчатих гріючих елементів².

¹ Електрорадіатори, електроконвектори, електротепловентилятори повинні бути предметом окремого розгляду.

² Елементи Слотерм (Петербург) виготовляються з шарового пластика з внутрішнім струмопровідним шаром з карбоноволокнистого паперу з певним електричними опором.

1.7.1. Електричні кабельні системи обігріву теплоаккумуляційної дії

Зараз у багатьох випадках електричні кабельні системи опалення теплоаккумуляційної дії (ЕКСО ТА) є найбільш конкурентноспроможним видом електротеплоаккумуляційного опалення для ЖКК та АПК. Його відносна доступність, енергетична ефективність, наявність вітчизняної нормативної¹, технічної та елементної (нагрівальні кабелі², прилади регулювання) бази забезпечують упродовж певного часу перевагу ЕКСО ТА над іншими видами електрообігріву. Список об'єктів (переважно школи), у яких реалізовано принцип акумуляції тепла у будівельних конструкціях за допомогою ЕКСО, лише у Хмельницькій області перевищує десяток (табл. 1.9)³.

Таблиця 1.9

Школи Хмельницької області з акумуляційним електроопаленням

№ п/п	Райдержадміністрація (у дужках – кількість об'єктів)	Село, населений пункт, об'єкт	Потужність, кВт
1	Городецька (1)	Жищенці	256
2	Деражнянська (3)	Деражня, відділ освіти	
3	Деражнянська (3)	Копачівка	156
4	Деражнянська (3)	Деражня, УПСЗ	
5	Ізяславська (2)	Білогородка	180
6	Ізяславська (2)	Поліське	163
7	Летичевська (1)	Сусловці	119
8	Новоушицька (2)	Струга	246
9	Старокостянтинівська	Бутівці	83
10	Старокостянтинівська	Немиринці	211
11	Старосинявська (1)	Пишки	78
12	Хмельницька (1)	Пирогівська	83
13	Шепетівська (3)	Вишневе-Сульжин	
14	Шепетівська (3)	Орлинці	195
15	Шепетівська (3)	Чотирбоки	250

Але очікується, що з часом ЕКСО ТА за умови наявності легкодоступних джерел низькопотенційного тепла буде замінено теплонасосними установками (ТНУ). Тому, як тільки вартість обладнання ТНУ буде знижено удвічі-втричі, а ця подія очікується років через п'ять, ТНУ почнуть швидко розповсюджуватися в Україні. А поки найбільш перспективним видом електроопалення можна вважати ЕКСО ТА-технології. Їх розгляду буде присвячено значну частину розділу 2. Тому одразу перейдемо до огляду ситуації, пов'язаної з опаленням на базі інших – некабельних – систем електрообігріву.

1.7.2. Електрообігрів на базі електротермічних установок з водяними баками-акумуляторами

Електротермічні установки (ЕТУ) відомі вже багато років. Розповсюджені ЕТУ є двох типів. В установках першого типу тепла енергія передається рідині від електро-

¹ Наприклад, ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення»; ДБН В.2.5-23-2003 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення».

² Розробка ВАТ «Одескабель» спільно з НВП «Елетер» номенклатури вітчизняних нагрівальних кабелів.

³ Автори вдячні В.Й. Кшановському – керівнику розробок у більшості шкіл – за надану інформацію при їх обстеженні у Хмельницькій обл.

нагрівачів резистивного типу, наприклад, ТЕНів. Їх потужність зазвичай невелика (0,1 – 6 кВт) і не забезпечує потреб електроопалення великого будинку. Системи опалення з ТЕНами можуть вироблятися в акумулюючому виконанні і застосовуватися для гарячого водопостачання. У ТЕНів термін експлуатації є обмеженим, а поверхня ТЕНів поступово покривається шаром накипу. Внаслідок цього термічний опір між ТЕНом і водою поступово збільшується, нагрівальна жила перегрівається і може вийти з ладу. Тому в електротеплопостачанні комунальних об'єктів більш поширені ЕТУ іншого – електродного типу, у яких тепла енергія виділяється в об'ємі рідини у міжелектродному просторі. Модельний ряд електродних водогрійних котлів (за даними ВНДІЕТО, м. Москва [40]) складається з котлів потужністю 25, 69, 100, 250, 400, 1000 кВт. Установки застарілих конструкцій були розраховані на використання води з певним солевмістом, який відповідає номінальному питомому електричному опору або номінальній потужності (близько 30 Ом*м при 20 °С; коригування солевмісту – в інтервалі 10 – 50 Ом*м при 20 °С – досягається або додаванням до води солі, або води з високим питомим електричним опором: конденсату, дистилату, талої або дощової води).

Більш сучасні електродні котли використовують пароелектричний нагрівач, відокремлений від основної маси води перегородкою з низьким термічним опором. Таким чином, тепло, що генерується у пароелектричному нагрівачі, передається до основної маси рідини і нагрівається. Тому основна маса води не перебуває під дією електричної напруги. Уночі, в інтервалі дії пільгового тарифу, гаряча вода накопичується в окремій теплоізольованій акумулюючій ємності, з якої вона упродовж доби надходить до системи водяного опалення. Профілювання витрати води здійснюється залежно від потреб у теплі: вдень, коли будинок знаходиться в експлуатації, гаряча вода подається з інтенсивністю, яка забезпечує нормативну температуру повітря (18 - 22 °С) у приміщеннях, що опалюються. Уночі, оскільки система опалення працює у черговому режимі, а температура повітря може бути меншою (практично, до 12 °С), подача води зменшується.

Прикладом такого котла може бути електродний водогрійний котел ВК139.001 (виробляється у м. Новодністровськ Чернівецької області). Цей котел може комплектуватися двома акумулюючими баками з ємностями по 16 м³ кожен і слугувати автономною системою водяного опалення. З 23:00 до 6:00, в інтервалі дії пільгового тарифу, вода, що має температуру до 95 °С, накопичується в акумулюючих баках, з яких вона потім упродовж доби надходить до системи водяного опалення. Такі системи опалення працюють у загальноосвітніх школах двох сіл Хмельницької області – с. Куча (Новоушицький район) і с. Жищинці (Ярміловський район). Однозмінна школа у с. Куча загальною площею 1190 м² нараховує 145 учнів.

До недоліків систем електроопалення на базі ЕТУ можна віднести їх підвищену небезпечність, необхідність цілодобового нагляду за роботою ЕТУ, велику матеріалоемність, необхідність в окремому приміщенні, наявність витрат електроенергії на власні потреби. Одна з помітних небезпек ЕТУ зумовлена можливістю електричного контакту теплоносія зі струмопровідними елементами. Крім електричної небезпеки, ЕТУ притаманний вплив електричних полів на трубопроводи (у тому числі виникнення вихрових струмів, струмів витоків і, як наслідок, електрохімічної корозії та інших електролітичних процесів на деталях ЕТУ, теплових мереж або арматурі теплообмінників споживачів). Електродні котли потребують присутності чергового персоналу. Як показує аналіз експлуатаційних витрат електроопалювальної системи на базі електродного водогрійного котла ВК139.001, що був встановлений в однозмінній загальноосвітній школі І-ІІІ рівнів в одному із сіл Хмельницької області, частка заробітної плати операторів електродного водогрійного котла ВК139.001 складає $\approx 17\%$ від сумарних витрат на електроопалення. Ресурс роботи обмежений в основ-

ному працездатністю двох комплектуючих: електродної групи і баків-акумуляторів. Авторам невідома жодна діюча система електроопалення на базі електродних котлів, які були б установлені раніше, ніж 3 роки тому.

Шлях більшості шкіл до впровадження електроопалення є приблизно однаковим. У с. Копачівка (Деражнянського р-ну Хмельницької обл.), враховуючи віддаленість школи від складів з вугіллям, ще 20 років тому було розроблено проект електротепло-акумуляційного опалення на базі електродкотлів. Вважалося, що нібито можливо використовувати стару систему радіаторного опалення, і тому до неї додали нову котельню. Але швидко стало зрозуміло, що стара система радіаторного опалення є неекономною і, зрештою, все ж таки доведеться її ліквідувати і замінити новою. Теплотраса у селі є дуже дорогою, тому цей проект так і залишився нереалізованим. Теплоізоляцію на гігантських (у масштабі сільського пейзажу) баках зруйновано. У школі с. Копачівка зараз успішно працює кабельна система опалення потужністю 156 кВт.

1.7.3. Електрообігрів на базі установок гідродинамічного нагрівання

Дія установок гідродинамічного нагрівання (УГН) ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії потоку на теплову. Більшість установок використовує явище кавітаційного нагріву рідини при її pompванні через спеціальні пристрої-насадки, де виробляється тепла енергія. Ці пристрої мають різноманітну конструкцію. Деякі з них є вихровими трубами [41–44]. Такі експериментальні і промислові установки відомі з початку 90-х років [45]. Інші пристрої ґрунтуються на використанні спеціальних змішувачів типу УГН «Термер» виробництва НВП «Текмаш», компанії «Гідротрансмаш». Перші промислові зразки з УГН «Термер» з'явилися у 1996 р. Розробники цього обладнання стверджують, що коефіцієнт перетворення електричної енергії (к.п.е.е.) на теплову досягає 95 % [45]. Інші розробники говорять що к.п.е.е., може бути більшим за одиницю [44], і навіть значно більшим (1,5–2) [45]. З метою визначення к.п.е.е. подібних установок Інститутом технічної теплофізики НАН України було здійснено натурний калориметричний експеримент [46]. У якості об'єкта експерименту було взято теплогенератор ТПМ 5,5-1, який використовує вихрову трубу з тепловою потужністю 5,5 кВт у якості перетворювача кінетичної енергії потоку на теплову. Було встановлено, що при досконалій теплоізоляції значення коефіцієнта трансформації наближається до одиниці. Досі це єдиний науковий експеримент із визначення к.п.е.е. в області УГН. Системи електроопалення з використанням УГН складаються з електронасоса, який одночасно є і робочим, і циркуляційним; спеціального пристрою-змішувача, у якому здійснюється перетворення енергії потоку рідини у теплову; технологічної ємності, в якій накопичується рідина, нагріта в результаті керованих процесів кавітації. У якості приводів рекомендуються синхронні двигуни з живленням від мереж 0,4–10 кВ. Ці двигуни допускають нескладні, навіть для безперервних режимів, схеми скидання/накидання навантаження в інтервалі 15–120 % номінальної потужності. Вони можуть поглинати/генерувати реактивну потужність, на що не спроможні звичайні резистивні системи електроопалення. Остання риса надає УГН переваги у системах регулювання не тільки навантаженням, а й частотою енергосистем. Стверджується, що граничною температурою, яка досягається в УГН, є 250 °С. УГН поставляються у вигляді блоків і можуть встановлюватися у приміщеннях існуючих котельень, приєднуватися безпосередньо до існуючих теплових мереж без переналадження існуючих комунікацій споживачів теплової енергії, у місцях споживання теплової енергії, що дозволяє відмовитися від прокладання тепломереж і нераціонального використання

котелень для віддалених об'єктів. Використання УГН як теплогенератора можливо у таких системах:

- підлогового або настінного опалення приміщень (змійовики з гарячою водою розташовуються у підлозі або у стінах приміщення, що опалюється);
- повітряного опалення, коли у калорифери, які обдуваються вентиляторами, надходить гаряча вода від УГН;
- звичайних одно-, двотрубних, для опалення з живленням гарячою водою від УГН;
- прямого, коли споживач тепла підключений безпосередньо до УГН та бойлерного, коли УГН спочатку нагріває бойлерну ємність з теплообмінником, зв'язаним із магістраллю теплоспоживача гарячого водопостачання.

Позитивною рисою систем УГН є саме те, що вони легко підключаються до існуючих вводів у систему місцевого опалення. Та ця риса перетворюється на негативну, бо прогресивна система генерації тепла замикається на традиційну систему розподілу та споживання тепла у вигляді одно-, двотрубних систем опалення зі всіма їх відомими недоліками. Тому для оптимізації енергозберігаючого ефекту при впровадженні УГН рекомендується замінити труби та батареї водяної системи опалення на нові та встановити радіаторні регулятори, які профілюють розподіл води у системі опалення. Таким чином, вартість модернізації системи опалення автоматично підвищується за рахунок встановлення нових труб, батарей і приладів обліку.

В інших джерелах [47] описується система опалення і водонагрівальна установка на базі вихрового теплогенератора «МУСТ». Стверджується, що коефіцієнт перетворення електричної енергії на теплову в «МУСТі» є, як мінімум, на 35 – 40 % вищим, ніж у кращих нових ТЕНових котлах, і складає, як було вказано, 1,2. На думку дослідників, розрахункове значення коефіцієнта перетворення підтверджується реальною роботою сотень вихрових теплогенераторів, що обігрівають сільськогосподарські та виробничі приміщення, склади і будинки в центральних областях Росії і за Уралом — аж до Тинди. Принцип дії вихрових теплогенераторів «МУСТ» запатентовано у Російській Федерації. Він заснований на «ноу-хау», коли тепло одержують, впливаючи безпосередньо на воду механічним способом. Генератор складається з двох модулів: електродвигуна з відцентровим насосом, що подає воду до теплогенератора, і власне теплогенератора. Резонансні, вихрові та інші процеси, що відбуваються в лабіринті труб і робочих порожнин установки, і становлять «ноу-хау» винаходу. Наводиться позитивний відгук на цю розробку директора Інституту теоретичної і прикладної фізики, академіка РАН А.Є. Акімова:

«Ми провели достатньо строго метрологію торсійних полів генератора. Ця метрологія дозволила зробити висновок: так, справді, цей пристрій працює саме на торсійних принципах, а не на якихось інших. На сьогодні теплогенератори «МУСТ» єдині, що пройшли як незалежну російську, так і міжнародну метрологічну перевірку. Їх коефіцієнт корисної дії 120 – 125 %».¹

Теплогенератори «МУСТ» виготовляються фірмою «Термодин». Вартість «МУСТ» перевищує ціну аналогічних за потужністю електродвигунів, проте витрати на його придбання цілком окупляються за один, максимум за два опалювальних сезони.

У вихрових теплогенераторах немає жодної рухливої деталі, автоматика не допускає нагрівання рідини до температури, вищої за 95 °С, тим самим запобігаючи утворенню шумовиння, яке є головною причиною різкого зниження к.к.д. ТЕНових котлів. Тому надійність

¹ Цитується у перекладі авторів.

роботи вихрових установок визначається винятково строком служби електромотора і насоса, у яких, у свою чергу, деталями, що зношуються, є тільки підшипники.

Інші наукові роботи [48] описують гідродинамічний тепловий генератор торсійних полів ТГС, призначений для опалення і гарячого водопостачання будинків та об'єктів виробничого й побутового призначення. ТГС не потребує органічного палива для роботи; в його конструкції навіть немає нагрівальних елементів. Ця локальна тепла установка монтується безпосередньо на об'єкті споживання. Його не потрібно підключати до теплотраси: достатньо під'єднати до традиційної системи опалення, теплоносієм є вода. Принцип роботи, за твердженням автора, ґрунтується на використанні нетрадиційних методів отримання енергії – за допомогою впливу торсійних полів через фізичний вакуум на робоче середовище. У термоголовці генератора створюється концентроване хвильове торсійне поле, яке взаємодіє зі спинами атомної структури речовини та зі струнними атомними зв'язками. Завдяки цьому суттєво зростає коефіцієнт енергоперетворення, який становить понад 126 %, а температура робочого середовища може сягати + 140 °С.

В Україні виробником ТГС-обладнання є Вінницьке НВП «Термінал-спецтехніка». Незалежні технічні експертизи в Україні, Німеччині й Болгарії підтвердили, що к.к.д. цих установок є дуже високим – понад 100 %. Це «ноу-хау» запатентовано в Україні та країнах Європи. Вироби на базі ТГС відзначені «Золотою медаллю» Японії, медаллю Болгарії «Золотий Орфей», дипломом 49-ї Міжнародної виставки нових технологій у Брюсселі «Єврика 2000». У Болгарії прийнято державну програму, яка передбачає застосування цих теплогенераторів у житлових будинках. Характеристики ТГС наведено у табл. 1.10. Планується протягом п'яти років установити 2040 теплогенераторів ТГС різноманітної номенклатури. Поки що це обладнання успішно функціонує лише в системі нагрівання води у басейні СКА України (м. Київ), що дає змогу експлуатувати басейн увесь рік, завдяки чому зникла потреба в автономній котельні. Середня окупність гідрогенератора складає 1,3 роки. Ціна ТГС залежить від потужності та обладнання теплогенератора, замовленого клієнтом.

Таблиця 1.10

Характеристики ТГС

Встановлена потужність електродвигуна помпи, кВт	Виробництво тепла, ккал/г	Об'єм будівлі, що обігрівається, м ³	Габарити, м
45	37000	1800	2,1×1,7
30	28620	1200	1,8×1,5
22	18834	800	1,8×1,5
15	12855	600	1,5×1,2
7,5	6427	300	0,8×0,6
3,0	2570	100	0,5×0,4

1.7.4. Електрообігрів на базі теплоакумулюючих електропечей

В окремих роботах [20] наводяться відомості про теплоакумулюючі електропечі (ТАЕП), що виготовляються на території СНД¹. Першою розробкою, що дійшла до стадії дрібносерійного випуску, варто вважати побутову електричну акумуляційну систему опалення Утенського заводу лабораторних печей і Литовського НДІ будівництва

¹ Нами зовсім не розглядаються ТАЕП на основі матеріалів з фазовим переходом. Ці ТАЕП поки що характеризуються неприпустимо малою (≈тисяч) кількістю циклів «зарядження – розрядження».

й архітектури. Система складається з 10 теплоаккумуляційних електродіалектротермічних печей потужністю 2 і 3 кВт, п'яти електронних регуляторів кімнатної температури і шафи керування. Аналіз нетривалої експлуатації (3–4 роки) утенських систем дозволяє говорити про вірність обраного напрямку. Однак проблеми матеріально-технічного забезпечення виробництва на Утенському заводі (дефіцит оцинкованої та нержавіючої сталі, високотемпературних нагрівальних елементів в оболонці з жаростійкої сталі, пускорегулюючої апаратури, блоків, що акумулюють, теплоізоляції) низький технічний рівень системи, її надійність і рівень електробезпеки.

Освоєну Запорізьким заводом надпотужних трансформаторів ПО «Запоріжтрансформатор» ТАЕП розроблено з урахуванням досвіду виготовлення перших вітчизняних акумулюючих приладів та кращих закордонних аналогів щодо вимог енергосистем країни на основі наявних матеріалів і комплектуючих.

Систему електротермічного теплоаккумуляційного опалення приміщень (СЕТОП) призначено для опалення одно- та двоквартирних житлових будинків, приєднаних до трифазної електричної мережі з напругою 380/220 В, з глухозаземленою нейтраллю силового трансформатора, зі споживанням електроенергії в нічний час (з 23:00 до 7:00), для якого діє пільговий тариф на електроенергію. Система складається з шафи керування ШУ-40, теплоаккумуляційних електродіалектротермічних печей потужністю 2; 4; 3,2; 4,8 кВт і регуляторів кімнатної температури РТЕ 02-03. Максимальна потужність системи складає 40 кВт, кількість опалювальних приладів і регуляторів температури не перевищує 12 шт. Набір опалювальних приладів з типорозмірного ряду і кількість терморегуляторів визначається проектом конкретного будинку. Перший досвід серійного виробництва й експлуатації побутових опалювальних акумулюючих систем на Запорізькому заводі надпотужних трансформаторів виявив, що поряд з високою ефективністю роботи устаткування існує неготовність народного господарства до масового виготовлення та експлуатації такого необхідного устаткування.

Зараз накопичувачі класу СЕТОП замінюються на ТАЕП нового покоління. Зокрема, компанією «СтройStyle» (ООО «Завод декоративної та облицювальної плитки «СтройStyle», м. Запоріжжя) розповсюджуються теплонакопичувачі ТЕХНО-ТЕРМ (табл. 1.11, рис. 1.1). Цю лінію складають 4 моделі (ТН 2520, ТН 2530, ТН 2540, ТН 2550) потужністю, відповідно, 2, 3, 4, 5 кВт. У конструкціях використано комплектуючі та технології РФ і Німеччини, що певним чином гарантує високу якість приладів. Упродовж 10-ти років здійснюється експлуатація ТАЕП цього типу в чотириповерховому офісному будинку НКРЕ по вул. Смоленській, 19 (м. Київ)

Виробником згаданих 4-х моделей теплонакопичувачів з 1996 р. є російсько-німецьке спільне підприємство ВАТ «Тагіл-Технотерм». Упровадження почалося з об'єктів бюджетної, муніципальної та соціальної сфери практично стихійно (табл. 1.12).

Зараз підприємство виробляє теплонакопичувачі з російських матеріалів та комплектуючих за винятком вентиляторів і автоматики (виключно німецького виробництва). Нещодавно на німецькому підприємстві «TECHNOTHERM International GmbH» (м. Нюрнберг) успішно проведено випробування теплонакопичувача, виготовленого на підприємстві ВАТ «Тагіл-Технотерм». Теплонакопичувач має стаціонарне підключення до мережі трифазного струму з напругою 380 В. Клас захисту від ураження електричним струмом – І. Ступінь захисту забезпечується оболонкою ІР20 за ГОСТ 14254-96. Теплонакопичувачі відповідають ГОСТ Р МЭК 335-2-61-94, ГОСТ Р МЭК 335-1-94 і повністю сертифіковані. Їх вартість

(ціни зі складу у м. Єкатеринбурзі, станом на 1.01.2005 р.) перебуває у межах 600÷1000 доларів США за ТАЕП і коливається залежно від потужності та комплектації.

Таблиця 1.11

Теплонакопичувачі ТЕХНОТЕРМ

Модель	Потужність, що споживається, кВт	Напруга мережі, В	Час заряду, год	Величина заряду, кВт*год	Розміри, см	Вага, кг
ТН 2520	2	400V/230В	8+19	16	65x67x25,5	110
ТН 2530	3	400V/230В	8+19	24	85x67x25,5	155
ТН 2540	4	400В	8+19	32	105x67x25,5	205
ТН 2550	5	400В	8+19	40	125x67x25,5	250

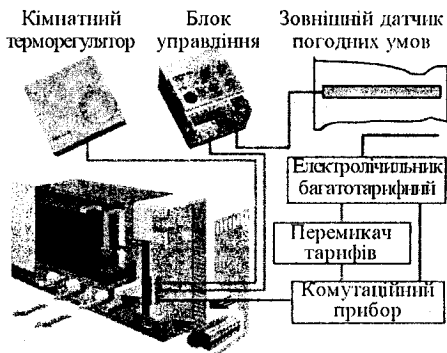
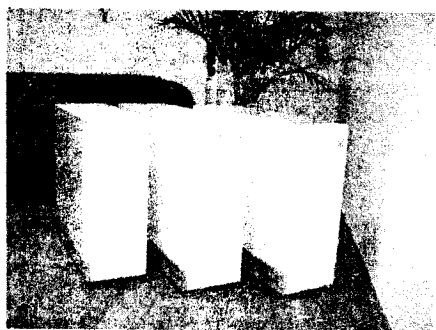


Рис. 1.1. Теплонакопичувачі ТЕХНОТЕРМ.
Загальний вигляд та схема функціонування

Питома вартість опалювання знаходиться в інтервалі 27 – 42 \$/м². Серед списку прикладів упровадження – школи, АЗС, адміністративні будинки у 15-ти регіонах Росії від Астрахані до Архангельська (табл. 1.12, рис. 1.2 – 1.6). Географія поширення ТАЕП відстежує «культуру» тарифів, диференційованих за періодами часу. Свердловська область була однією з перших в РФ, де було впроваджено ці тарифи.

Нещодавно в Україні з'явилися теплонакопичувачі українсько-польського виробництва (НВП «Укрполенергія») [49]. Їх лінія складається з моделей КОА2\2, КОА3\2, КОА4\2, ДОА20\2, ДОА30\2, ДОА40\2, ДОА50\2 (табл. 1.13). Перші три моделі потужністю, відповідно, 2, 3, 4 кВт, відносяться до ТАЕП другого типу (віддача тепла за рахунок природної конвекції у вертикальних внутрішніх каналах, зроблених в акумуляційному блоці); чотири інші моделі є ТАЕПами третього типу (потужністю, відповідно, 2, 3, 4, 5 кВт). Розроблено також інші модифікації. Вартість коливається залежно від потужності та комплектації в межах 400÷1200 доларів США за один ТАЕП. За наведеними даними, питома вартість опалювання перебуває в інтервалі 24 – 52 \$/м². Подібно до теплонакопичувачів ТЕХНОТЕРМ, акумуляційним матеріалом ТАЕП виробництва НВП «Укрполенергія» є магнетит. Тому масогабаритні характеристики є майже ідентичними. Але ТАЕПи виробництва НВП «Укрполенергія» мають деякі суттєві конструктивні та технологічні відмін-

ності, що підвищують ефективність їх роботи. Стверджується, що за рахунок електронного регулювання загальне споживання електричної енергії на опалення знижується на 30 %, за рахунок чого термін окупності капіталовкладень (при існуючих тарифах) орієнтовно складає 2,5 – 3 роки. Перші ТАЕП цього типу вже встановлено на об'єктах бюджетної сфери та комунальної власності, наприклад, у с. Нетурепка Корсунського р-ну Черкаської обл. [49].

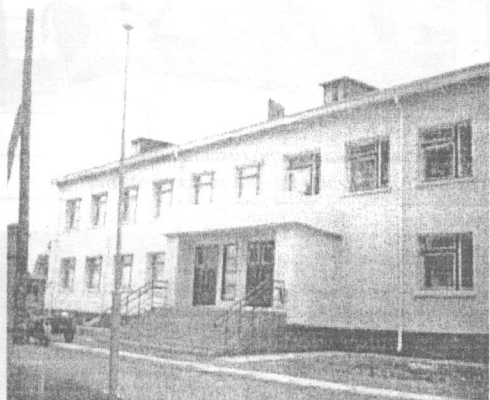
Таблиця 1.12

Приклади впровадження ТАЕП (сортування за роком здачі в експлуатацію)

№ п/п	Тип об'єкта впровадження	Місце	Встановлена потужність, кВт	Початок роботи	
				місяць	рік
1.	Торговий центр	Урал, Єкатеринбург	50	груд.	1997
2.	Торговий центр	Урал, Єкатеринбург	54	серп.	1998
3.	АЗС	Урал, Єкатеринбург	37	верес.	1998
4.	Метеолокатор, а/п	Урал, Єкатеринбург	30	трав.	1998
5.	Магазин	Урал, Єкатеринбург	28	верес.	1998
6.	Музей «Павільйон Росії»	С.-Петербург	52	січн.	1999
7.	Торговий центр	Урал, Нижній Тагіл	14	серп.	1999
8.	Католицька церква	Урал, Нижній Тагіл	12	верес.	1999
9.	Сервіс Центр	Урал, Єкатеринбург	83	верес.	2000
10.	Школа, село	Урал	53	верес.	2000
11.	магазин	Урал, Єкатеринбург	48	січн.	2000
12.	Адміністративний будинок	Урал, Єкатеринбург	435,5	лют.	2000
13.	Адміністративний будинок	Урал, Єкатеринбург	639	серп.	2001
14.	Музей «Будинок Петра І»	С.-Петербург	40	серп.	2001
15.	Котедж	Урал, Єкатеринбург	39	жовтн.	2001
16.	Комплекс будинків	Пермь	348	груд.	2001
17.	Автоматизація	Петрозаводськ	32	жовтн.	2001
18.	Авто центр	Урал, Єкатеринбург	263	серп.	2001
19.	Торговий центр	Уфа	95	груд.	2002
20.	БО	Урал, Єкатеринбург	84	бер.	2002
21.	Адміністративний будинок	Урал, Ірбіт	47	бер.	2002
22.	Автоматизація	Урал, Єкатеринбург	29	верес.	2002
23.	Магазин	Урал, Єкатеринбург	24	лют.	2002
24.	Кафе	Ханти-Мансійськ	85	бер.	2003
25.	АЗС	Архангельськ	69	трав.	2003
26.	Торговий центр	Петрозаводськ	46	груд.	2003
27.	Торговий центр	Урал, Першоуральськ	80	лют.	2004
28.	Адміністративний будинок	Урал, Єкатеринбург	66	верес.	2004
29.	Школа, село	Карелія	162	черв.	2004
30.	Школа, село	Урал, Єкатеринбург	289	лют.	2005



*Рис.1.2. Школа у с. Меркушино, Свердловська обл., потужність системи 53 кВт, вересень 2000 р.
Вигляд іззовні та з середини*



*Рис.1.3. Школа у с. Ламбасручей, респ. Карелія, потужність системи 162 кВт, червень 2004 р.
Вигляд іззовні та зсередини.*

За інформацією інституту «Укрсілэнергопроект»¹, в с. Стави Кагарлицького району Київської області знаходиться діючий фрагмент проекту широкого застосування електричної енергії для обігріву приміщень у сільських населених пунктах, розробленого за ініціативою Мінсілгоспу України. З планованих 200 будинків у цьому селі на електрообігрів переведено лише 13 будинків по вулиці Шевченка. Електрообігрів здійснюється за допомогою ТАЕП типу *AD20RB*, *AD30RB*, *AD45RB*, *AD60RB* та *AD80RB* потужністю, відповідно, 2; 3; 4,5; 6 і 8 кВт виробництва заводу «Кремниця» м. Банска-Бистриця колишньої ЧССР (нині Словаччина). Понад 20 років ТАЕП все ще знаходяться в робочому стані. Кожна квартирна система живиться окремим фідером від трансформаторної підстанції напругою

¹ Автори вдячні В.Г. Стафійчуку за надану інформацію.

10/0,4 кВ з потужністю 400 кВА, який складається з кустарних щитків керування, 3 – 5 теплоакумлюючих електропечей середньою загальною потужністю ≈ 25 кВт і заводських регуляторів кімнатної температури. У будинку, як резерв, залишилися вогневі печі. Саме ним, хоча ТАЕП добре себе зарекомендували навіть при сильних морозах, жителі с. Стави віддають перевагу при опаленні. Причиною є високі тарифи на електроенергію. Так, за словами господаря будинку по вул. Шевченка, 133, за нинішнім (на початок березня 2006 р.) двозонним тарифом плата за нічну електроенергію складає 600 – 700 грн. за місяць, тоді як опалення вугіллям обходиться удвічі дешевше.

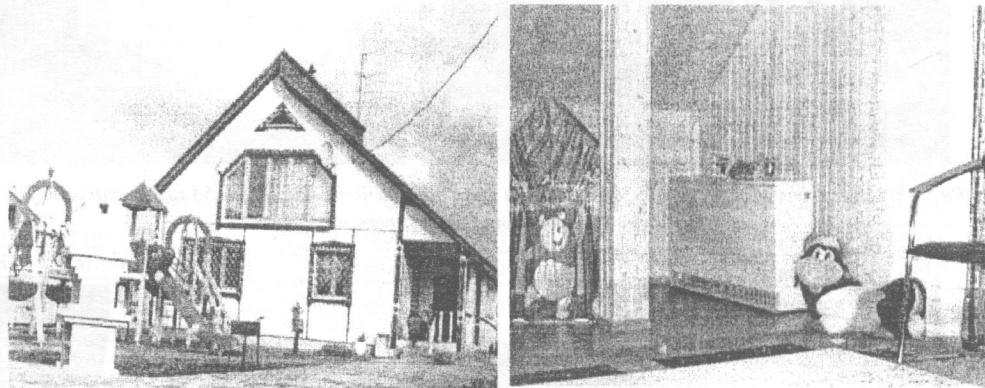


Рис. 1.4. Приватний будинок у с. Б. Сидельниково, Свердловська обл., потужність системи 39 кВт, жовтень 2001 р. Вигляд іззовні та зсередини.

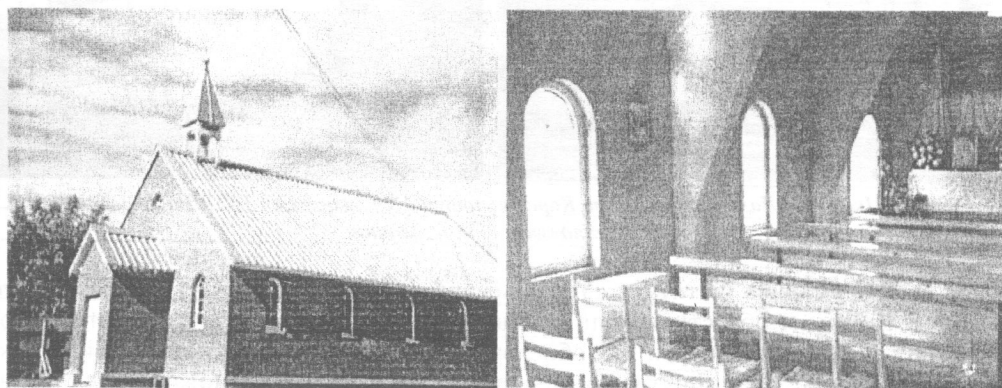


Рис. 1.5. Католицька церква - у м. Нижній Тагіл, Свердловська обл., потужність системи 12 кВт, жовтень 1999 р. Вигляд іззовні та зсередини.

Можна бачити, що технологія ТАЕП досить відома як в Україні, так і в РФ. Більш широке розповсюдження ТАЕП останнім часом знайшли у РФ. Але обом країнам притаманна очевидна обмеженість використання ТАЕП в індивідуальних домогосподарствах.

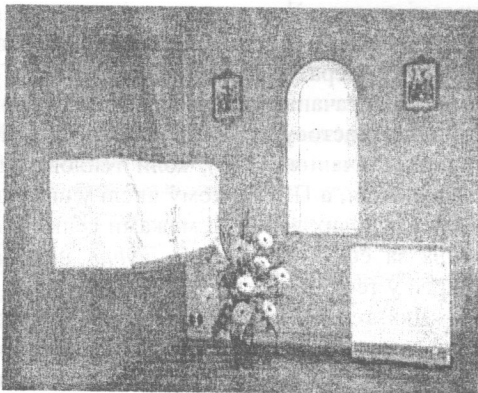
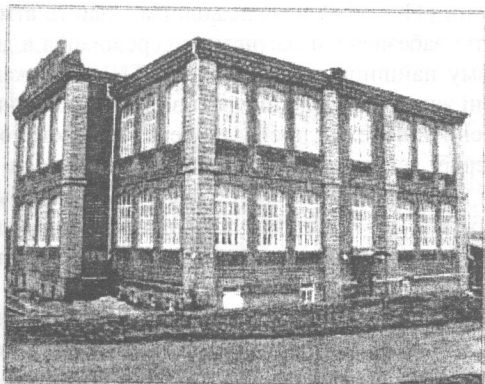


Рис. 1.6. Школа № 2 у м. Верхотур'є, Свердловська обл., потужність системи 289 кВт, лютий 2005 р. Видляд іззовні та зсередини.

Таблиця 1.13

ТАЕП українсько-польського ЗАТ «Укрполенергія»

Модель	Потужність, кВт	Напруга мережі, В	Розміри, см	Маса, кг
КОА2\2	2	220	69×63×19	120
КОА3\2	3	380	92×63×19	180
КОА4\2	4	380	115×63×19	225
ДОА20\2	2	220/380	65×68×26	113
ДОА30\2	3	220/380	83×68×26	158
ДОА40\2	4	380	102×68×26	210
ДОА50\2	5	380	120×68×26	257

Від ідеології ТАЕП до прийняття концепції електротеплоаккумуляційного опалення на базі нагрівальних кабелів, яке забезпечує більш якісне фізіологічне і функціональне опалення, лише один крок. До речі, при масовій забудові питома вартість кабельних систем опалення буде помітно меншою, ніж питома вартість ТАЕП. Необхідно своєчасно зробити правильний вибір між двома цими видами опалення.

1.8. Електрообігрів на базі теплонасосних установок

Теплонасосні установки (ТНУ)¹ використовують різні джерела низько потенційного тепла з температурою до 40 - 70 °С (високотемпературні промислові скиди і геотер-

¹ ТНУ виконують зворотний термодинамічний цикл на низькокип'ячій робочій речовині за рахунок низькопотенційної теплової енергії з навколишнього середовища. ТНУ витрачають у 1,2 - 2,3 рази менше первинної енергії, ніж при прямому спалюванні палива. Крім збереження ПЕР, що не поновлюється, цим досягається також скорочення викидів CO₂ в атмосферу.

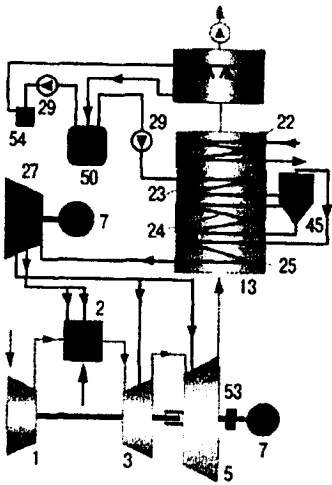
мальні джерела)¹, у тому числі ґрунтові води (11 - 15 °С); води водойм і навіть атмосферне повітря (5 °С). При цьому ТНУ здатні забезпечити нагрівання середовища в діапазоні температур від 27 °С до 110 °С. Тому найширше застосування ТНУ одержали в теплопостачанні, гарячому водопостачанні житлових, адміністративних і виробничих будинків. Застосування ТНУ дозволяє здійснити перехід до систем децентралізованого теплопостачання (СДТ), коли теплова енергія генерується безпосередньо на місці її споживання, а ПЕР (у тому числі у вигляді поновлюваних джерел енергії) спалюються у промислових зонах за межами селітебних зон. ТНУ, подібно до приладів одержання тепла за ефектом *Джоуля-Ленца*, належать до приладів трансформації електричної енергії у теплову.

Для теплонасосних установок характерним є нерівномірне їх розповсюдження. Піки зацікавленості у ТНУ співпадають з черговими енергетичними кризами. Певний час перспективи застосування теплових насосів для опалення приміщень оцінюються як добрі [50-52]. Так, у 1990 році в ФРН перебувало в експлуатації 53 600 одиниць опалювального устаткування з тепловими насосами. Але цікаво, що пізніше у США щорічно реалізувалося 1 млн. одиниць опалювального устаткування з тепловими насосами, у Японії – 3 млн. У той же час у ФРН 1980 р. було реалізовано близько 20 тисяч теплових насосів, у 1984 р. - лише 6 тисяч, а в 1986 р. ринок був практично відсутнім. Зараз у всьому світі відновлюється інтерес до ТНУ. Про це свідчать численні дані, наведені «у Стратегії» [1].

ТНУ в багатьох випадках здатні також забезпечити енергією теплотехнологічні процеси, такі як сушіння, тепло- та холодозабезпечення сховищ сільськогосподарської продукції, МТФ [53]. Потужність теплонасосних установок перевищує потужності усіх існуючих теплоджерел, у тому числі малих і середніх ТЕЦ. Застосування теплонасосних установок є досить перспективним у комбінованих системах, у поєднанні з іншими технологіями використання ПЕР. Прикладом може бути гібридна схема (рис. 1.7), у якій реалізується складний цикл на базі ПГУ контактного типу з енергетичним упорскуванням пари — з теплонасосною установкою виробництва ММПП «Салют» (Москва) [54, 55]. Досягнення високого рівня ефективності використання палива можливе при теплофікації. Застосування теплонасосних установок дозволяє ще більше підвищити к.к.д., у тому числі поновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, біоенергії).

ТНУ застосовуються зараз ширше не тільки в розвинутих країнах, але і в усьому світі. ТНУ-теплозабезпечення часто є одним із найбільших, прогресуючих у розвитку, інвестиційно привабливих секторів опалення будинків. До кінця 2004 р. теплова потужність встановлених у Європі ТНУ перевищила рівень попереднього року на 20 % і склала 4,5 ГВт. Абсолютним лідером у цьому процесі стала Швеція, де ТНУ встановлено в 185 тис. житлових будинків із сумарною тепловою потужністю 1,7 МВт (37,7 % від усієї європейської потужності). Швеція володіє розвинутою прибережною смугою (тобто дешевим і доступним джерелом низькопотенційного тепла від води), і більшість її могутніх ТНУ розташована в портових містах. До групи провідних країн світу, у яких широко застосовуються ґрунтові ТНУ, увійшла Польща. Приклад Польщі для України є особливо повчальним, оскільки термоіноваційні технології у Польщі стартували лише кілька років тому.

¹ При температурах джерел тепла, вищих за 70 °С, стає доцільною утилізація тепла шляхом використання звичайних теплообмінників.



*Рис. 1.7. ТНУ контактного типу з упорскуванням пари в камеру згоряння і теплонасосною установкою:
 1 – компресор високого тиску; 2 – камера згоряння;
 3 – турбіна високого тиску; 5 – турбіна низького тиску;
 7 – споживач потужності; 13 – котел-утилізатор;
 22 – газовий підігрівач конденсату; 23 – економайзер високого тиску; 24 – випарник високого тиску;
 27 – парова турбіна, циліндр високого тиску; 29 – насоси;
 45 – сепаратор; 53 – редуктор; 54 – тепловий насос.*

У «Стратегії» також ставиться завдання щодо максимальної відмови від прямого спалювання органічного палива, у тому числі за рахунок кращого розвитку в найближчому десятилітті ТНУ-технологій. Однак, поширення ТНУ вимагає державного стимулювання або збігу сприятливих умов. Дієвим засобом стимулювання до застосування ТНУ є тарифи. У цілому, при аналізі ефективності ТНУ найбільше значення мають тенденції не абсолютних показників вартості електричної і теплової енергії, а їх співвідношення. На сьогодні інтенсивно розвиваються ТНУ з трьома типами робочих тіл:

- хладонами, або парокompресійні ТНУ з парорідинним термодинамічним циклом; у випадку когенерації коефіцієнт використання первинної енергії приводу порівняно з електричним зростає в 1,5 рази і легко забезпечується висока економія теплових насосів;
- водою і водним розчином бромистого літію, або абсорбційні ТНУ з парорідинним термодинамічним циклом (крім прямого спалювання палива необхідна теплова енергія може надходити від викидних потоків речовини у вигляді газів, що відходять, гарячої води, відпрацьованої пари тощо);
- діоксидом вуглецю ($R744$), тобто ТНУ нового покоління, що здійснюють газорідинний термодинамічний цикл; саме унікальні термодинамічні та теплофізичні властивості $R744$ дозволяють створити теплові насоси великої теплової потужності, що мають істотні переваги над традиційними за енергетичною ефективністю та масогабаритними характеристиками.

Крім відомих світових виробників ТНУ, за останні роки з'явилися розробники і виробники теплових насосів у Росії [56]:

- ЗАТ «Енергія» (Новосибірськ), парокompресійні теплові насоси (ПТН) з теплопродуктивністю від 150 до 8000 кВт;
- ВАТ «Московський завод Компресор», ПТН із теплопродуктивністю 200 – 800 кВт;
- ВАТ «КемеровоХиммаш», абсорбційні термотрансформатори (АТТ) з теплопродуктивністю 1700 - 11000 кВт;
- ЗАТ НПФ «Тритон» (Нижній Новгород), ПТН із теплопродуктивністю 100 – 1000 кВт.

Ці підприємства освоїли теплові насоси нового покоління, що працюють на екологічно безпечних робочих речовинах – фреонах (*ДО134а, R22, R142b*). У парокompресійних теплових насосах використовуються сучасні гвинтові, спіральні та поршневі компресори з вбудованим електроприводом, а також нові чіпи високоінтенсивної теплообмінної апаратури з малою ємністю за робочою речовиною. Абсорбційні теплові насоси нового покоління як джерело енергії використовують теплову енергію (гаряча вода, відпрацьована пара, пряме спалювання газу). Як робоча речовина в абсорбційних теплових насосах використовуються вода і водний розчин бромистого літію. Науковими дослідженнями і розробками у сфері теплових насосів займається багато провідних інститутів Росії. Розроблено ряд типових схем теплопостачання на базі теплових насосів для використання в системах ТЕЦ, КЕС, АЕС, ЦТП міського господарства, вугільних шахт, у системах із використанням геотермальних вод, тощо. Обґрунтовано умови їхнього ефективного застосування [56].

Теплові насоси, що випускаються, у СНД використовуються практично тільки в СДТ. Діючий парк цих машин сягає 100 одиниць із загальною тепловою потужністю близько 80 МВт. У застосуванні теплових насосів для СДТ діють ринкові фактори: вартість електроенергії, палива, тепла. Часто стимулом є не вигідність використання централізованого теплопостачання. Стримуючим фактором є застарілі норми температурних графіків теплопостачання, завищені температури мережної води, що знижує ефективність застосування теплових насосів.

Особливістю теплопостачання в Україні (на відміну від більшості країн світу, крім Росії) є домінування систем централізованого теплопостачання (СЦТ) у містах. У цих системах ТНУ зараз практично не застосовуються. Ринкові стимули тут цілком вичерпані, оскільки відсутні структури, зацікавлені у заміщенні органічного палива. При цьому СЦТ несуть величезні системні енергетичні втрати, що насамперед пов'язані:

- з величезними викидами низькопотенційного тепла, перш за все, системою охолодження технічної води на ТЕЦ, що збільшуються в період зниження теплового навантаження в неопалювальний період;
- збільшенням витрат палива при виробництві електроенергії в умовах зниження теплового навантаження;
- великими витратами тепла на нагрівання мережної води, що заповнює її втрати в тепломережах;
- великими втратами тепла в тепломережах, у тому числі через невиправдано високі температури мережної води;
- дефіцитом мережної води в багатьох районах міста через обмежену пропускну здатність існуючих мереж.

Для використання в СЦТ потрібні теплові насоси великої теплової потужності (20 – 100 МВт в одному агрегаті). На базі існуючих типів теплових насосів такі потужності не можуть бути реалізовані. Крім того, при створенні теплових насосів великої потужності з урахуванням вимог Кіотського протоколу проблема необхідності використання екологічно безпечних робочих речовин з ряду «природних» (аміак, вуглеводні, діоксид вуглецю, вода, повітря) стає досить актуальною. Прикладом ТНУ, яка показала високу ефективність і зараз успішно експлуатується, є організація комбінованого теплопостачання в м. Слюдянка (РФ) [57].

В Україні поки що ТНУ практично не застосовуються, й у найближчі 5 років не передбачається створення умов для власної виробничої бази з випуску теплових насосів великої потужності з відцентровими компресорами. Відсутні носії (у вигляді науково-дослідних і венчурних підприємств) корпоративної ідеології використання ТНУ в СДТ.

Типові схеми теплопостачання з ТНУ поки що не адаптовано до умов України. Відсутня щільна зона житлових будинків з СДТ на базі ТНУ. Найявний досвід зводиться до експлуатації (щоправда, досить тривалої – з 1998 р.) однієї ТНУ в 6-поверховому будинку.

Однак, говорити про повну байдужість в Україні до ТНУ не доводиться. У Київ-ЗДНІЕП діє центр енергозбереження по застосуванню ТНУ в житловому секторі України¹. Ним розглянуто доцільність встановлення теплового насоса в споруджуваному добре утепленому приватному житловому будинку площею близько 300 м² (табл. 1.14) порівняно зі звичайним варіантом теплопостачання від газового котла. Наведемо деякі цікаві результати розрахунків [58].

Таблиця 1.14

Результати техніко-економічної оцінки двох альтернативних варіантів опалювальної системи приватного житлового будинку площею 300 м²

Техніко-економічні показники	Газовий котел	Тепловий насос
1	2	3
Теплова потужність, кВт	18	18
Електрична потужність, кВт	–	5
Максимальна витрата газу, м ³ /год	2,15	–
Споживання електроенергії, кВт•год/рік	–	8 500
Споживання газу, м ³ /рік	3 660	–
Витрати на електроенергію, \$/рік (при ціні 0,045\$/кВт•год)	–	460
Витрати на закупівлю газу, \$/рік, при ціні:		
– 300 \$/тис, м ³	1100	–
– 600 \$/тис, м ³ ;	2200	–
– 900 \$/тис, м ³	3300	–
Економія коштів на енергоносіях, \$/рік:		
– 300 \$/тис, м ³ ;	–	640
– 600 \$/тис, м ³ ;	–	1740
– 900 \$/тис, м ³	–	2 840
Вартість теплового насоса, \$	–	6 500
Вартість ґрунтового теплообмінника, \$	–	5 500 1500
Подорожчання системи опалення, \$	–	1500
Вартість допоміжного устаткування, \$	–	2 700
Подорожчання монтажних робіт, \$	–	1800
Вартість газової котельні, \$	1500	–
Вартість газопроводу, \$	1000	–
Додаткові витрати на тепловий насос, \$	–	15 500

Дані табл. 1.14 відбивають лише загальний характер витрат, тому фактичні значення окремих величин у різних будинках можуть помітно коливатися. Особливо це стосується витрат на спорудження ґрунтового теплообмінника, параметри якого залежать від геологічних умов майданчика будівництва, а також витрат на будівництво газопроводу. Строк окупності, навіть при ціні 300 \$/тис. м³, сягає 25 років. За словами керівника дослідження В.Ф. Гершковича: «Звичайно, 25 років – це занадто тривалий

¹ Керівник центру енергозбереження к.т.н. В.Ф. Гершкович.

строк окупності первинних витрат, і якщо виходити тільки з вигідності інвестування, то тепловий насос не влаштовує, принаймні зараз, коли вартість газу ще не досягла 300 дол. США/тис. м³».

Цікава оцінка результатів широкомасштабного впровадження ТНУ в СДТ, що наводиться в табл. 1.15 [58].

Оцінка обсягів заміщення природного газу складає 2 млрд. м³/рік або 2,67 % від загальної кількості спожитого в 2005 р. природного газу.

Таблиця 1.15

Оцінка наслідків упровадження в Україні потенціалу теплових насосів

Види наслідків	Кількість
Економія природного газу, млрд. м ³ /рік	2
Економія коштів на закупівлю газу, млрд. \$/рік, при ціні:	
– 300 \$/тис. м ³ ;	0,6
– 600 \$/тис. м ³ ;	1,2
– 900 \$/тис. м ³	1,8
Витрати на електроенергію, млрд. \$/рік	0,2
Економія коштів на енергоносії, млрд. \$/рік, при ціні газу:	
– 300 \$/тис. м ³ ;	0,4
– 600 \$/тис. м ³ ;	1,0
– 900 \$/тис. м ³	1,6
Витрати на теплонасосне опалення, млрд. \$	5,4
Строк окупності інвестицій, років, при ціні газу:	
– 300 \$/тис. м ³ ;	14
– 600 \$/тис. м ³ ;	5,5
– 900 \$/тис. м ³	3,5

Питання проектування енергоактивних будинків, де системи електроопалення і гарячого водопостачання пов'язувалися з тепловими насосами, розглядалися ще в 1991 р. [55]. Повідомляється про плани доповнення опалювальної системи, що акумулює, тепловим насосом для комбінованого обігріву приміщення. Виходячи з огляду перспективи використання ТНУ в Україні можна зробити ряд висновків.

1. Застосування ТНУ обумовлюється вимогами скорочення або помітного заміщення вуглеводневих ПЕР у муніципальній енергетиці (високою собівартістю тепла в системі СЦТ) і високими екологічними вимогами. Саме така ситуація склалася в Україні після входження її до Київського протоколу, орієнтації на ЄС-стандарти і переходу на світові ціни на ПЕР.

2. Необхідним є проведення досліджень, спрямованих на вивчення можливості використання сучасних ефективних енергозберігаючих технологій одержання теплової енергії на базі ТНУ щодо умов України.

3. Необхідним є проведення оптимізаційних техніко-економічних досліджень комбінованих тепловиробляючих установок, що складаються з ТНУ і пікового джерела тепла. Як пікове джерело можна розглядати електрокотельню, котельню на рідкому органічному паливі (рідке грубе паливо) і вугільну котельню.

4. У результаті оптимізаційних розрахунків потрібно визначити і порівняти технічні (площу поверхні теплообмінників, тиск і витрату робочих тіл, потужність фрео-

нового компресора, потужність електрокотлів, конструктивні характеристики водогрійних котлів на органічному паливі і т.д.) та економічні характеристики (капітало-вкладення, експлуатаційні витрати та ін.) різних варіантів сполучення ТНУ і пікового джерела тепла в широкому діапазоні цін на електроенергію та органічне паливо.

5. Наведені в табл. 1.15 дані про строки окупності свідчать скоріше про інноваційну *непривабливість* ТНУ для СДТ. У справі поширення ТНУ в умовах України як країни із суворими континентальними кліматичними умовами необхідно зробити концептуальний прорив у справі поширення ТНУ для СДТ. Паузу на час знаходження «української» концепції ТНУ доречно заповнити електротеплоакумуляційною технологією опалення.

1.9. Зіставлення розглянутих видів електрообігріву

Кожен із розглянутих видів опалення характеризується комплексом технічних, економічних показників, споживчих характеристик. Деякі з них часто можуть бути викладені лише вербально, наприклад, сьогоденна або перспективна забезпеченість паливним ресурсом населеного пункту *N*. Тому вимоги споживача до способу обігріву можуть коливатися у широкому діапазоні, і в кожному конкретному випадку (помітно чи ні, успішно або не дуже) вирішується завдання вибору серед багатьох можливостей найбільш раціонального типу опалення. Часто вибір «найкращого» серед кількох способів обігріву не є простим, однозначним і потребує застосування певної методики. У наступних розділах також проводиться зіставлення електротеплоакумуляційного опалення з традиційними видами опалення. Особлива увага приділяється системам центрального опалення, як найбільш поширеним. Оплата за теплову енергію в системі центрального опалення проводиться кінцевим енергоспоживачем за тарифами теплопостачальних компаній, де у досить складний спосіб усереднюються вкладки вугільної, газової, атомної та інших складових енергобалансу ПЕР. Оскільки чи не єдиними недоліком електрообігріву є високі питомі витрати на одиницю енергії, то найбільш критичним аналізом буде аналіз розглянутих способів обігріву за найбільш універсальним показником – ефективністю використання енергії з основних видів енергоносіїв. Але методика визначення ефективності електрообігріву ще відсутня. Її розробка є актуальним, але наступним завданням упровадження. Зараз (табл. 1.16) наведемо розрахункові дані, необхідні для кількісного зіставлення різних видів енергопостачання, у тому числі для опалення, у масштабах одного статистичного домогосподарства, потреби в енергії якого взимку (опалювальний період) оцінюються в середньому на рівні 10 кВт. При цьому не будемо враховувати такі характеристики обігріву, як його споживча якість, фізіологічність, надійність, доступність, екологічність тощо. Вибір виду обігріву визначається насамперед доступністю первинного енергоносія. Наприклад, у значній кількості сільських населених пунктів України ще зберігається ситуація, коли деревина залишається основним видом палива. Більше того, використання біомаси за допомогою сучасних котлів та технологій є дуже перспективним з точки зору останньої Європейської доктрини енергозбереження. Також, у випадку переходу на європейські ціни на природний газ багато індивідуальних енергоспоживачів повинні будуть переглянути доцільність забезпечення свого домогосподарства саме газовими приладами теплопостачання.

При одержанні даних табл. 1.16 вважалося, що ціни на енергоносії для кінцевого споживача мають складну структуру, залежать від багатьох факторів, частина яких не тільки не може бути узагальненою, а навіть не може бути формалізованою (наприклад,

мінливість цін на нафту, особливості законодавства окремої країни). Тому наводяться оптові (біржові) ціни на основні енергоносії. Водночас вважалося, що витрати на виробництво електро- і теплоенергії повністю відбиті у тарифах. Ціна була зафіксована такою, яка була в Україні до 2006 р. включно. Поки ще не враховується дія таких факторів, як коефіцієнт корисної дії $k.k.d_{\text{тепл}}$ – ефективність трансформації електричної енергії у теплову (джерело переділ), частка паливної складової у ціні одиниці енергії, амортизаційні відрахування. У якості базового було прийнято спосіб забезпечення тепловою енергією за рахунок спалювання у котлі твердого палива, а саме вугілля. Було передбачено, що вартісні показники цього способу є мірилом показників і складових усіх способів одержання теплової енергії. Результати розрахунків наведено у табл. 1.16.

Таблиця 1.16

Зіставлення складових капітальних та експлуатаційних витрат різних способів електрообігріву та системи централізованого тепlopостачання (СЦТ) щодо твердопаливного котла

Адантовані до вартості котла на твердому паливі (вугілля) витрати та наведена паливна складова	Процес одержання теплової енергії									
	СЦТ	пряме спалювання					переділення електроенергії			
		вугілля	природний газ	зріджений газ	мазут	дизпаливо	пряме елект-ричне	ЕТА ¹	ТАЕП III типу	ТНУ ²
Складова (котел, кабелі, ТЕНи, тощо)	0	40	10	10	10	10	55	115 ²	405	486 ³
Бойлер	0	0	93	93	93	93	0	0	0	0
Система опалення для ЕТА	60	60	60	60	60	60	0	35	0	59,5 ³
Витрати на підключення до мережі та додаткове обладнання (грунтовий теплообмінник, бакунакопичувач, паливний балон, його заправлення, монтажні роботи тощо)	9	0	20	6,3	7,1	7,1	0	10	3	50,6
Усього, капітальні витрати	69	100	183	169	170	170	55	160	408	596
Оцінка часу впровадження у масове використання, рік	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Паливна складова експлуатаційних витрат, тарифи	236	100	186	643	386	746	171	42,9	42,9	4,29

Примітки: ¹ У тому числі ЕКСО ТА; з накопичуванням виробленої різними способами (електрокотлами, гідродинамічними перетворювачами типу «Термер» гарячої води у баках-акумуляторах).
² Обігрівач, регулятори, багатотарифний лічильник.
³ Джерела низкопотенціальної теплоти та пристрої для її утилізації (наприклад, ґрунтові теплообмінники).

Із проведеного аналізу літературних даних і вітчизняного досвіду електрообігріву впливає ряд висновків. Вони частково містяться в підсумковій праці з аналізу перспектив розвитку технологій електрообігріву в Україні [59]:

1. Існування електротехнологій обігріву ЖКК, біологічних об'єктів у тваринництві та рослинництві, в інших галузях агропромислового виробництва, а також електроопалення осель в АПК, житловому секторі України є фактом. Проте ані якісні, ані кількісні його показники не відповідають сучасним вимогам, у тому числі щодо енергозбереження.

2. Інтерес до проблеми практично ніколи не зникав, а з плином часу – тільки збільшувався. На особливу увагу заслуговують цикли досліджень, що були проведені в СРСР в 70-х роках [27-29], а в Україні – на початку 90-х років минулого століття [14-21].

3. Найбільш поширеним засобом упровадження електрообігріву є використання звичайних електротеплових приладів типу електродних котлів, обладнаних акумулюючими ємностями для гарячої води. Такий засіб електрообігріву відповідає тільки початковому, а не сучасному, етапу розвитку технологій електрообігріву.

4. Розвиток електрообігріву здійснювався суто емпіричним шляхом, без проведення фізико-математичного моделювання як гіпотетичних, так і найбільш важливих практичних випадків, особливо, у нестаціонарному режимі. Дані, отримані за спрощеними інженерними методиками, мають оціночний характер.

5. Необхідною є розробка науково-технічних засад технології електрообігріву та створення теплотехнічних основ електрообігріву як електротехнології енергозберігаючого виду з відповідними схематичними рішеннями. Постановка та вирішення цих задач необхідні для забезпечення розповсюдження до масштабів, які відповідають потребам розвинутої країни з ринковим статусом, лібералізованим ринком електроенергії, і яка бажає інтегруватися до світового економічного простору в умовах різкого зменшення витрат природного газу на теплопостачання.

6. З даних табл. 1.16 випливає, що електроопалення не є найбільш витратним видом опалення ані за капітальними, ані за експлуатаційними витратами. Більше того, за певних умов, особливо з урахуванням високих споживчих властивостей, електрообігрів та електроопалення за техніко-економічними показниками не поступається традиційним способам опалення і може бути рекомендованим як масовий вид опалення.

7. З даних табл. 1.17 випливає, що впровадження електрообігріву слід проводити у два етапи. На першому етапі очікується широке розповсюдження електротеплоакумуляційних технологій (кабельних, теплоакумуляційних печей тощо). Для них уже розроблено вітчизняну нормативну і технічну базу, накопичено великий досвід з їх використання. На другому етапі найбільш перспективним видом електроопалення можна вважати теплоакумуляційний, за допомогою теплонасосних установок, які працюють у переривчастому режимі: вночі, в інтервалі нічного провалу графіка навантажень, за допомогою теплових насосів з ґрунтових водних джерел низькопотенційного тепла у водяних баках-акумуляторах накопичується запас теплової енергії; потім упродовж денного інтервалу теплову енергію витрачають на потреби споживача. Але поки на ринку ще відсутні пропозиції щодо дешевих теплонасосних установок із прийнятним терміном окупності, причому практично відсутній досвід роботи теплових насосів на водяний бак-акумулятор. Очікується, що протягом 5-ти найближчих років на українському ринку з'являться необхідні теплонасосні установки.

8. Актуальною стає фаза впровадження електрообігріву шляхом перевірки одержаних результатів у ході дослідної експлуатації на реальних (пілотних) об'єктах та зонах.

Таблиця 1.17

Ранжування відносних зведених витрат за основними видами обігріву (за базові прийнято витрати на обігрів вугіллям у твердопаливних котлах)

Капітальні витрати	Пряме ЕО	СЦТ	Вугілля	ЕТА	Зріджений газ	Мазут	Дизельне паливо	Природний газ	ТАЕП III типу	ТНУ
	55	69	100 ¹	161 ²	169	170	170	183 ³	408 ²	596 ²
Експлуатаційні витрати	ТНУ	ТАЕП III типу	Вугілля	ЕТА	Пряме ЕО	Природний газ	СЦТ	Мазут	Зріджений газ	Дизпаливо
	4,29	42,9	100	161	171	186	236	386	643	746

- Примітки: ¹ Без урахування транспортних витрат до кінцевого споживача. Транспортні витрати можуть удвічі-втричі підвищити вартість палива.
- ² Необхідні з боку послугопостачального підприємства деяких зусиль на узгодження з наглядовими органами, встановлення приладів багатозонного обліку. Також необхідна перевірка на відповідність встановленої потужності електрообігріву енерговводу житла (подібно до встановлення побутової техніки, наприклад, пральної машини тощо).
- ³ Враховані витрати на технічний проект, узгодження з наглядовими органами та проведення відводів відгалужень від магістральних газопроводів. Інші види обігріву постачаються у режимі *standby*, тобто купив та включив.

Глава 2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ В ЖКК ТА АПК УКРАЇНИ

2.1. Загальні зауваження

Одним із висновків, одержаних у ході огляду матеріалів з ЕТА-обігріву, є висновок про необхідність розробки науково-технічних засад, необхідних для забезпечення розповсюдження енергоефективних технологій електрообігріву до масштабів, які відповідають потребам розвинутої країни з ринковим статусом (у тому числі з лібералізованим енергоринком) і яка бажає інтегруватися до світового економічного простору в умовах прогресуючого дефіциту вуглеводнів.

Про актуальність вказаної роботи свідчить той факт, що в ході її виконання постійно з'являлися нові директивні документи щодо розвитку електрообігріву. Так, розпорядженням КМУ від 15.03.2006 № 145-р було схвалено і презентовано (м. Київ, 23 березня 2006 р.) стратегію «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» [1]. Вона є результатом багаторічної праці фахівців різних організацій, відомств, особливо Міністерства палива та енергетики, Національної академії наук України, Міністерства регіонального розвитку і будівництва України, Мінохорони навколишнього природного середовища, Міністерства з надзвичайних ситуацій, Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів, Національної комісії регулювання електроенергетики України та багатьох інших, враховує інтереси населення, різних соціальних груп і верств суспільства, бізнес-груп, у тому числі енергогенеруючих та енергопостачальних компаній, підприємств різної форми власності, різноманітних галузей промисловості, АПК, представників громадських організацій. «Стратегія», як будь-який складний і системний матеріал, не може давати однозначних відповідей на абсолютно всі питання, які безперервно виникають при функціонуванні енергетики як базової галузі національної економіки. Стратегія не позбавлена певних недоліків, має своїх критиків, але на сьогодні вона є єдиною «дорожньою енергетичною картою» виходу з критичної ситуації, в якій перебуває енергетика країни у зв'язку з прогресуючим світовим подорожчанням ПЕР та технологічною відсталістю країни в галузі енерговиробництва і енергоспоживання. Більше того, оскільки розроблена Міністерством палива та енергетики за участю Інституту загальної енергетики НАН України «Стратегія» була схвалена Кабінетом Міністрів, то вона, після схвалення і презентації, стала головним документом, що визначає напрямки розвитку української енергетики. Але, як будь-яка стратегія, «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» потребує подальшого доопрацювання, розробки комплексу більш деталізованих документів, у тому числі галузевих програм і підпрограм, постановки і вирішення низки короткотермінових завдань, локальних задач. Очевидно, що після того, як визначилися зі стратегією розвитку енергетики, виникає потреба вибору шляхів і засобів виконання накреслених робіт, розробки конкретних планів, об'єктів, термінів та заходів щодо реалізації «Стратегії».

Важливість розробки концепції електрообігріву в Україні підтверджується ще й тим фактом, що інтерес до проблеми практично ніколи не зникав, а з часом тільки зростав. На особливу увагу заслуговують цикли досліджень, що були проведені в СРСР в 70-х роках [27-29], в Україні – на початку 90-х років ХХ ст. та на початку ХХІ ст. [3, 14-21, 30, 60-76, 124, 155]. Існує багато прикладів упровадження електрообігріву з ініціативи місцевої влади. Лише у 8-ми районах Хмельницької області функціонують

об'єкти бюджетної сфери (школи, ФАП тощо), які опалюються повністю за рахунок «нічного провалу» графіка навантажень ОЕС (табл. 1.9).

Нещодавно центральною виконавчою владою здійснено важливі кроки впровадження електроопалення. Так, розпорядженням Кабінету Міністрів від 28 вересня 2006 р. № 502-р «Про переведення населених пунктів на опалення електроенергією» доручено Мінпаливенерго разом з обласними енергопостачальними компаніями, Радою міністрів Автономної Республіки Крим, обласними, Київською та Севастопольською міськими держадміністраціями розробити та затвердити план заходів з переобладнання населених пунктів опалювальними електроустановками з урахуванням технічних властивостей електричних мереж, необхідних обсягів і джерел фінансування та з визначенням регіонів, які мають найсприятливіші умови для переведення населених пунктів на опалення електроенергією. Цим рішенням, як було показано у першому розділі, передувала велика практична робота як на місцях, у науково-дослідних та академічних інститутах, так і в апараті Мінпаливенерго.

Таким чином, виникає потреба сконцентрувати усі зібрані дані з електроопалення та узагальнити їх у вигляді концептуальних засад розвитку електротеплоакумуляційного обігріву в ЖКК та АПК України. Зазначена проблема має принципово міжгалузевий характер, оскільки енергія виробляється на підприємствах електроенергетики, передається через електричні мережі та споживається за допомогою електротеплоперетворювальних приладів на різноманітних об'єктах промисловості, ЖКК і АПК. Вирішення проблеми варто шукати на стику електроенергетики, промислової енергетики, будівельної теплофізики. З відомчої точки зору в такій розробці найбільш зацікавленими сторонами (приблизно, однаковою мірою) виступають Міністерство палива та енергетики (розробник технології опалення і постачальник електроенергії) і Міністерство регіонального розвитку і будівництва, Міністерство житлово-комунального господарства України (генеральний споживач численних об'єктів упровадження). Як буде видно далі, саме відповідні підприємства та об'єкти цих відомств при здійсненні функції «електротеплозабезпечення» групуються у *вертикальноструктурований ланцюг «постачальник ПЕР -> енергогенеруюча компанія -> енергопостачальна компанія -> кінцевий споживач»*, у якому діють потужні матеріальні, енергетичні і фінансові потоки і від надійного функціонування якого залежить як життєзабезпечення мільйонів громадян, так і функціонування промислових підприємств та сфери послуг. Оптимізація зазначеного ланцюга, повинна мати великий економічний ефект. Але у зв'язку зі складністю його структури необхідно шукати якісно нову модель електрообігріву, яка, крім технологічних (технічних) аспектів, врахує також структурні, економічні, фінансові, соціальні аспекти.

2.2. Актуальність, мета і настановчі положення до розробки концепції електротеплоакумуляційного обігріву в Україні

Важливість оптимізації будь-якого виду обігріву і, згідно п.10 «Розвитку електроопалення» зазначеної «Стратегії», зокрема електрообігріву, впливає у першу чергу з географічного розташування України. Її розташування на Східно-Європейській рівнині у помірному поясі широт визначає клімат, переважно, як континентальний (у степовій зоні, приблизно на половині площі країни) і атлантико-континентальний (лісостеп і Полісся). Лише вузька смужка південного берега Криму належить до субтропічного клімату. Опалювальний період характеризується великою тривалістю: стала температура, менша ніж +8 °С, на більшій частині країни утримується упродовж півроку. Тому

на потреби теплозабезпечення порівняно з багатьма іншими країнами при інших однакових умовах необхідно витратити помітно більшу кількість ПЕР. Це є першою об'єктивною причиною відносно високої енергоємності ВВП України, який у 2-3 рази перевищує середній рівень енергоємності ВВП у розвинених країнах світу. Ситуація з витратою ресурсів на теплозабезпечення погіршується дією ще одного фактору, який теж має об'єктивний характер: Україна є відносно бідною на власні запаси нафти і газу. У 2005 р. Україна спожила 76,4 млрд. м³ природного газу, з яких частка власного видобутку склала 20,5 млрд. м³ (27 %) ¹. Нафти було імпортовано близько 76 %. Але є фактор суб'єктивного характеру – відсталість та «застарілість» технологій енергоспоживання. Моральна відсталість та фізична зношеність у тій конкретній галузі, яка є предметом нашого розгляду, а саме ЖКК і АПК України, ілюструється тим фактом, що основна частка існуючого житлофонду країни, в якому проживає більша частина населення, якраз і характеризується рівнем теплозахисту, який удвічі-втричі, а то й у чотири рази поступається за термічним опором зовнішніх огорожень житла більшості західноєвропейських країн. Таким чином, за сукупною дією перерахованих факторів, основні витрати теплової енергії в тепловому балансі України пов'язані з опаленням і ГВП, які є головними функціями ЖКК. У 2005 р. загальний обсяг споживання теплової енергії в Україні оцінювався у 241 млн. Гкал. Основними споживачами теплоенергії в Україні є об'єкти ЖКК, якими споживається 44 % (35 % споживання теплоенергії припадає на промисловість, а на інші галузі – приблизно 21 %). При цьому в 2005 р. основна кількість теплоенергії вироблялася у дрібних промислових чи опалювальних автономних котельнях загальною кількістю понад 100 тис. ². У цих котельнях, технічний стан обладнання більшості яких є незадовільним, у 2005 р. вироблялося 62 % (148,8 млн. Гкал) від загальної кількості виробленої теплоенергії. На виробництво теплоенергії у цих низькоефективних котельнях було витрачено 52–54 % від усього спожитого в Україні у 2005 р. природного газу.

Зі сказаного випливає, що особливостями сучасного і перспективного забезпечення тепловою енергією населення, народного господарства, соціальної сфери держави є надійність, якість і одночасно *енергоефективність* тепlopостачання. При цьому, вказане забезпечення тепловою енергією має здійснюватися в умовах двократного зниження енергоємності ВВП (з 0,89 кг у.п./\$ США у 2004 р. до, за прогнозом, 0,41 кг у.п./\$ США у 2030 р.) ³ і одночасно зростаючих у 1,8 раза енергопотреб населення і промисловості (очікується, що у 2030 р. за базовим сценарієм розвитку енергетики буде вироблено 430,9 млн. Гкал) на фоні скорочення запасів нафтогазових родовищ. Як відомо, 2030 рік є роком, у якому, за прогнозами, буде спожито половину відкритих на планеті запасів нафти і газу.

Велике значення для досягнення надійного, якісного та *енергоефективного* теплозабезпечення мають розробка і впровадження нових підходів і концепцій. 15-тирічна практика «інтернаціонального» спілкування енергетиків показала (зокрема, результати численних програм ТАСІС), що *простого запозичення передового закордонного досвіду та обладнання ще недостатньо для вирішення в пострадянських країнах проблем енерго-*

¹ Якщо не вказано іншого, джерелом цифрових даних є «Енергетична стратегія України на період до 2030 року», яка цитується за виданням: Відомості Міністерства палива та енергетики України. // Інформац.-аналіт. бюлетень МПЕ. Спецвипуск. – К.: МПЕ, 2006. – 114 с.

² В країні діють 250 ТЕЦ (≈200 відносно дрібні відомчі), основним (на 76-80 %) паливом для яких є природний газ.

³ У 2004 р. світовий рівень енергоємності ВВП оцінювався у 0,34 кг у.п./\$ США, тобто зараз за цим показником ефективності економіки Україна відстає у 2,6 раза.

збереження. Необхідна не тільки адаптація новітнього продукту до національних умов, але й урахування глибинних особливостей вітчизняної енергетики, які можуть суттєво відрізнити її від енергетики інших країн. Свого часу нами було започатковано цикл робіт з ЕТА-обігріву як енергоефективної альтернативи традиційній системі центрального (водяного) опалення. Було запропоновано, досліджено та апробовано технологію електричного кабельного обігріву прямої дії та ЕТА-обігріву. Основні їх положення закріплені в ДБН В.2.5-24-2003 [76]. За останні роки щодо електрообігріву накопичилася велика кількість даних, які потребують подальшого узагальнення у вигляді концептуальних засад не тільки в межах будівельної галузі, але і всього народного господарства. Ці засади, з одного боку, закріплюють одержані позитивні результати, а з іншого боку, дозволять уникнути помилок при широкомасштабному впровадженні цієї технології. При цьому бажано, щоб ці концептуальні засади забезпечували як зниження кількісних показників споживання природного газу, так і збільшення ефективності його використання в енергетиці і промисловості. Таким чином, основною метою засад нової в Україні концепції ЕТА-обігріву, що розробляється, є забезпечення вискоелективного споживання енергії, економія витрат на її передачу, заміщення імпортованих ПЕР, підвищення енергетичної безпеки країни, регіонів і окремих виробництв, поліпшення екологічного стану країни. Паралельно необхідно ставити і вирішувати суміжні завдання модернізації і розвитку комунальної енергетики країни, а також відповідні регіональні, соціальні, енергетичні й екологічні проблеми, які при цьому виникають.

Нижче перераховано головні завдання розробки концептуальних засад ЕТА-обігріву, які прямо чи опосередковано впливають зі «Стратегії».

1. Пошук відповіді на енергетичний виклик XXI століття¹, зумовлений обмеженістю запасів нафти та газу, особливо власних родовищ, а також забрудненням та антропогенним впливом на довкілля до критичних величин.

2. Підвищення енергоефективності електрообігріву, в тому числі опалення і ГВП, шляхом створення нового типу масштабного споживача-регулятора (СР) для ОЕС України.

3. Створення енергозберігаючої моделі електротеплозабезпечення, у тому числі електроопалення та ГВП в ЖКК і АПК України, яка спроможна забезпечити:

- задоволення широкого попиту на послуги сучасного якісного, екологічного та надійного виду опалення;
- скорочення системних витрат енергії при опаленні як за рахунок технологічного, так і структурного енергозбереження;
- вирішення соціальних питань, насамперед у сільській місцевості, пов'язаних із неможливістю газифікації побуту значної частки населення та об'єктів соціальної інфраструктури сільських населених пунктів;

¹ Тема енергетичної безпеки – надійного постачання вуглеводнів, електроенергії, доступу до засобів їх транспортування, поновлення інтересу до ядерної енергетики – віднедавна стала головною у регламенті світових і європейських політичних та економічних форумів (самітів G8, декларацій ЄС, Давосу 2007, Парламентської асамблеї Ради Європи, взагалі – панєвропейських діалогів). 2007 р. почався гнучкими деклараціями урядів Європи та США щодо амбіційних завдань – через десять років до 2017 р. – досягнути у структурі балансоутворюючих енергетичних ресурсів 20 % частки біопалива та інших поновлюваних джерел. Величина 20 % приблизно відповідає сучасній величині імпорту з РФ природного газу країнами ЄС. До того ж Єврокомісія більше не буде втручатися у плани тієї чи іншої країни щодо розвитку ядерної енергетики, фактично схвалюючи розвиток останньої. 2007 р. стане ключовим для розробки нової енергетичної стратегії Євросоюзу. Поки що у новій енергетичній політиці роль і статус України є проблемними. Не виключено, що здобутки України на шляху впровадження електрообігріву, враховуючи ядерний енергетичний статус та досвід країни, будуть потрібні.

- оптимізацію співвідношення між системами центрального опалення і системами децентралізованого опалення шляхом оптимального збалансування теплоспоживання за видами енергоресурсів і технологіями обігріву;
- зменшення споживання та імпорту ПЕР, особливо природного газу та інших вуглеводневих видів палива;
- поліпшення рівня екологічності опалення;
- розробку практичної програми електротеплозабезпечення за технологією ЕТА-обігріву з можливою у перспективі оптимізацією та модернізацією конфігурації електричних мереж.

При розробці концептуальних засад електротеплоакумуляційного обігріву в ЖКК та АПК України було враховано такі підходи, установчі положення та вимоги:

1. Необхідність гармонізації концептуальних засад із багатьма існуючими програмами, у тому числі зі «Стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу України», з «Програмою розвитку комунальної енергетики України», «Програмою розвитку розподіленої енергетики» та іншими державними і галузевими програмами. Окремим завданням є гармонізація вітчизняного нормативно-правового та нормативно-технічного комплексів та комплексів ЄС, підтримка енергетичної революції, що відбувається в ЄС.

2. Перевага буде надаватися використанню для електрообігріву «надлишків» електроенергії в ОЕС у години «нічних провалів»; максимальне використання «низькоякісної» електроенергії з ВДЕ (вітросилових установок, фотоелектричних тощо), електрогенераторів на базі двигунів Стірлінга, що використовують умовно безкоштовні види місцевих і суругатних паливних ресурсів (побутові відходи, деревину, торф, некондиційні родовища вуглеводнів, відновлювані енергоресурси та ін.).

3. Поетапна заміна газового нагріву системами акумуляційного електронагріву, які є споживачами-регуляторами ОЕС при одночасному забезпеченні оптимального управління диференційованими тарифами на електричну енергію. Це дозволить значно знизити обсяги споживання природного газу на потреби опалення для оптимізації режимів виробництва електричної енергії та підвищити коефіцієнт використання потужностей атомних енергоблоків шляхом збільшення споживання електроенергії в години «нічного провалу».

4. Виконання усіх можливих заходів для зменшення нерівномірності графіка споживання електричної енергії досягається головним чином шляхом економічного стимулювання споживачів при максимально повному (при збереженні у межах доцільності державного управління та регулювання електроенергетикою) усуненні адміністративного втручання державних органів у поточну діяльність оптового ринку електричної енергії (ОРЕ), зокрема в управління грошовими потоками на ринку.

5. Орієнтація при створенні технічної бази ЕТА-обігріву на використання обладнання переважно вітчизняного виробництва.

6. Упровадження ЕТА-обігріву здійснюється за рахунок:

- залучення власних коштів замовника, у тому числі населення;
- розвитку лізингових схем, послуг енергопостачання, що будуть надаватися вертикально інтегрованими паливно-енергетичними субструктурами, в яких за рахунок системного підходу буде забезпечено більш високу ефективність постачання і споживання енергії, що міститься в ПЕР¹;

¹ Наприклад, ця структура буде дуже зацікавлена у зменшенні витрат на транспортування електроенергії в електромережах. Навпаки, зараз окрема енергопостачальна компанія відноситься практично байдуже до всього, що знаходиться за її шинами. Необхідно працювати в комплексі «ПЕР – виробництво і споживання»

- інвестицій, кредитів, а оскільки розробка є інноваційною, планується її виконання здійснювати через структури з преференціями, наприклад, технопарки, СЕЗ;
- реалізації продажу квот на шкідливі викиди згідно з Кіотським протоколом;
- оптимізація конфігурації електричних мереж в окремих регіонах під час проектування нових або повної реконструкції існуючих електричних мереж для електрообігріву;
- проведення модернізації внутрішніх електромереж, електрообладнання до і після електровводу у житло, а також теплового захисту, вентиляції, іншого теплоспоживаючого і теплотранспортуючого устаткування на новітньому науково-технічному рівні, що забезпечить досягнення підвищених енергозберігаючих показників;
- досягнення повної поточної оплати (навіть передоплати) спожитої електроенергії, що суттєво поліпшує фінансово-економічний стан енергетичних компаній;
- удосконалення тарифоутворення на послуги енергопостачальних компаній у частині включення до відповідних тарифів витрат на запобігання понаднормативних втрат електричної енергії та впровадження сучасних систем комерційного обліку електричної енергії;
- забезпечення передумов для встановлення оптимальної ціни на електричну енергію та створення сприятливих умов для надходження інвестицій, а також забезпечення відповідності тарифної та інвестиційної політики ринковим засадам функціонування конкурентного оптового ринку електричної енергії.

2.3. Основні аспекти концепції розвитку електротеплоаккумуляційного обігріву в Україні

Розвиток опалення в умовах стабільності економіки, як і вихід із кризової ситуації в енергетиці взагалі та у тепlopостачанні зокрема, неможливий без створення новітніх енергозберігаючих технологій. Однією з таких прогресивних технологій є технологія електротеплоаккумуляційного обігріву. Відмінною її рисою є оптимізація потоків енергії на всьому шляху її трансформації: від першого етапу – видобутку енергоносіїв та одержання первинної енергії, що міститься в цих енергоносіях, до останнього, пов'язаного з використанням енергії у кінцевого споживача і компенсацією екологічних впливів. Перетворення енергії, її передача, розподіл та споживання залучає до процесу багато галузей економіки, потребує злагодженої дії різних фінансових, господарських, правових, у тому числі міжнародних, нормативно-технічних механізмів і т.п. Очевидно, що швидка та якісна розробка та впровадження сучасної технології електротеплоаккумуляційного обігріву неможлива без вивчення та встановлення відповідних концептуальних засад. Тому вивчення їх основних аспектів: моделі оптового ринку електроенергії, інституційних та організаційно-методичних засад застосування в Україні електричної енергії для обігріву, особливостей електроенергобалансу, теплзабезпечення, добових та сезонних режимів навантаження ОЕС України тощо – є актуальним завданням.

енергії – технологія використання енергетичних витрат» із мінімальними витратами на виробництво енергії. Майбутнє за вертикально інтегрованими паливно-енергетичними компаніями.

2.3.1. Оптовий ринок електричної енергії та інституційно-методичні основи застосування електроенергії для обігріву

Важливою засадою ринкової економіки в Україні, її інтеграції до Євросоюзу, створення сприятливого інвестиційного клімату є наявність, розвиток та належне функціонування оптового ринку електричної енергії (ОРЕ). Метою ОРЕ є забезпечення потреб споживачів в електричній енергії за мінімальною можливою ціною на основі конкуренції між її виробниками та постачальниками електричної енергії; надійне і безперерйне електропостачання споживачів. ОРЕ в Україні був створений ще у 1996 році. Спочатку його було створено за моделлю, у якій домінував принцип державного регулювання в електроенергетиці. Метою державного регулювання було (і залишається) забезпечення балансу інтересів держави, суб'єктів електроенергетики та споживачів електричної енергії, забезпечення певності інвесторів у стабільності правил здійснення підприємницької діяльності в електроенергетиці, посилення конкуренції між виробниками та постачальниками електричної енергії. У першій моделі переважав принцип єдиного оптового покупця – продавця. Діюча модель ОРЕ визначена Конституцією України, Законом України «Про електроенергетику» (зі змінами і доповненнями), Рішенням Конституційного Суду України від 12 лютого 2002 р. № 3-рп/2002 (справа про електроенергетику), нормативними актами Президента України, Кабінету Міністрів України, Національної комісії регулювання електроенергетики України, «Концепцією функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України», схваленою Постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 р. № 1789.

Згідно з пунктом 5 статті 92 Конституції України засади організації та експлуатації енергосистем визначаються виключно законами України¹. Правовою базою функціонування ОРЕ є прийнятий 16 жовтня 1997 р. Верховною Радою України Закон України «Про електроенергетику». Цей нормативний акт (із численними доповненнями та редакціями) відіграє найважливішу роль у регулюванні відносин на ОРЕ, оскільки визначає загальні положення діяльності ОРЕ та закріплює статус його суб'єктів, а також повноваження державних органів у цих відносинах. Зокрема цим Законом встановлено, що купівля електричної енергії, виробленої на електростанціях, потужність чи обсяг відпуску яких є більшим за граничні показники, а також на вітроелектростанціях, незалежно від величини встановленої потужності чи обсягів відпуску електричної енергії (крім електричної енергії, виробленої на теплоелектроцентралях, які входять до складу енергопостачальників, для споживання на території здійснення ліцензованої діяльності) та весь її оптовий продаж

¹ Важливою складовою енергетичного законодавства України є підписаний 17.12.1991 р. і ратифікований Верховною Радою 17.12.1994 р. Договір до Енергетичної хартії, що має статус міжнародного договору. Цей Договір до Енергетичної хартії спрямований на створення правових рамок з метою сприяння довгостроковому співробітництву в галузі енергетики, а саме у питаннях підвищення надійності енергопостачання та максимального забезпечення ефективності виробництва, транспортування, розподілу та використання енергії, аби підвищити рівень безпеки та звести до мінімуму проблеми навколишнього середовища. Досягається це, зокрема, шляхом установлення загальних правил щодо торгівлі, які забезпечують сприяння доступу до міжнародних ринків на комерційній основі та спрямовані на розвиток відкритого й конкурентного ринку енергетичних матеріалів та продуктів; ужиття країнами, що підписали Договір до Енергетичної хартії, необхідних заходів для полегшення транзиту енергетичних матеріалів та продуктів відповідно до принципу свободи транзиту без застосування дискримінаційних тарифів та інших заходів щодо обмеження транзиту залежно від походження, місця призначення та володаря таких енергетичних матеріалів та ресурсів; визначення режиму капіталовкладень. Поки що положення Договору до Енергетичної хартії, який після ратифікації став частиною національного законодавства, щодо торгівлі енергетичними ресурсами та продуктами застосовуються, але з певними обмеженнями та особливостями, зумовленими тим, що на сьогодні Україна не є стороною Генеральної угоди по тарифах та торгівлі (ГАТТ). Багато суб'єктів міжнародного права зараз вважають, що Енергетична хартія, підписана 15 років тому, морально застаріла і потребує корегування.

здійснюється на оптовому ринку електричної енергії України. Функціонування інших оптових ринків електричної енергії в Україні забороняється.

Бажано, щоб купівля-продаж електричної енергії здійснювалася в ОРЕ в межах об'єднаної енергетичної системи в умовах постійного та безперервного в часі збалансування виробництва і споживання електричної енергії. Порядок розрахунків оптової ринкової ціни на електричну енергію в ОРЕ та порядок розрахунків за продану і куплену електричну енергію в ОРЕ встановлюється особливий. Аналіз моделі ОРЕ України свідчить про те, що українське енергетичне законодавство та модель функціонування оптового ринку електричної енергії значною мірою відповідають нормам Європейського права, однак потребують подальшого розвитку та вдосконалення. Зокрема в цій моделі не використовується, як це передбачено нормами європейського права, право щодо укладання контрактів на купівлю між виробниками та кінцевими споживачами для власних потреб та між виробниками та постачальниками на підставі комерційних угод. Реалізація цього права є передумовою переходу до перспективної моделі повномасштабного ринку на підставі двосторонніх договорів і балансууючого ринку. Перехід здійснюється у кілька етапів. При цьому державне регулювання буде зберігатися лише під час перехідного періоду та запровадження перспективної моделі.

За рахунок системного підходу розвиток саме у складі ОРЕ акумуляційного електрообігріву обумовлюється вимогами підвищення конкурентоспроможності, фінансової стабільності та прибутковості електроенергетики як базової галузі національної економіки, зацікавленості до неї з боку потенційних вітчизняних та іноземних інвесторів в Україні. Роздрібна ціна на електричну енергію формується постачальниками електричної енергії згідно з умовами та правилами здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії. З іншого боку ціноутворення в секторі електроенергетики має бути таким, щоб енергетичні компанії мали можливість реалізувати інвестиційні проекти у прийнятний термін. Це означає, що структура та рівень ціни електроенергії мають забезпечувати енергетичним компаніям можливість повернення вкладених сум інвестицій та відшкодування всіх пов'язаних з цим інвестиційних витрат. Однією з основних рис ОРЕ, які сприятимуть розвитку акумуляційного електрообігріву, є собівартісні та структурні показники виробництва електроенергії. Вони мають важливе значення і при формуванні відпускної ціни на електричну енергію. Показники собівартості у 2001 р., коли розроблялася нова концепція ОРЕ, наведено у табл. 2.1. Із даних табл. 2.1 випливає, що собівартість електроенергії, виробленої на АЕС, у 2,2-2,44 рази менша, ніж на теплових станціях, при цьому обом видам електроенергії належить приблизно однакова частка енергобалансу України.

Таблиця 2.1

Собівартість електроенергії, її середньовідпускні тарифи та структура електробалансу України у 2001 р.

Відпуск електроенергії з шин	АЕС	ТЕС	ГЕС	ТЕЦ	Енергопостачальні компанії
Собівартість, коп./кВт*год	4,86	10,86	1,45	11,86	14,2
Середньовідпускний тариф на електричну енергію, коп./кВт*год	8,24	11,82	3,03	12,07	13,18
Частка у загальному обсязі вироблення електроенергії, %	44,3	45,3	7,0	3,4	

Оскільки вартість електричної енергії, яка закуповується на ОРЕ, визначається як середньозважена величина вартості електричної енергії теплових і атомних електростанцій, гідроелектростанцій, теплоелектроцентралей, то чим більшою є частка дешевої енергії від АЕС і ГЕС, тим меншою буде оптова ринкова ціна електричної енергії. Але генерація за рахунок АЕС є базовою, тому породжує досить гострий дефіцит маневрових потужностей [77-81]. Нині ця проблема здебільшого вирішується регуляторним механізмом через вимушене лімітування енергопостачання, адміністративне втручання в управління грошовими потоками на ОРЕ. Електротеплоакумуляційне опалення – новий вид споживача-регулятора, який виключно економічним шляхом допомагає вирішити проблему дефіциту маневрових потужностей в ОЕС України та відмовитися від системи застосування дотаційних сертифікатів. Цю систему було запроваджено НКРЕ для врегулювання питання оплати за куплену на ОРЕ електричну енергію енергопостачальними компаніями, які здійснюють постачання електричної енергії за регульованим тарифом, з метою компенсації їм збитків під час розрахунків за електричну енергію споживачами, для яких визначено окремий порядок регулювання ціни, не забезпечений джерелами фінансування.

Запорукою існування будь-якого цивілізованого ринку є його прозорість, яка забезпечується повнотою і швидкістю обліку руху товарів та їх якості. Особливістю електроенергії як товару є унікальна, завдяки її фізичній природі, можливість прямого, майже абсолютно точного і моментального обліку на будь-якому етапі виробництва і споживання електроенергії. Сучасні інформаційні технології дозволяють досить легко документувати і враховувати у режимі *on-line* потоки електроенергії на кожному ієрархічному рівні їх переміщення та трансформації. Таким чином, ключовим моментом сучасної моделі ОРЕ України є організація на рівні кожного його суб'єкта точного і надійного погодинного обліку електричної енергії та потужності з наявністю даних про виробництво, транспортування, постачання та споживання електричної енергії. Складність погодинного обліку електричної енергії та потужності на ОРЕ України полягає у тому, що приблизно однакові обсяги споживання електроенергії як товару, формуються не тільки великими оптовими споживачами (наприклад, великим підприємствами чорної металургії або хімічної промисловості), а й мільйонами дрібних споживачів. Останні разом формують великий, але дуже дифузний, сегмент ОРЕ. Донедавна на цьому *найнижчому* рівні обліку споживання електроенергії домінувала ручна система помісячного знімання показників населенням та корпоративними споживачами з індивідуальних лічильників. Але ця система швидко стає системою «вчорашнього дня». На ринку з'явилися автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) (АСКОЕ АТdata® і подібні). На думку експертів, системи АСКОЕ швидко розвиваються, але вже зараз вони відповідають усім вимогам ISO, вітчизняним техніко-нормативним та нормативно-правовим вимогам щодо якості та надійності збирання та протоколювання інформації про спожиту енергію. Сучасні АСКОЕ практично не залежать від типу багатозонних лічильників (тобто вони програмно сумісні з будь-яким лічильником виробництва ЕЛВІН, ФИНТРОНИК, ТЕЛЕКАРТ-ПРИБОР, КИЕВПРИБОР, АРГО, SIEMENS, LANDIS&GYR, ELSTER METRONICA, ELGAMA ELEKTRONIKA, ACTARIS тощо) [82, 83].

Таким чином, однією з головних умов ефективного функціонування ОРЕ є організація на рівні кожного його суб'єкта (фізичного або юридичного) точного і надійного погодинного обліку електричної енергії та потужності з наявністю даних про виробництво, транспортування, постачання та споживання електричної енергії на базі сучасних інтегрованих автоматизованих комерційних систем обліку електричної енергії, які об'єднані в оперативну інформаційно-обчислювальну мережу АСКОЕ ОРЕ.

АСКОЕ ОРЕ має бути розділена багаторівневою системою вимірів, обробки, зберігання та передачі даних комерційного обліку та будуватися на принципах відкритості побудови і розподілу функціонування, яка може бути складовою єдиної системи забезпечення роботи ОРЕ щодо збору і передачі інформації.

Реально в Україні досі функціонує більш-менш оперативна система обліку виробленої та спожитої енергії лише на *найвищому* ієрархічному рівні, хоча її концептуальний та технічний рівень ще відстає від вимог часу (про майбутню автоматизовану систему обліку електроенергії членами ОРЕ – див. нижче). Але середня ланка – система обліку електроенергії на *проміжному* ієрархічному рівні – відсутня. Обидва – нижній та верхній – сегменти ОРЕ не мають оперативного зв'язку і, таким чином, систему обліку виробництва та споживання електроенергії ще не замкнено. Але вже зараз, завдяки роботі системи обліку виробленої та спожитої енергії верхнього ієрархічного рівня, зібрано багато відомостей про особливості *добових та сезонних режимів навантаження ОЕС України, які потребують негайного реагування для зменшення їх негативного впливу на економічні показники експлуатації вітчизняної енергетики.*

Інституційні засади використання електричної енергії для обігріву складають нормативно-правові акти різних видів і рівнів: закони України, укази Президента України, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, постанови НКРЕ, накази НАЕР. Упорядкування їх потребує окремої роботи. Тому наведемо правові засади, з яких випливають усі інші. Основою інституційних засад, безумовно, є Цивільний та Господарський кодекси України, які регулюють головні принципи правових відносин громадян у цій галузі. Наводимо (за електронною базою «Ліга») витяг із Цивільного кодексу України від 16 січня 2003 року № 435-IV. Постачання енергією регулюється статтею 714 Розділу III «Окремі види зобов'язань» (Підрозділ I «Договірні зобов'язання» Глава 54 «Купівля-Продаж» §5 «Постачання енергетичними та іншими ресурсами через приєднану мережу»):

Стаття 714. Договір постачання енергетичними та іншими ресурсами через приєднану мережу.

1. За договором постачання енергетичними та іншими ресурсами через приєднану мережу одна сторона (постачальник) зобов'язується надавати іншій стороні (споживачу, абоненту) енергетичні та інші ресурси, передбачені договором, а споживач (абонент) зобов'язується оплачувати вартість прийнятих ресурсів та дотримуватися передбаченого договором режиму їх використання, а також забезпечувати безпечну експлуатацію енергетичного та іншого обладнання.

2. До договору постачання енергетичними та іншими ресурсами через приєднану мережу застосовуються загальні положення про купівлю-продаж, положення про договір поставки, якщо інше не встановлено законом або не впливає з характеру відносин сторін.

3. Законом можуть бути передбачені особливості укладення та виконання договору постачання енергетичними та іншими ресурсами.

Господарчий кодекс України (від 16 січня 2003 року № 436-І (чинна редакція від 01.01.2004) більш детально розглядає питання енергопостачання, якому присвячено три статті Розділу VI «Особливості правового регулювання в окремих галузях господарювання» (Глава 30. «Особливості правового регулювання господарсько-торговельної діяльності» § 3 «Енергопостачання»):

Стаття 275. Договір енергопостачання

1. За договором енергопостачання енергопостачальне підприємство (енергопостачальник) відпускає електричну енергію, пару, гарячу і перегріту воду (далі — енергію) споживачу (абоненту), який зобов'язаний оплатити енергію та дотримуватися передбаченого договором режиму її використання, а також забезпечити безпечну експлуатацію енергетичного обладнання, що ним використовується.

2. Відпуск енергії без оформлення договору енергопостачання не допускається.

3. Предметом договору енергопостачання є окремі види енергії з найменуваннями, передбаченими у державних стандартах або технічних умовах.

4. Виробники і постачальники енергії, що займають монопольне становище, зокрема суб'єкти природних монополій, зобов'язані укласти договір енергопостачання на вимогу споживачів, які мають технічні засоби для одержання енергії. Розбіжності, що виникають при укладенні такого договору, врегульовуються відповідно до вимог цього Кодексу.

5. Енергопостачальні підприємства інших, крім державної і комунальної, форм власності можуть брати участь у забезпеченні енергією будь-яких споживачів, у тому числі через державну (комунальну) енергомережу, на умовах, визначених відповідними договорами.

Стаття 276. Кількість і якість енергії. Строки, ціни та порядок розрахунків за договором енергопостачання

1. Загальна кількість енергії, що відпускається, визначається за погодженням сторін. У разі, якщо енергія виділяється в рахунок замовлення на державні потреби (ліміту), енергопостачальник не має права зменшувати абоненту цей ліміт без його згоди.

2. Пропозиції абонента щодо кількості та видів енергії, строків її відпуску є пріоритетними за наявності виробничих можливостей у енергопостачальника.

3. Показники якості енергії узгоджуються сторонами на підставі державних стандартів або технічних умов шляхом погодження переліку (величини) показників, підтримання яких є обов'язком для сторін договору.

4. Строки постачання енергії встановлюються сторонами у договорі, виходячи, як правило, з необхідності забезпечення її ритмічного та безперебійного надходження абоненту. Основним обліковим періодом енергопостачання є декада, з коригуванням обсягів протягом доби. Сторони можуть погоджувати постачання енергії протягом доби по годинно, а також час і тривалість максимальних та мінімальних навантажень.

5. Кількість енергії, недоодержаної за попередні періоди з вини енергопостачальника, підлягає поповненню на вимогу абонента. Якщо енергію повністю не використано абонентом або недоодержано ним для обігрівання у зв'язку зі сприятливими погодними умовами, поповнення недоодержаної енергії здійснюється за погодженням сторін.

6. Розрахунки за договорами енергопостачання здійснюються на підставі цін (тарифів), встановлених відповідно до вимог закону.

7. Оплата енергії, що відпускається, здійснюється, як правило, у формі попередньої оплати. За погодженням сторін можуть застосовуватися планові платежі з наступним перерахунком або оплата, що провадиться за фактично відпущеною енергією.

8. У разі, якщо абонент має власне енергоджерело і відпускає енергію в мережу енергопостачальника, допускаються розрахунки за сальдо взаємно одержаної енергії.

Стаття 277. Правила користування енергією

1. Абоненти користуються енергією з дотриманням правил користування енергією відповідного виду, що затверджуються Кабінетом Міністрів України
2. Правилами можуть передбачатися типові договори постачання окремих видів енергії.
3. Абонент має право відпускати енергію приєднаним до його мереж вторинним споживачам (субабонентам). У цьому випадку субабоненти укладають договір енергопостачання з абонентом і мають права та обов'язки абонента, а абонент має права та обов'язки енергопостачальника.
4. Абонент зобов'язаний повідомити перелік субабонентів енергопостачальнику, який має право контролю електромереж і приладів субабонентів та право контролю за додержанням субабонентами правил користування енергією.
5. Відповідальність за порушення правил користування енергією встановлюється законом.

Таким чином, з юридичної точки зору обмежень ні на кількість, ні на області використання, у тому числі для обігріву, електричної енергії не існує. Але реальна ситуація із застосуванням електроенергії у побуті може суттєво відрізнитися від декларованої юридичної норми. Тому розглянемо практичний стан енергозабезпечення підприємств і громадян, юридичних та фізичних осіб і дамо практичний коментар щодо наведених статей Цивільного та Громадянського кодексів.

Згідно п. 7 ст. 276 Господарчого кодексу України, для більшої частини населення оплата енергії, що відпускається, здійснюється не у формі попередньої оплати. Саме системи ЕКСО ТА спроможні нарешті реалізувати цю норму закону в повному обсязі. З аналізу енергозабезпечення підприємств випливає, що споживачам електроенергії у промисловій сфері практично не лімітується споживання електричної енергії і не встановлюються граничні величини, до них не застосовуються графіки обмеження енергоспоживання та аварійного відключення споживачів. Тобто по відношенню до цієї групи споживачів повністю реалізовано основний принцип ОРЕ – повне задоволення платоспроможного попиту на електроенергію. Цікаво, що в цих умовах успішно працював принцип економічного заохочення до використання енергії нічного провалу графіка навантажень. Уже кілька років промислові споживачі, технологія яких спроможна базуватися на використанні електроенергії нічних годин графіка навантажень ОЕС України (наприклад, великі підприємства чорної металургії або хімічної промисловості), практично повністю освоїли цей пільговий за тарифами інтервал доби. Кількість таких підприємств останнім часом практично не зростає.

Подальше помітне розширення обсягу використання електроенергії нічних годин графіка навантажень ОЕС України пов'язане з непромисловою сферою. Але, як було встановлено раніше (п. 1.1; табл. 1.1, 1.2), досвід реального використання електроенергії в побутовій сфері країни хоч і є, але він невеликий.

Однією із причин незадовільного стану розповсюдження електрообігріву в побуті є слабка поінформованість населення про наявність достатніх організаційних засад для застосування електроенергії для обігріву, зокрема, відносно існування багатозонних тарифів і умов їх використання. Мало хто з пересічних громадян знає, що умови споживання електроенергії на електрообігрів у країні вже давно є сприятливими. Гранична величина питомих теплових втрат житлового будинку (приблизно, $30-50 \text{ Вт/м}^2$), при якій можна влаштувати будь-яку систему електроопалення, у тому числі прямої дії, досить легко досягається при будівництві за принципом «мій дім – моя тепла фортеця». На питан-

ня «Чи треба брати дозвіл на використання електроенергії для потреб опалення і гарячого водопостачання?» є така відповідь НКРЕ: «чинними нормативно-правовими актами України не передбачено застосування дозволу на використання електричної енергії для обігріву та/або опалення. Тобто споживач самостійно вирішує, для яких цілей йому використовувати електричну енергію» (з Листа НКРЕ 01.02.2005 № 05-39-11/528 «Щодо використання електронагрівального обладнання»). Таким чином, відповідь позитивна, що дозволяє електрообігрів споживачу категорії «фізична особа». Єдиним обмеженням є обов'язкова умова «дотримання граничних величин споживання електричної енергії та потужності відповідно до умов договору та чинних нормативно-правових актів». Розрахунок граничних величин споживання електричної енергії та потужності належить до компетенції енергопостачальної організації. При цьому, відповідно до «Порядку постачання електричної енергії споживачам», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 1999 р. № 441, щомісячні граничні величини споживання електричної енергії для регіонів визначаються та затверджуються Мінпаліверенерго з урахуванням стану розрахунків енергопостачальних організацій за електричну енергію, отриману на оптовому ринку електричної енергії України. Граничні величини споживання електричної енергії для кожного регіону визначаються Міненерго за 30 діб до початку розрахункового місяця за відповідною процедурою. Тарифи, диференційовані за періодами часу, регулюються постановою НКРЕ № 1241 від 20.12.2001 зі змінами та доповненнями, які були внесені пізніше. Також було включено нові редакції окремих пунктів. Зокрема мається на увазі, що ставка тарифу для кожного періоду часу визначається шляхом множення встановленого роздрібно-го тарифу для споживачів відповідного класу на тарифний коефіцієнт. Відповідними службами НЕК «Укренерго» за погодженням із НКРЕ встановлюються сезонні межі зон та межі періодів за годинами доби (нічного, напівпікового та пікового) застосування, диференційованих за періодами часу. Листом від 08.12.2006 № 02/6573 [84] встановлюються три сезонні межі зон застосування диференційованих за періодами часу тризонних тарифів на електроенергію (табл. 2.2).

У випадку двозонних тарифів на електроенергію час «23:00–6:00» вважається нічним періодом; решта доби – денним (7:00–23:00).

Постановою НКРЕ від 19.07.2005 № 529 проводиться редакція пункту, що визначає такий рівень ставок тарифів, диференційованих за періодами часу, для кожного періоду (нічний, денний, напівпіковий, піковий) та всіх сезонів (табл. 2.3).

Таблиця 2.2

**Межі застосування зон тризонних тарифів, диференційованих за періодами часу.
Лист ДП НЕК «Укренерго» від 08.12.2006 № 02/6573**

№ п/п	Сезон	Зони доби					
		пікова		напівпікова			нічна
1.	січень, лютий, листопад, грудень	8 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	17 ⁰⁰ -21 ⁰⁰	6 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	10 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	21 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -6 ⁰⁰
2.	березень, квітень, вересень, жовтень	8 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	18 ⁰⁰ -22 ⁰⁰	6 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	10 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -6 ⁰⁰
3.	травень, червень, липень, серпень	8 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	20 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	11 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	24 ⁰⁰ -7 ⁰⁰

Такі тарифи, за умови розробки відповідних регламентів електротеплоаккумуляційних технологій, створюють можливості для широкого розповсюдження електроопалення. До

обов'язкових умов входить облік спожитої електроенергії. При цьому, згідно з Листом НКРЕ 17.02.2005 № 05-39-11/812, «для розрахунків за електричну енергію можуть використовуватися будь-які засоби обліку, внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні». У разі, якщо працівники РЕМ будуть наполягати на встановленні певних типів засобів обліку, такі дії можуть бути витлумачені як зловживання монопольним становищем на ринку постачання електричної енергії та порушення пункту 3.4.1 «Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом», затверджених постановою НКРЕ України від 13 червня 1996 року № 15/1. Згідно з цим пунктом ліцензіат повинен діяти відповідно до законодавства України та інших нормативних документів.

Таблиця 2.3

**Рівень ставок тарифів, диференційованих за періодами часу.
Постанова НКРЕ від 19.07.2005 № 529**

Період часу	нічний	денний	напівніковий	пісовий
1. Двобонні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,35	1,8	–	–
Тривалість періоду, год.	8	16	–	–
2. Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,25	–	1,02	1,8
Тривалість періоду, год.	7	–	11	6

Порядок застосування тарифів на електричну енергію, що використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання, покищо загальний. Його викладено у «Правилах користування електричною енергією» в новій редакції зі змінами, які містяться у Постанові НКРЕ від 17.10.2005 № 910. Але порядок оплати електричної енергії, що використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання, напевно, чекає на розробку в окремому документі. Поки що спеціальним листом № 03-34-09/4902 від 05.11.2004 НКРЕ були надані такі роз'яснення щодо сплати за спожиту електричну енергію на опалення та ГВП: «Тарифи (маються на увазі підвищені¹) на опалення та гаряче водопостачання не застосовуються у випадках, коли електроенергія споживається населенням для індивідуального опалення та гарячого водопостачання житлових та підсобних приміщень, які не використовуються у виробничій діяльності (наприклад, персональні душові та електронагрівальні прилади в помешканнях житлового будинку або гуртожитку)».

Інформативним для майбутнього користувача акумуляційної технології електрообігріву є п.3.8 ПКЕЕ, який прочитуємо повністю: «Електропередавальна організація відповідно до вибраного споживачем виду тарифу із переліку, передбаченого нормативно-правовими актами НКРЕ, та до вимог нормативно-технічних документів щодо організації комерційного обліку має запропонувати споживачу перелік розрахункових засобів обліку електричної енергії та вимірювання величини споживаної електричної потужності з числа внесе-

¹ При розрахунках за електроенергію, спожиту на потреби основного та додаткового опалення, а також гарячого водопостачання будівель (приміщень) виробничого (службового) та комунально-побутового призначення, житлових будинків (гуртожитків) тощо, застосовуються тарифи на опалення та гаряче водопостачання відповідно до «Порядку застосування тарифів на електричну енергію, що використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання», затвердженого постановою НКРЕ 11.01.2002 № 40 (зі змінами та доповненнями).

них до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, а також перелік каналів зв'язку, якими має забезпечуватися передача інформації щодо обліку, у тому числі форматів представлення даних щодо забезпечення можливості зчитування даних із засобів обліку електричної енергії та/або локального устаткування збору та обробки даних.

У рекомендаціях щодо вибору розрахункових засобів обліку електричної енергії та обладнання, яким має забезпечуватися передача інформації щодо обліку електричної енергії, електропередавальна організація має враховувати можливість об'єднання локального устаткування збору та обробки даних у єдину автоматизовану систему обліку електричної енергії.

На основі рекомендацій споживач розробляє технічне завдання на встановлення (заміну) розрахункового обліку, яке погоджується електропередавальною організацією. На основі погодженого технічного завдання на встановлення (заміну) розрахункового обліку проектною організацією за договором із споживачем розробляється робочий проект встановлення розрахункових засобів обліку електричної енергії та/або локального устаткування збору і обробки даних (далі – робочий проект)».

Згідно з п.п. 8, 12 «Правил користування електричною енергією (для населення) «НКРЕ (Постанова від 27.09.2001 № 983), зареєстровано Мінюстом України від 15.10.2001 № 883/6074:

«8. Встановлення відповідно до погодженого електропередавальною організацією робочого проекту засобів обліку електричної енергії та/або локального устаткування збору та обробки даних, а також забезпечення програмами доступу для зчитування інформації та параметризації багатофункціональних електронних засобів обліку виконується за рахунок споживача електропередавальною організацією або іншою організацією, яка має право на виконання таких робіт.

12. У разі встановлення на території споживача розрахункових засобів обліку електричної енергії організацією, яка має право на виконання таких робіт, але не є електропередавальною організацією, споживач має забезпечити безперешкодний доступ відповідальних представників постачальника (електропередавальної організації) за регульованим тарифом для контролю правильності підключення і перевірки роботи встановлених засобів обліку.»

Іншими словами, резюмуючи п.п. 8, 12, не потрібно брати технічні умови для встановлення автоматичної системи комерційного обліку електроенергії, у тому числі у випадку заміни звичайного лічильника на багатофункціональний для можливого переходу на розрахунки за електроенергію за зонними тарифами.

Таким чином, процедура встановлення багатофункціонального лічильника електроенергії в будинку (квартирі) та оформлення документів в обленерго є нескладною. Прилади обліку електричної енергії для нових будинків мають бути придбаними, встановленими, підключеними енергопостачальником, а їх вартість та вартість послуг з встановлення оплачена забудовниками. У разі розділу обліку електричної енергії на існуючих об'єктах витрати покладаються на організації, які здійснюють розділ обліку. У разі вибору споживачем іншого виду тарифу на електричну енергію, енергопостачальник видає споживачу технічні умови на встановлення відповідного приладу обліку. При цьому оплачує споживачу вартість нового приладу обліку з урахуванням балансової вартості та амортизаційного зносу приладу обліку, який замінюється.

І все ж при переході на багатозонний облік виникає багато інших питань. Наприклад, хто має право програмування, перевірки програмування та зміни тарифних зон і тарифних коефіцієнтів (параметризації) електронних багатофункціональних засобів обліку? У цілому питання обліку набагато складніше, ніж проста фіксація (протоколю-

вання) спожитої енергії. Від оперативності обліку залежить загальна ефективність функціонування ОЕС України. Тому це питання має характер моніторингу потоків електричної енергії в ОЕС у рамках функціонування ОРЕ.

Вже обговорювався один із головних принципів «Концепції функціонування ОРЕ» – принцип повного задоволення платоспроможного попиту на електроенергію. Оплачуване споживання електроенергії може обмежуватися лише пропускнуою спроможністю електричних мереж і генерацією електроенергії. НЕК «Укренерго» та енергопостачальні компанії несуть відповідальність за обмеження та аварійне відключення споживачів у випадках порушення вимоги задоволення платоспроможного попиту на електроенергію. При збільшенні оплачуваного попиту гостро постає питання підвищення пропускнуої спроможності електричних мереж, а також генерації електроенергії.

Вказаний принцип може мати і таку редакцію: *постачальники мають застосувати обмеження обсягів електроспоживання і встановити ліміти лише для споживачів, які не здійснили повну оплату спожитої електричної енергії*. При цьому постачальники запроваджують порядок, за яким споживачі, які не здійснюють поточні платежі у терміни, встановлені договором, або не дотримуються узгоджених графіків погашення заборгованості, підлягають відключенню від електричних мереж з одночасним доведенням граничних обсягів споживання електричної енергії до нульового рівня.

Викладений у «Концепції функціонування ОРЕ» принцип запобігання адміністративному втручанням в управління грошовими потоками на ОРЕ поки що тільки декларується. Цей принцип ще не став нормою відповідного закону, який передбачає розподіл коштів на ОРЕ виключно за принципом пропорційних платежів за електричну енергію учасниками ОРЕ.

Завдяки роботі системи обліку виробленої та спожитої енергії верхнього ієрархічного рівня ОРЕ, зібрано багато відомостей про особливості добових та сезонних режимів навантаження ОЕС України, які треба враховувати при більш ефективному використанні особливостей графіка навантаження ОЕС України. Розглянемо це питання більш докладно.

2.3.2. Особливості електроенергобалансу, теплозабезпечення та енергобезпеки України

Побуває думка, що однією зі слабких сторін енергетичного балансу України є надмірне споживання імпортного газу, поставки якого не диверсифіковані. Справді, в 2005 р. у структурі споживання первинних ресурсів в Україні природний газ становив 41 % (нафта – 19 %, вугілля – 19 %, уран – 17 %, гідроресурси і відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) – 4 %). В абсолютних цифрах споживання газу становило 76,4 млрд. м³, при цьому імпорт складав 55,9 млрд. м³ (73 %). Але справа не в значних рівнях імпорту ПЕР і енергозалежності України – остання оцінюється в 54,8 %. Близький до українського рівень енергозалежності демонструє багато успішних держав, у тому числі країни ЄС-25 (у середньому – 51 %), особливо Німеччина (61,4 %). Японія на 93 % залежить від імпорту органічного палива. Корені енергозалежності української держави, на відміну від країн з розвинутою економікою, знаходяться не ззовні, а всередині країни та обумовлюються особливостями її соціально-економічного устрою, слабкого розвитку конкурентних відносин, зокрема, нелібералізованістю енергоринку і, як наслідок, високою енергоемністю продукції. Але в суспільстві та в певних урядових колах відсутнє розуміння цього факту. Свого часу було навіть ліквідовано Інститут енергозбереження в системі НАН України, а згодом академічну

науку взагалі було відсторонено від питань енергозбереження: «наприклад, розробка проекту нової редакції «Комплексної державної програми енергозбереження» у 2004 році вже не передбачала участі наукових співробітників Академії»[85]¹. Автори цитованої статті стверджують, що найбільш успішна політика енергозбереження в Україні проводилася у 2000-2001 роках, коли було продемонстровано «можливість щорічного скорочення енергоємності на рівні 10 %». Неважко підрахувати, що при збереженні такого темпу, енергоємність зменшилася б удвічі за 7,3 року, тобто Україна мала шанс наблизитися до європейського рівня вже наприкінці наступного, 2007 р². Можливо, надмірна увага до цін на природний газ є тільки засобом деяких впливових політичних сил і бізнес-угруповань зберегти вигідну лише для них ситуацію з надмірною втратою енергії, відвернути увагу від несистемного підходу до сфери енергоспоживання у частини постачання, розподілу, реекспорту газу і взагалі – від необхідності розробляти і впроваджувати насправді актуальні для економіки України національні проекти з енергозбереження. Зловживати розподілом природного газу в умовах його великих питомих втрат легше якраз при його низькій вартості на східному кордоні і високій – на західному.

Додатковим аргументом на користь припущення щодо великого впливу фактора низьких цін природного газу на підвищену реакцію з приводу наближення цін на природний газ до світових є майже повний спокій відносно цін на інші балансоутворюючі енергетичні ресурси, зокрема нафту (яка теж, як і газ, є високореакційним вуглеводневим паливним ресурсом), уран, навіть вугілля.

Подібно до газу, нафта (у структурі споживання первинної енергії в Україні нафта приблизно вдвічі поступається газу) також значною мірою є імпортованим продуктом: з 18 млн. т потрібної нафти у 2005 р. 13, 7 млн. т (76 %) було імпортовано з Росії (в основному) і Казахстану. Але на відміну від цін на газ, ціни на нафту в Україні вже тривалий час є близькими до середньоєвропейських. У 2005 р. вони були 48 і 44 \$/барель (або 1,51 і 1,38 грн./л. у перерахунку на нафту марки *Brent*). Різниця не перевищувала 10 %, і гучних дискусій щодо втрати енергонезалежності з приводу тотожності цін на нафту в країнах – експортерах та імпортерах – багато років не спостерігається. Ціни на нафтопродукти в Україні відстежують коливання і тренди вартості сирової нафти у досить спокійній, діловій атмосфері. Приблизно те саме можна сказати і про енергетичне вугілля, середня ціна якого в Україні у 2005 р. становила 217,67 грн./т при собівартості 231,43 грн./т. Еталонна (не контрактна) середня світова ціна на вугілля складала 51,9±3,61 \$/т (табл. 2.4). Тобто собівартість українського вугілля (ще одного структуроутворюючого паливного ресурсу України, частка якого сягає 19 %) лише на 4,6 % поступається світовій ціні на вугілля. Держава, за мовчазною згодою із суспільством, терпляче дотує виробництво і споживання вугілля в країні [86].

Аналогічна ситуація з ураном – останнім великим (17 % у загальній структурі споживання ПЕР) структуроутворюючим паливним ресурсом України. Суспільство, громадські організації майже не втручаються у питання ціноутворення в ядерній енергетиці України. Можливо, це з причинено відомою населенню України таємницею, пов'язаною з діяльністю цієї специфічної галузі енергетики, у тому числі з питанням

¹ Цитується за [85] у перекладі авторів.

² За «Стратегією»: майже двократне поліпшення показника енергоємності – з сучасних 0,79 (2005 р.) до прогнозованих 0,41 кг у.п./грн. планується досягнути у 2030 р. Тобто середньорічні темпи зниження показника енергоємності оцінюються у 1,9 %. Це значення є у 5 разів меншим за амбіційні 10 %, можливість досягнення яких було показано в Україні на початку XXI ст. [85].

демонополізації постачання ядерного палива¹. До того ж світ ще не навчився визначати питомі витрати ядерного палива у вигляді умовного палива на одиницю енергії, яка виробляється. Статистика не враховує в енергобалансі ядерне паливо. Тільки нещодавно з'явилися дослідження, присвячені економіці ядерної складової енергетичного балансу України [87, 88]. Врахування ядерного палива у структурі споживання первинної енергії в Україні суттєво корегує цей баланс.

Таблиця 2.4

Еталонні ціни (залежно від вмісту сірки, золи та інших показників) на енергетичне вугілля [86]

Країна видобутку	Порти, міста постачання	Цінові показники		
		\$/т	грн./т	грн./кВт*год
Польща	Балтійське узбережжя	50	250	0,034
ПАР	Ричардс-Бей	53,95	270	0,037
Австралія	Гладстон	53	265	0,035
Австралія	Ньюкасл	49,05	245	0,033
Китай	Цинхуандао	48,5	243	0,034
Росія	Тихоокеанське узбережжя	49	245	0,033
Росія	Балтійське узбережжя	55	275	0,037
Колумбія	Болівар	59	295	0,039

Згідно з першими оцінками за новими методиками економічні показники ядерної енергетики є дуже привабливими (табл. 2.5). За цінами 2005 року умовне паливо з урану (за світовими цінами) майже в 7 – 8 разів дешевше за умовне паливо, отримане з традиційних видів ПЕР.

Таблиця 2.5

Викиди та вартість 1 т.у.п. залежно від виду ПЕР [87, 88]

Показник	Одиниця виміру	Вид палива		
		вугілля	газ ¹	уран
Викиди NO _x , SO ₂ , зола, СО	Кг	84	4,9	0
Викиди CO ₂	Кг	2717	1644	0
Всього викидів	Кг	2801	1648,9	0
Ціна 1 т.у.п.	грн.	305	344	46

Примітка. ¹До подорожання з січня 2006 р.

Таким чином, природний газ поки що залишається єдиним видом ПЕР в Україні, вартісні показники якого суттєво відстають від світових показників (табл. 2.6). Ми вважаємо, що поки буде зберігатися така ситуація, будуть існувати чинники гальмування системної політики енергозбереження, оскільки низькі ціни на газ і висока енергоемність ВВП створюють сприятливі умови для зловживань операторів газом.

¹ На українських АЕС здійснювалася дослідна експлуатація кількох ТВЕЛ виробництва фірми Westinghouse (США) замість російських із перспективою організації у майбутньому міжнародного тендеру на поставки ядерного палива та ТВЕЛ для українських АЕС. Кабінет Міністрів Постановою від 29.12. 2006 № 1854 «О совершенствовании управления атомно-промышленным комплексом» створив державний концерн «Укратомпром» з метою формування вітчизняного циклу виробництва ядерного палива.

**Рівень наближення цін на ПЕР в Україні до світових
(без урахування витрат на відшкодування викидів NO_x,
SO₂, золи, CO_x, якщо не вказано інше) [88]**

Показник	Один. вим.	Газ	Нафта	Вугілля	Уран
Частка у структурі споживання первинної енергії	%	41	19	19	17
Ціна 1 т.у.п., Україна, населення	\$	46,7	348,4	15,8	
Ціна 1 т.у.п., Україна, ПП	\$	180,7			
Ціна 1 т.у.п., ЄС-15, населення	\$	668,4	380,1	17,7	
Ціна 1 т.у.п., ЄС-15, ПП	\$	549,1			
Ціна ¹ 1 т.у.п., Україна	грн.	344 ²		305 ²	46 ²
Вартість ПЕР на енергоринку, одиниця виміру		\$/1000 м ³	\$/bar	\$/т	
енергоринок України ^{1,3}		36,6 ⁴ /141,5 ⁴	44	46,3 ⁵	
світовий енергоринок ³		523,4/430	48	51,9	

Примітки. ¹ До подорожчання імпорту з січня 2006 р.

² З урахуванням витрат на відшкодування викидів NO_x, SO₂, золи, CO_x.

³ Чисельник – для населення; знаменник – для підприємств.

⁴ Після подорожчання з січня 2006 р.

⁵ Собівартість видобутку.

Перед новоствореним Національним агентством України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР) постало завдання не так реанімації державної політики у сфері енергозбереження, як пошуку, розробки і реалізації нових стратегій і національних проектів у сфері енергоефективності, стимулювання переходу до новітніх технологій енергоспоживання¹. Ці завдання мають відверто науковий характер. Тут доцільно процитувати академічне видання, в якому узагальнюється більше ніж 10-річний досвід державного управління енергозбереженням в Україні: «Успішний розвиток енергетики може й повинен стати трампліном розвитку національної економіки... На перший план виходить культура виробництва й споживання енер-

¹ Про невисокий рівень уваги держави до енергозбереження у недавньому минулому свідчить ряд фактів. Запам'ятався фрагмент виступу кілька років тому представника керівництва колишнього Держкомзбереження, коли він звітував про *досягнення* свого відомства, зокрема, що Україна придбала серію ефективних вітросилових установок зі штату Каліфорнія, але «на жаль, з Каліфорнійщини не було завезено вітру належної інтенсивності». Парадоксальність цього виступу полягає у тому, що вітровий потенціал на більшій частині території України є невисоким, нижчим за показники, при яких забезпечується рентабельність ВЕУ, а тому термін окупності ВЕУ перевищує термін їх експлуатації. Лише у 1997 р. Україна створила власну Комплексну державну програму енергозбереження (КДПЕ) на період до 2010 р. Але її якість виявилася невисокою. Життя показало, що так званий «песимістичний», за КДПЕ, варіант розвитку ВВП взагалі і первинних ПЕР та електроенергії зокрема, насправді виявився «надоптимістичним». У 2000 р. фактичний розвиток ВВП щодо 1990 р. склав 43,3 %, а не 49,5 % за «песимістичним» варіантом [89]. Але особливо суттєвими були помилки в оцінці виробництва електроенергії та первинних ПЕР, які, як показує порівняння того ж «песимістичного» варіанту з фактичними значеннями, досягли 37 і 30 %. Уточнена у 2000 р. КДПЕ знову не справилася із завданням навіть короткострокового прогнозування. Зараз, коли до її кінцевого терміну залишилося 3 роки, КДПЕ по суті викликає лише історичний інтерес. Таким чином, КДПЕ спіткала доля більшої частини прогнозів. Хто зараз згадує футурологічні розрахунки Римського клубу, передовиків боротьби з озоновою дірою, піонерів водневої енергетики? Причиною низької якості оцінок КДПЕ була неспроможність передбачення стрибків цін на водневуглецеві ПЕР і різкі, навіть полярні, зміни як регіональної, так і глобальної політичної кон'юнктури. Складне завдання прогнозування вирішувалося все простішими засобами. Більше того, за свідченнями академіка Б.С. Стогнія, д.ф.-м.н. В.А. Жовтянського, розробка проекту нової редакції КДПЕ у 2004 році вже зовсім не передбачала участі наукових співробітників НАН України [85].

гії. ...Елементи цієї культури вже понад 30 років послідовно розвиваються світовим співтовариством, його наступними відгалуженнями стали національні концепції «енергетичної безпеки» і парадигма сталого розвитку» [90].

Уникнути необхідності вибору між «...заміною газового півдня на ядерну петлю», або проскочити між Сциллою ядерної енергетики і Харибдою газового дефіциту, можливо тільки на умовах фундаментальної наукової навігації. Але зараз маємо лише підтвердження зневаги до наукової складової програм енергозбереження – основного чинника досягнення енергонезалежності України. Цю зневагу демонструє перелік наукових напрямків енергозбереження, які відсутні в Україні, але присутні у програмах фундаментальних та прикладних досліджень країн з розвинутою економікою. Наприклад, країни G8, серед них сусідня Росія, можуть пишатися наявністю програм водневої енергетики, водовугільної енергетики, ядерної енергетики, децентралізованого енергопостачання, новітніх систем теплозабезпечення, у тому числі – електротеплозабезпечення».

Таким чином, стратегічною метою розвитку енергетики України є досягнення енергетичної безпеки країни за рахунок зменшення обсягів споживання та імпорту газу в умовах неухильного зростання виробництва теплової й електричної енергії. Але досягнення цієї мети можливе тільки при докорінному зменшенні енергоємності продукції та енергоємності на одиницю ВВП. Якби енергоємність продукції та енергоємність на одиницю ВВП не були настільки високими, енергобаланс України суттєво б відрізнявся від представленого у статистичних даних.

Зараз необхідно розглянути загальну (сучасну і перспективну) картину електроенергобалансу і теплозабезпечення, які є основними джерелами розробки концептуальних засад новітньої технології опалення – електротеплоакумуляційного обігріву.

Особливості електроенергобалансу. Розвиток електрообігріву має два етапи. Перший етап для забезпечення потреб електрообігріву не потребує введення нових електрогенеруючих потужностей, оскільки вже зараз існують технології акумуляційного електроопалення, які базуються виключно на використанні енергії нічних провалів ОЕС. Ці технології сприяють підвищенню ефективності використання існуючого енергогенеруючого обладнання за рахунок підвищення рівнів нічних та денних мінімумів електроспоживання, беруть участь у регулюванні не тільки потужності, але й частоти. На другому етапі стає можливим використання електрообігріву (безумовно, у разі наявності позитивного відповідного техніко-економічного обґрунтування) як звичайного споживача, а не споживача-регулятора. В обох випадках необхідно чітко уявляти потенціал упровадження, який насамперед впливає з уявлень про електроенергобаланс. Таким чином, упровадження електрообігріву стає умовою сталого економічного і соціального розвитку країни, а його можливості за інших рівних умов забезпечуються сучасним і подальшим станом електроенергетики.

Дані про встановлену потужність електростанцій у 2005 і 2030 (прогноз) роках наведено у табл. 2.7; а також баланс споживання електроенергії (ЕЕ) в 2005 р. і прогнозований на 2030 р. у табл. 2.8. Порівнюючи показники виробленої (фактично і за прогнозом) електроенергії та гіпотетичної кількості, яка може бути виробленою при безперервній річній праці, можна визначити умовний коефіцієнт використання потужностей. Він менший за одиницю (за даними Мінпаливенерго, на 1 січня 2002 р. з 31,2 млн. кВт встановленої потужності теплових електричних станцій лише 28,4 млн. кВт можуть нести навантаження), тобто у цілому ОЕС України, подібно до мереж багатьох інших країн, характеризується певним резервом (зрозуміло, що технічний стан цього резерву може бути не дуже позитивним)

генеруючих потужностей. Тому можна вважати, що коли виникне попит на нові обсяги електроенергії, то його можна певною мірою задовольнити за рахунок наявних потужностей.

Таблиця 2.7

**Установлена потужність (фактична і прогнозована, ГВт)
електростанцій та виробництво (млн. кВт*год) електроенергії [2]**

Показник	Роки	
	2005	2030 (прогноз)
Установлена потужність ТЕС (у т.ч. блок-станції)	33,5	46,4
Установлена потужність АЕС	13,8	29,5
Установлена потужність ГЕС та ГАЕС	4,7	10,5
Установлена потужність інших джерел	0	2,1
Усього	52	88,5
Виробництво електроенергії (фактичне, прогнозоване)	185236	420100
Гіпотетичне (при повному завантаженні потужностей) виробництво електроенергії за 8760 годин (1 рік)	455 520	775 260
Середньорічний коефіцієнт використання потужностей*	0,407	0,542

Примітка. *Коефіцієнт використання потужностей узимку може суттєво збільшитися

Таблиця 2.8

Баланс споживання електроенергії в 2005 р. і прогнозований баланс на 2030 р. [2]

Показник	2005 рік		2030 рік	
	млн. кВт*год	%	млн. кВт*год	%
Виробництво електроенергії	185236	100	420100	100
Промисловість	91793	49,55	169825	40,42
Сільгоспспоживачі	3426	1,85	10095	2,40
Транспорт	9235	4,99	12893	3,07
Будівництво	948	0,51	5750	1,37
Комунально-побутові споживачі	15296	8,26	50358	11,99
Інші непромислові споживачі	4707	2,54	21040	5,01
Населення	26444	14,28	93239	22,19
Споживання електроенергії (нетто)	151849	81,98	363200	86,46
Витрати електроенергії на її транспортування	25035	13,52	31900	7,59
Споживання електроенергії (брутто)	176884	95,49	395100	94,05
Експорт електроенергії	8352	4,51	25000	5,95

За питомим річним споживанням електричної енергії Україна значно поступається (особливо, якщо врахувати її технологічну відсталість, дуже високу енергоємність ВВП і великі, у зв'язку з суворим кліматом, витрати на опалення) країнам з розвинутою економікою. За даними МЕА [1], Україна позиціонується таким чином (таблиця 2.9).

Таблиця 2.9

Позиціонування України за питомим річним споживанням електричної енергії [1]

Країна	США	Японія	ЄС-15	СНД	Україна	Сх. Європа	Туреччина	КНР	Індія
кВт*год/люд.	12792	7727	6813	4731	3789	3458	1592	1170	485

Таблиця 2.10

Частка споживання електроенергії (ЕЕ) в ЖКК і АПК [2]

Показник	2005 рік		2030 рік	
	млн. кВт*год	%	млн. кВт*год	%
Споживання ЕЕ в ЖКК і АПК	45 166	24,38	153 692	36,58
Споживання ЕЕ в промисловості	101 976	55,05	188 468	44,86

Частка споживання електроенергії в ЖКК і АПК у 2030 р. збільшиться порівняно з 2005 р. від 24,4 % до 36,6 %, а в промисловості, навпаки, зменшиться від 55 % до 44,9 % (табл. 2.10).

У табл. 2.11 наведено дані про очікувані середньорічні прирости електроспоживання. Навіть за найбільш песимістичним варіантом до 2030 р. очікується подвоєння електроспоживання.

Таблиця 2.11

Період подвоєння споживання електроенергії за різними сценаріями розвитку економіки України [2]

Показник	Сценарій		
	песимістичний	базовий	оптимістичний
Середньорічні прирости електроспоживання до 2030 р., %	2,6	3,2	3,7
Період подвоєння, роки	27,0	22,0	19,1

Очевидно, суттєве збільшення попиту на електроенергію потребує введення нових потужностей. Зростання виробництва електроенергії до 2030 р. на ТЕС і ТЕЦ планується досягнути частково за рахунок оновлення та введення в експлуатацію нових потужностей на сучасному обладнанні, частково – шляхом спорудження ГЕС на ріках Тисі і Дністрі та їх притоках малих ГЕС, а також зниженням питомим витрат палива на відпук електроенергії (з 378,9 г.у.п./кВт*год у 2005 році до 345,7 г.у.п./кВт*год у 2030 році) та витрат електричної енергії на її транспортування. Для задоволення попиту на електроенергію розглядаються плани будівництва АЕС. Але вже зараз використання АЕС як базових джерел електроенергетики ставить питання «неліквідності» генерованої ними в базовому режимі енергії у години нічного провалу навантажень. Довід упровадження двох енергоблоків на ХАЕС-2 і РАЕС-4 якраз і свідчить про проблемність подальшого розвитку АЕС в Україні без створення механізмів відповідного компенсування «надлишкової» енергії [77, 79].

Особливості теплозабезпечення. На виробництво електричної та теплової енергії у 2005 році електростанціями було витрачено 41,4 млн. т.у.п., при цьому питомі витрати на виробництво теплової енергії склали 174,0 кг/Гкал. Уже наголошувалося, що стратегічною метою енергетики України є поглиблення енергетичної безпеки країни за рахунок зменшення обсягів (76,4 млрд. м³, імпортна складова 73 %) споживання газу в умовах неухильного зростання виробництва теплової енергії. Це зменшення має бути таким: у 2030 р. споживання газу в Україні, за прогнозом, становитиме 49,5 млрд. м³, імпорт газу – тільки 9,4 млрд. м³ (19 %). Загальне виробництво теплової енергії при цьому збільшиться у 1,8 раза (до 430,9 млн. Гкал). При виробництві теплової енергії буде широко застосовуватися комбіноване виробництво теплової та електричної енергії, відновлювані та нетрадиційні джерела енергії, збільшення встановленої потужності АЕС, ТЕЦ та ТЕС нових типів на вугіллі та альтернативних видах ПЕР.

Важливим джерелом нарощування виробництва тепла будуть (це зазначено у «Стратегії») електричні теплогенератори (з 2015 року – переважно теплові насоси). Слід навести наступний абзац зі «Стратегії»: *«...поетапна заміна частини систем генерації тепла на органічному паливі системами акумуляційного електричного та електрогідродинамічного нагріву (термери) на позапіковій енергії, що не потребує введення нових електрогенеруючих потужностей і сприяє підвищенню ефективності використання енергогенеруючого обладнання за рахунок ущільнення графіків електричних навантажень (підвищення рівнів нічних та денних мінімумів електроспоживання), бере участь у регулюванні частоти та потужності...»*. З 2015 р. планується зменшити витрати органічного палива за рахунок інтенсивного впровадження теплових насосів та акумуляційних електронагрівачів.

Одним із чинників розвитку електрообігріву є ситуація з розподілом тепла через теплові мережі. Україна зараз має досить розвинену теплову мережу. Довжина магістральних і розподільних теплових мереж в Україні (за винятком власних тепломереж промислових підприємств) становить 24,3 тис. км у двотрубному обчисленні, в тому числі:

- тепломережі Мінпаливенерго – 3,5 тис. км діаметром від 125 до 1400 мм;
- комунальні тепломережі – 20,8 тис. км діаметром від 50 до 800 мм.

Але стан більшості тепломереж незадовільний. Понад 28 % тепломереж експлуатуються понад 25 років, 43 % — понад 10 років і лише 29 % тепломереж мають термін експлуатації менший за 10 років. Втрати тепла в теплових мережах складають від 5 % до 32 % із середньозваженим відсотком втрат у системах теплозабезпечення близько 14,3 %.

Основними (44 %) споживачами теплоенергії в Україні є ЖКК, 35 % споживання теплоенергії припадає на промисловість, а на інші галузі – 21 %. При цьому в 2005 р. основна кількість теплоенергії вироблялася у дрібних промислових чи опалювальних автономних котельнях, загальною кількістю понад 100 тис.¹ У цих котельнях, технічний стан обладнання більшості з яких є незадовільним, у 2005 р. вироблялося 62 %, або 148,8 млн. Гкал від загальної кількості виробленої теплоенергії (241 млн. Гкал). На виробництво теплоенергії в цих низькоефективних котельнях було витрачено 52 – 54 % від усього спожитого в Україні у 2005 р. природного газу. Таким чином, можна зробити висновок, що незадовільний стан генерації теплової енергії, її розподілу є фактором, який стимулює пошуки інших засобів теплозабезпечення, у тому числі електротеплозабезпечення.

¹ У країні діють 250 ТЕЦ (≈200 відносно дрібні, відомчі), основним (на 76-80 %) паливом для яких є природний газ.

Відповідно до європейського вектора розвитку України, її енергоринок поступово відкривається і все більше інтегрується зі світовим. У майбутньому ціна на природний газ в Україні неминуче зрівняється з так званою «середньосвітовою» та «середньоєвропейською».

Уявлення про майбутнє ринку ПЕР в Україні дають табл. 2.12, 2.13.

Прогноз щорічного підвищення ціни на газ після 2010 р. оцінюється у 8,5 % [91], чому відповідає період подвоєння ціни на газ 8,5 років. Таким чином, у найближчій перспективі неминучим є багаторазове зростання цін на природний газ. Тому слід очікувати, що темпи подальшої газифікації населених пунктів України, які будуть коригуватися виключно економічною доцільністю, наблизяться до нульових. Зафіксований на сьогодні рівень газифікації житлового фонду в містах складає близько 77 %, а в сільській місцевості – 32 %. Використання електроенергії для опалення буде визначатися переважно співвідношенням цін на природний газ і тарифів на електроенергію (табл. 2.14, 2.15).

Таблиця 2.12

**Середні ціни на природний газ у 2005 р., \$/1000 м³
і вартість С_{пг} (цент/кВт) за 1 кВт•год [2]**

Країна	Споживач		Співвідношення (стовп.2/ стовп.3)	Вартість, цент/кВт•год	
	населення	промисловість		населення	промисловість
1	2	3	4	5	6
Україна	34,1	72,6	0,47	0,328	0,698
Росія	37	47	0,79	0,356	0,452
Молдова	114,5	114,2	1,00	1,101	1,098
Польща	217,2	230,6	0,94	2,089	2,218
Німеччина	463,1	321,4	1,44	4,454	3,091

Таблиця 2.13

**Середні ціни на природний газ у 2006 р. (з ПДВ),
\$/1000 м³ і вартість С_{пг} (цент/кВт) за 1 кВт•год [2]**

Країна	Споживач		Співвідношення (стовп.2/ стовп.3)	Вартість, цент/кВт•год	
	населення	промисловість		населення	промисловість
1	2	3	4	5	6
Україна	36,6	141,5	0,26	0,352	1,361
Росія	44,3	51,7	0,86	0,426	0,497
Молдова	113	113,7	0,99	1,087	1,094
Польща	450	237,4	1,90	4,328	2,283
Німеччина	476,7	420,0	1,14	4,585	4,040
ЄС-25	523,4	430,0	1,22	5,034	4,136

Ці таблиці також відбивають структуру цін на газ та її динаміку для різних категорій населення у країнах з розвинутою економікою (Німеччина), з недостатньо розвинутою економікою (Польща) і країнах з низькорейтинговими (перехідними) економіками (Україна, Росія, Молдова). В Україні у 2005 р. спостерігається навіть певний регрес, оскільки індекс «ціна газу для населення/ціна газу для промисловості», показники якого для промислово розвинених країн (наприклад, у середньому для країн ЄС він дорівнює 1,22) більші за одиницю, в Україні ще більше знизився (з 0,47 до 0,26). Польща, у зв'язку зі вступом до ЄС, зазнає труднощів, для подолання яких вона повинна була майже подвоїти вказаний індекс з 0,94 до 1,90.

Таблиця 2.14

Середні ціни C_{EE} на електроенергію у 2004 р., цент/кВт•год [2]

Країна	Споживач		Співвідношення (стовп.2/ стовп.3)	Співвідношення $C_{EE}/C_{ПГ}$	
	населення	промисловість		населення	промисловість
1	2	3	4	5	6
Україна	2,28	3,36	0,68	6,95	4,81
Казахстан	2,64	3,53	0,75	–	–
Росія	2,73	2,91	0,94	7,67	6,44
Словаччина	11,5	11,37	1,01	–	–
Грузія	3,53	3,00	1,18	–	–
Литва	8,06	6,65	1,21	–	–
Польща	8,14	6,38	1,28	3,90	2,88
Угорщина	10,82	8,23	1,31	–	–

Таблиця 2.15

Вартість 1 Гкал, \$, за даними впровадження ВВТ в Росії [91]

Вид ПЕР	Вартість 1 Гкал		Вартість 1 кВт•год	
	грн.	\$	коп.	центів
Газ	74,07	14,81	6,37	1,27
Мазут	226,85	45,37	19,51	3,90
Торф (собівартість)		4,8 – 6,4		≈0,48
ВВТ	44,63	8,93	3,84	0,77

Примітка: * ПЕР, що позначені, мають тенденцію до безперервного зростання вартості у зв'язку з переміщенням видобутку нафти та газу до важкодоступних регіонів світу, шельфів, глибин.

Динаміка абсолютних і відносних цін на ПЕР та різні види енергії. При реалізації плану «Стратегії» у віддаленій перспективі обсяги споживання природного газу (ПГ) постійно зменшуються при одночасному зростанні обсягів використання вугілля та електроенергії. Якщо природний газ як був, так значною мірою й залишиться імпортованим, і його ціна досить швидко досягне кількох сотень доларів за 1000 м³, то тарифи на електроенергію теж із початком лібералізації енергоринку підуть угору, але потім повинні зупинитися. Причиною є особливості вітчизняного електроенергобалансу, у якому значну (≈ 50 %) частку займає ядерна енергетика (у 2005 р. собівартість електроенергії, виробленої на АЕС, складала, за деякими даними, 2,5 коп./кВт•год) та значні запаси власного вугілля, придатного для споживання в енергетиці (при прямому спалюванні на ТЕЦ чи у вигляді продуктів газифікації) (табл. 2.14).

Структура тарифів потребує невідкладного удосконалення для забезпечення фінансової стійкості та інвестиційної привабливості енергетичних компаній. Ціни на паливо та енергію повинні забезпечувати фінансування як виробничої, так і інвестиційної діяльності підприємств. Ніякі політичні фактори не повинні впливати на державні органи регулювання при встановленні ними економічно обґрунтованих цін на енергоресурси.

«Витискування» газу з паливного балансу у зв'язку з переорієнтацією призначення газового палива (на експорт) спостерігається навіть у Росії. Економічний ефект від цього оцінюється 15 – 20 \$/Гкал. Собівартість тепла, наприклад, на торф'яних котельнях, складає 4,8 – 6,4 \$/Гкал (0,005 \$/кВт). Ще однією з таких газозамінюючих прогресивних технологій є водовугільна технологія (ВВТ), розробці якої приділяють велику увагу в Китаї, США, РФ (табл. 2.15) [91].

У Росії вважають, що на ринку електроенергії ціна на газ має бути в 1,6 – 2 рази вищою за ціну на електроенергію [91]. Тільки таке співвідношення знизить частку газу в структурі споживання палива за допомогою вугільних ТЕС. Вугільна промисловість повинна збільшити частку своєї продукції в енергобалансі вдвічі – до 30 – 35 %, а зараз вона становить 16 %. Для порівняння, в Україні (обділеній великими газовими родовищами) частка вугілля в паливному балансі є більшою лише на 3 %. «Господарі» сировинного бізнесу Росії на зустрічі у Кремлі 8.02.2007 ставлять завдання «злізти з сировинної голки», коли на переробку йде менше 10 % видобутого природного газу [92].

2.3.3. Добові та сезонні режими навантаження ОЕС України

Відомою особливістю електроенергії як товару є залежність її виробництва від часу доби та пори року, що зумовлюється добовою і сезонною нерівномірністю попиту на електроенергію. Ця особливість електроенергії, внаслідок неможливості акумулювання її тимчасових надлишків, є негативною. Графік навантажень ОЕС України (рис. 2.1) фіксує залежність виробництва електроенергії від часу доби станом на 21.12.2005 (зимовий режимний день 2005 р.).

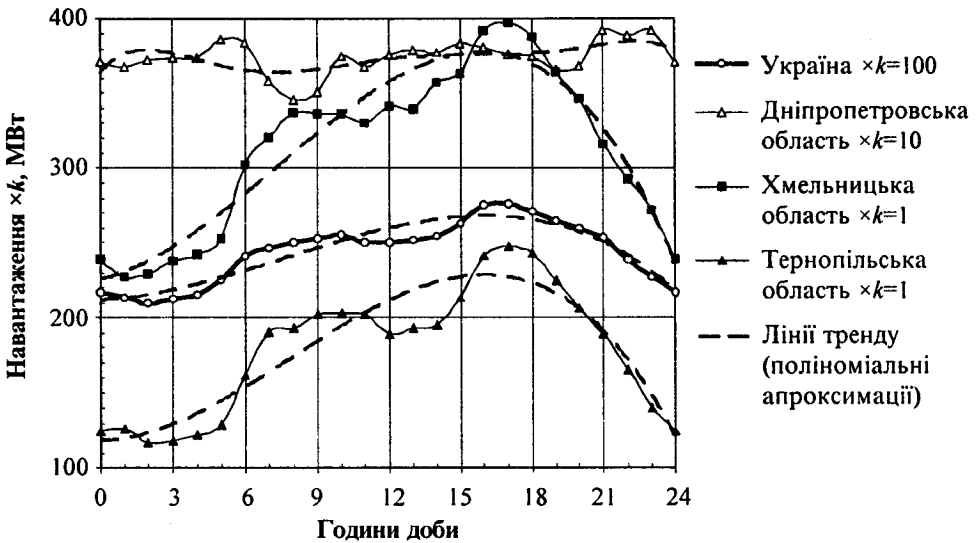


Рис. 2.1. Добове навантаження у зимовий режимний день 2005 р., МВт (позначені знаком x множники k для визначення числових значень навантаження по осі ординат).

Очевидно, що, крім часового фактора, на характер графіка навантажень великий вплив мають інші чинники, зокрема геополітичні ризики і виклики, фактори і причини різної (соціально-економічної, технічної, політичної, економічно-географічної тощо) природи, механізми взаємодії яких досить складні, суперечливі, а результати у вигляді значень і тенденцій макроекономічних показників та їх комплексів іноді можуть бути несподіваними, неоднозначними і неприйнятними. Досі не запропоновано надійну модель сучасного і перспективного графіків навантажень ОЕС України в умовах так званого вільного функціонування ОРЕ, яка б більш-менш враховувала соціальні, політичні або економічні кон'юнктури, що існують зараз або очікуються у майбутньому. Але в будь-якому випадку,

першою і обов'язковою умовою побудови моделі графіка навантажень ОЕС України, як дзеркала її економіки, вважається облік фактично споживаної електроенергії. Згідно з «Концепцією функціонування та розвитку ОРЕ України» системи обліку повинні забезпечити функціонування моделі ринку двосторонніх договорів і балансувального ринку. Тому обліку споживання електроенергії в Україні приділяється значна увага. Але лише у майбутньому згідно з «Програмою впровадження системи обліку електроенергії на 2005-2009 роки відповідно до Договору між членами ОРЕ» передбачається створення автоматизованої системи обліку електроенергії (АСОЕ) відповідно до вимог міжнародних стандартів, поетапний перехід на нові розрахункові точки, що перебувають на межі балансової належності між суб'єктами ОРЕ (включає, серед іншого, обладнання багатofункціональними електронними лічильниками).

Зараз дані про виробництво, передавання, розподіл та споживання електроенергії збираються (знизу вгору) [93]:

- на 132 підстанціях магістральних мереж напругою 220-750 кВ;
- на регіональному рівні: у структурних підрозділах НЕК «Укренерго», а саме у 8-ми ЕС;
- на центральному рівні: в апараті управління НЕК «Укренерго».

На сьогодні, ще не працює автоматизована система обліку електроенергії, процес обліку в НЕК «Укренерго» здійснюється за такою схемою (рис. 2.2) [93]:

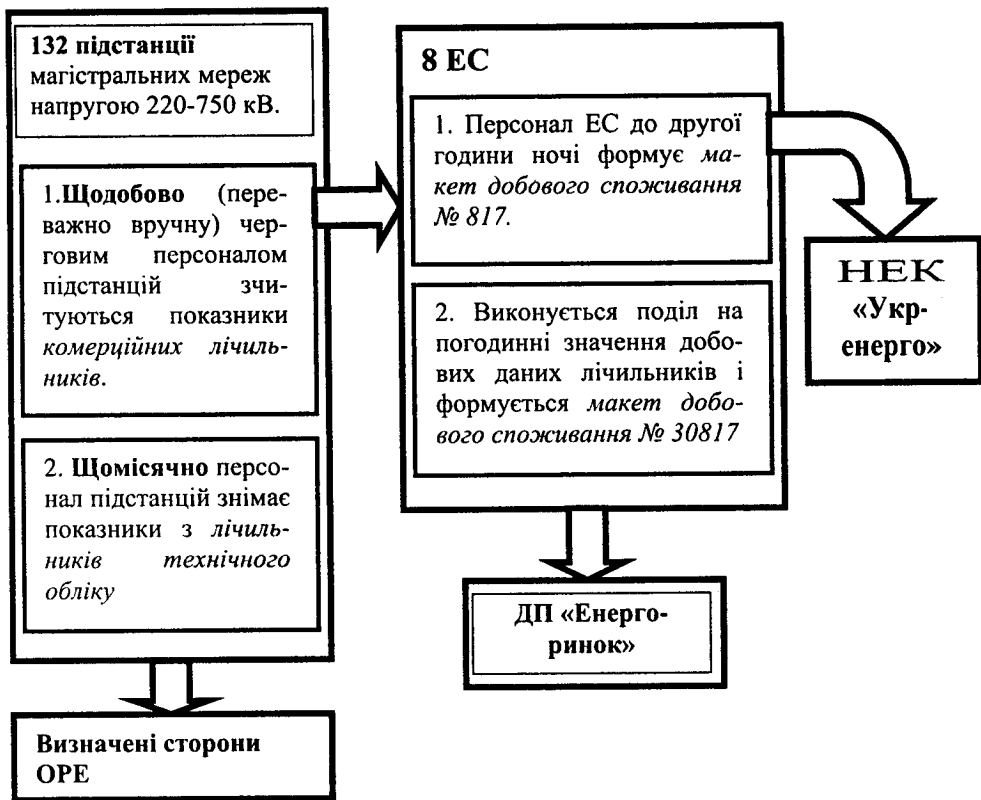


Рис. 2.2. Існуюча (2006 р.) схема обліку виробництва, передавання, розподілу та споживання електроенергії в Україні.

Відповідно до постанови НКРЕ № 304 від 24.03.2000 р. «Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України» для роботи ОРЕ необхідний погодинний облік електричної енергії в точках розподілу між учасниками ОРЕ. Ця вимога виконується, і тому зараз накопичено великий комплекс даних. Для оцінки нерівномірності графіка навантажень використовують коефіцієнт заповнення добового графіка $k_{\text{зап}}$ (відношення величини середнього навантаження до максимального) і коефіцієнт його нерівномірності $k_{\text{нер}}$ (відношення величини мінімального навантаження до максимального). Для зимового режимного дня 2005 р. ОЕС України коефіцієнт заповнення $k_{\text{зап}}=0,886$, коефіцієнт нерівномірності $k_{\text{нер}}=0,759$.

Для оцінки нерівномірності завантаження локальної мережі у масштабі енергетичної компанії (Обленерго чи міської) спочатку визначалися k_i^j – відносні величини погодинного добового коливання:

$$k_i^j = \frac{P_i^j}{P_{\text{max}}^j},$$

де P_i^j – потужність в i -ту годину доби, $i \in [0, 24]$ j -тої області, $j \in [1, 27]$; P_{max}^j – абсолютний максимум в добовому циклі j -тої області, $j \in [1, 27]$.

Потім для кожної конкретної j -ої обласної мережі визначався коефіцієнт заповнення добового графіка $k_{\text{сер}}^j = k_{\text{зап}}$ і коефіцієнт нерівномірності $k_{\text{min}}^j = k_{\text{нер}}$. За розрахованими значеннями дані упорядкувалися у відповідних таблицях. З аналізу цих даних видно, що характер добових навантажень залежить від регіону. На рис. 2.1 представлено добове навантаження у зимовий режимний день 2005 р.¹ для всієї України, для областей з мінімальною (Дніпропетровська обл.: $j=3$, $k_{\text{зап}}=0,953$; $k_{\text{нер}}=0,881$), з максимальною (Тернопільська обл.: $j=21$, $k_{\text{зап}}=0,731$; $k_{\text{нер}}=0,474$), середньою (Хмельницька обл.: $j=24$, $k_{\text{зап}}=0,794$; $k_{\text{нер}}=0,572$) нерівномірністю (j – код області, табл. 2.16).

Відповідні коефіцієнти (множники кубічної поліноміальної апроксимації і величина її достовірності R^2) залежностей $P^j=f(t)$ (рис. 2.1) представлено у табл. 2.17. Поліноміальна апроксимація для Дніпропетровської обл. відзначається великою похибкою навіть для полінома шостого ступеня ($R^2=0,3055$). Дані про погодинну нерівномірність навантаження ОЕС наведено у табл. 2.18, 2.19.

Таблиця 2.16

Коди областей, міст або енергопостачальних компаній, $j \in [1; 27]$

Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	м. Київ	Київська	Кіровоградська	АР Крим	Луганська	Львівська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Івано-Франківська	Рівненська	Севастопольенерго	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27

¹ Тут і далі зимовим режимним днем 2005 р. прийнято вважати результати електровиробництва та електроспоживання 21.12.2005 р.

Таблиця 2.17

Коефіцієнти поліноміальної апроксимації $P_j = a_6 t^6 + a_5 t^5 + a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0$ (множники a_i , де $i \in [1; 6]$) та показники ступеня), величина достовірності апроксимації R^2 (криві за рис. 2.1) і результати інтегрування полінома в інтервалах доби

Область	Україна	Дніпропетровська	Дніпропетровська	Тернопільська	Хмельницька	
Код		$j=3$	$j=3$	$j=21$	$j=24$	
Ступінь полінома	6		$0,4 \cdot 10^{-5}$			
	5		0,0032			
	4		-0,0932			
	3	-0,0241	-0,0046	1,2853	-0,0528	-0,063
	2	0,5544	0,2149	8,2598	1,2622	1,3893
	1	0,8166	-2,2036	19,912	0,2043	3,3497
	0	211,89	374,95	363,69	118,6	226,13
Достовірність R^2	0,8964	0,1851	0,3055	0,871	0,9217	
Результат інтегрування, тис. кВт•год	587 627	89 729	160 971	4 342	7 568	

Таблиця 2.18

Екстремальні значення (МВт) добових графіків навантаження по Україні та областях у зимовий режимний день 2005 р. (у порядку зменшення абсолютних значень розмаху коливань ΔP)

Область	Україна	м. Київ	Донецька	Харківська	Дніпропетровська	Одеська	Луганська	Київська	Запорізька	АР Крим	Львівська	Вінницька	Полтавська	Миколаївська
Код		8	4	22	3	15	12	9	7	11	13	1	16	14
Максимум	27613	1583	3999	1357	3925	1154	1794	862	1851	898	823	528	831	545
Середнє	24470	1248	3753	1131	3742	943	1624	714	1729	752	699	405	712	459
Мінімум	20967	824	3423	815	3456	717	1462	543	1548	607	532	258	583	348
ΔP , МВт	6646	759	576	542	469	437	332	320	303	291	291	270	248	197
Область (продовження)	Закарпатська	Житомирська	Чернігівська	Хмельницька	Черкаська	Херсонська	Івано-Франківська	Кіровоградська	Сумська	Рівненська	Волинська	Тернопільська	Чернівецька	Севастопольсько-енерго
Код	6	5	27	24	25	23	17	10	20	18	2	21	26	19
Максимум	416	428	373	397	514	405	434	477	406	409	284	247	281	190
Середнє	306	340	285	315	432	328	356	411	334	342	220	181	215	156
Мінімум	223	253	201	227	346	243	276	329	263	269	154	117	151	112
ΔP , МВт	193	175	173	170	168	162	158	148	143	140	130	130	130	78

Добові графіки навантаження по Україні та областях у зимовий режимний день 2005 р.
(в абсолютних одиницях, МВт, ранжовано по ΔP)

Години	Україна	м. Київ	Донецька	Харківська	Дніпропетровська	Одеська	Луганська	Київська	Запорізька	АР Крим	Львівська	Вінницька	Полтавська	Миколаївська	Закарпатська	Житомирська	Чернігівська	Хмельницька	Черкаська	Херсонська	Івано-Франківська	Кіровоградська	Сумська	Рівненська	Волинська	Тернопільська	Чернівецька	Сєвастополь-енерго
1	21700	944	3590	849	3713	756	1522	570	1580	633	553	294	636	364	237	271	218	239	358	250	293	346	269	278	161	124	159	122
2	21299	854	3647	846	3678	753	1479	543	1579	618	555	258	626	348	236	267	206	227	351	245	282	329	264	276	160	126	153	114
3	20967	826	3423	815	3720	717	1471	543	1548	611	532	272	585	375	230	260	201	229	349	244	276	342	272	275	154	117	155	116
4	21262	827	3620	837	3739	719	1462	550	1587	607	544	283	594	385	224	253	207	238	346	243	279	348	263	269	155	118	151	113
5	21529	824	3691	878	3737	737	1491	548	1602	614	537	286	583	369	223	253	211	242	346	255	282	346	286	272	156	122	155	112
6	22516	870	3780	1006	3858	797	1553	598	1696	648	584	329	638	420	241	270	228	253	368	281	294	379	298	294	168	129	169	121
7	24127	980	3888	1112	3842	908	1618	673	1766	719	655	413	712	462	286	320	275	302	399	337	332	423	330	343	202	162	206	138
8	24632	1210	3655	1219	3582	974	1627	736	1760	766	695	459	722	496	324	361	313	321	440	369	365	426	344	357	237	191	236	152
9	25041	1320	3713	1277	3456	1019	1573	775	1758	794	758	452	765	500	333	379	318	337	457	382	382	437	361	359	242	193	235	168
10	25304	1427	3653	1269	3514	1011	1558	811	1787	815	774	460	779	499	334	387	321	336	475	349	380	458	364	362	251	202	229	178
11	25489	1478	3700	1226	3750	1011	1613	768	1777	794	772	439	760	494	329	385	319	336	469	355	373	434	373	373	248	203	226	177
12	25008	1424	3733	1245	3680	956	1603	746	1784	773	744	432	749	430	310	373	299	330	468	342	363	431	332	355	237	202	220	175
13	24966	1405	3758	1216	3752	985	1603	709	1768	753	736	419	746	437	314	358	283	342	443	331	368	427	332	368	237	189	219	166
14	25183	1441	3749	1232	3791	989	1642	712	1813	751	745	426	749	466	324	356	291	340	451	343	370	426	359	363	235	193	219	168
15	25472	1438	3819	1234	3775	995	1678	726	1842	761	763	451	748	459	322	357	294	357	462	344	362	426	379	358	247	195	228	173
16	26282	1489	3865	1298	3830	1025	1723	764	1836	784	770	477	783	484	332	347	310	363	477	371	384	453	373	396	253	213	248	175
17	27489	1583	3996	1332	3810	1119	1794	846	1840	848	821	528	831	545	336	374	359	392	503	392	418	467	401	405	283	241	267	181
18	27613	1576	3950	1357	3766	1154	1777	862	1851	898	823	516	799	527	416	428	373	397	514	405	434	477	406	409	284	247	281	188
19	27084	1536	3999	1326	3745	1128	1738	861	1796	893	811	502	787	528	397	417	348	388	496	392	434	474	384	398	273	243	275	190
20	26465	1484	3860	1283	3662	1096	1743	844	1794	875	797	486	769	526	381	401	339	364	484	380	421	447	380	385	262	225	263	186
21	25926	1424	3827	1207	3686	1051	1721	834	1780	855	779	454	738	514	354	386	325	347	468	353	397	425	350	366	247	206	248	178
22	25326	1326	3791	1118	3925	997	1739	787	1722	814	743	412	693	484	323	370	310	316	454	342	386	420	327	347	220	189	231	165
23	23838	1196	3727	1005	3889	907	1651	700	1665	751	677	359	655	461	283	293	269	293	419	293	348	364	300	317	190	165	207	147
24	22766	1064	3649	947	3918	821	1600	626	1572	668	612	316	644	439	264	301	234	272	381	271	309	359	273	285	166	140	169	132

2.3.4. Нерівномірність графіка добового навантаження як потенціал упровадження електрообігріву

Як уже зазначалося, розвиток електрообігріву на першому етапі не потребує введення нових електрогенеруючих потужностей, оскільки електрообігрів у вигляді акумуляційної модифікації повністю ґрунтується на використанні енергії нічних провалів ОЕС. Одночасно, крім одержання високоякісного опалення¹, досягається суттєве підвищення рівнів нічних та денних мінімумів електроспоживання і, за рахунок зниження потужності маневрових електростанцій, з'являється значна економія енергоресурсів, мотогодин тощо. На рис. 2.3 наведено енергетичний рельєф України зимового режимного дня 2005 р. За потребами в електричній потужності, за абсолютними значеннями виділяється «вершинна» частина, яку презентують чотири східні області (46 % споживання всієї енергії-нетто, яка виробляється в Україні); «височина», яку представляють київський регіон, південні та Харківська області; енергетична «низовина», яку визначають в основному західноукраїнські області. Але якщо перейти до відносних коефіцієнтів, то картина рівномірності використання енергії, як буде видно нижче, суттєво зміниться. Енергозберігаючі заходи дадуть максимальний ефект саме в цьому регіоні.

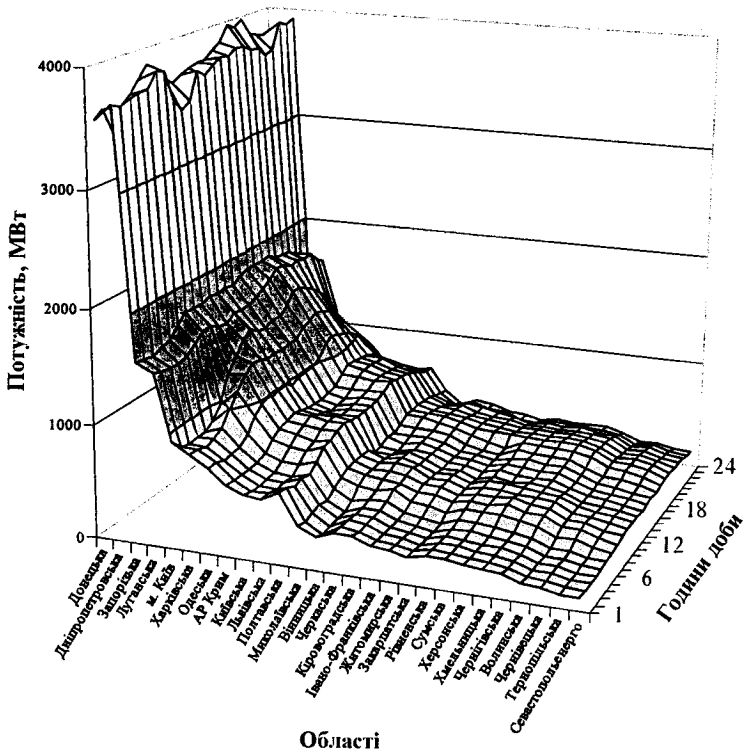


Рис. 2.3. Розподіл електричної потужності (брutto, МВт) в енергетичних компаніях за години доби у режимний зимовий день 2005 р.

¹ Зараз споживач поки ще платить за Джоулі (і то не завжди), а не за якість опалення. Панельно-променеве опалення, яке реалізується, наприклад, у підлоговому обігріві, є набагато екологічнішим і фізіологічнішим ніж, наприклад, опалення «гасницею» при однакових (навіть менших) витратах енергії.

У цілому з оброблених даних видно, що найбільшим потенціалом за абсолютним показником (табл. 2.19) упровадження електрообігріву володіє м. Київ, далі йдуть області: Донецька, Харківська, Дніпропетровська, Одеська, Луганська, Київська, Запорізька, АР Крим, Львівська, Вінницька, Полтавська, Миколаївська і т.д.

За відносними коефіцієнтами найбільш нерівномірними графіками навантажень відзначаються західні області (Тернопільська, Закарпатська, Чернівецька, Вінницька, Волинська), м. Київ, а також представники Західної, Південно-західної та частини Центральної електроенергетичної системи (табл. 2.20). У цих областях використання електрообігріву буде особливо ефективним.

Таблиця 2.19

Добові графіки (у відносних одиницях) навантаження по Україні (за областями) у зимовий режимний день 2005 р.

Ранжування по $k_{зип}$					Ранжування по $k_{нпр}$				
Область	Код	ЕЕС	$k_{зип}$	$k_{нпр}$	Область	Код	ЕЕС	$k_{зип}$	$k_{нпр}$
Тернопільська	21	ПЗ	0,731	0,474	Тернопільська	21	ПЗ	0,731	0,474
Закарпатська	6	З	0,736	0,536	Вінницька	1	ПЗ	0,767	0,489
Чернівецька	26	ПЗ	0,763	0,537	м. Київ	8	Ц	0,788	0,521
Чернігівська	27	Ц	0,765	0,537	Закарпатська	6	З	0,736	0,536
Вінницька	1	ПЗ	0,767	0,489	Чернівецька	26	ПЗ	0,763	0,537
Волинська	2	З	0,773	0,542	Чернігівська	27	Ц	0,765	0,537
м. Київ	8	Ц	0,788	0,521	Волинська	2	З	0,773	0,542
Хмельницька	24	ПЗ	0,794	0,572	Хмельницька	24	ПЗ	0,794	0,572
Житомирська	5	Ц	0,796	0,592	СевастопольЕнерго	19	Кр	0,819	0,589
Херсонська	23	Пд	0,810	0,600	Житомирська	5	Ц	0,796	0,592
Одеська	15	Пд	0,817	0,621	Херсонська	23	Пд	0,810	0,600
Івано-Франківська	17	З	0,819	0,636	Харківська	22	Пн	0,833	0,601
СевастопольЕнерго	19	Кр	0,819	0,589	Одеська	15	Пд	0,817	0,621
Сумська	20	Пн	0,823	0,648	Київська	9	Ц	0,828	0,629
Київська	9	Ц	0,828	0,629	Івано-Франківська	17	З	0,819	0,636
Харківська	22	Пн	0,833	0,601	Миколаївська	14	Пд	0,842	0,638
Рівненська	18	З	0,836	0,658	Львівська	13	З	0,850	0,646
АР Крим	11	Кр	0,837	0,676	Сумська	20	Пн	0,823	0,648
Черкаська	25	Ц	0,841	0,673	Рівненська	18	З	0,836	0,658
Миколаївська	14	Пд	0,842	0,638	Черкаська	25	Ц	0,841	0,673
Львівська	13	З	0,850	0,646	АР Крим	11	Кр	0,837	0,676
Полтавська	16	Пн	0,857	0,702	Кіровоградська	10	Днп	0,862	0,690
Кіровоградська	10	Днп	0,862	0,690	Полтавська	16	Пн	0,857	0,702
ОЕС України			0,886	0,759	ОЕС України			0,886	0,759
Луганська	12	Днб	0,905	0,815	Луганська	12	Днб	0,905	0,815
Запорізька	7	Днп	0,934	0,836	Запорізька	7	Днп	0,934	0,836
Донецька	4	Днб	0,939	0,856	Донецька	4	Днб	0,939	0,856
Дніпропетровська	3	Днп	0,953	0,881	Дніпропетровська	3	Днп	0,953	0,881

У табл. 2.21 наведено дані за три роки по $k_{зип}$, $k_{нпр}$. Видно, що тенденція показників конфігурації добового графіка навантаження ОЕС України за три останні роки є негативною.

Спостерігається негативна тенденція збільшення споживання електричної потужності в години максимальних навантажень ОЕС України, особливо в години вечірнього максимуму. Спостерігається також сезонна нерівномірність споживання електричної потужності.

Динаміка показників конфігурації добового графіка навантаження ОЕС України за 3 роки

Показники якості ОЕС	Рік		
	2003	2004	2005
Коефіцієнт заповнення $k_{\text{зап}}$	0,894	0,892	0,882
Відносна величина зміни (щодо попереднього року), %	–	0,22	1,13
Коефіцієнт нерівномірності $k_{\text{нер}}$	0,780	0,766	0,756
Відносна величина зміни (відносно попереднього року), %	–	1,81	1,31

У літній період нерівномірність споживання електричної потужності в період максимального навантаження та нічної зони доби становить 3600 МВт порівняно з 6600 МВт в осінньо-зимовий період року. Відмінності добового графіка навантаження ОЕС України в цілому і за окремими електропередавальними (енергопостачальними) організаціями на прикладі ранкових та вечірніх максимумів у режимний зимовий та літній день 2005 р. наведено у табл. 2.22.

Узагальнені дані з конфігурації добових графіків навантаження по Україні та областях у зимовий режимний день 2005 р. представлено в табл. 2.23.

У балансі споживання електричної потужності у зимовий режимний день виділяються дві великі групи: «Промисловість» (35,3 %) та група «Освітлення, побутове навантаження, нелімітовані споживачі» (29,7 %). На інші галузі економіки (будівництво, транспорт, сільське господарство, комунальне господарство) припадає 11,5 %, що дорівнює або навіть менше, ніж витрати в електричних мережах (16,2 %). За наведеними у табл. 2.21 даними поки що регулювання нерівномірності добового графіка (відповідно за обсягами електроспоживання) здійснюється, в основному, за рахунок першої (промислової) групи. Споживачі інших (непромислових) груп практично не залучаються до розрахунків за диференційованими тарифами.

Як наслідок, на конфігурацію добового графіка навантаження впливають насамперед споживачі, що розраховуються за тарифами, диференційованими за періодами часу (ТДПЧ) у групі «Промисловість». За даними табл. 2.22., 2.23 ступінь залучення споживачів до ТДПЧ у промислових областях складає третину і більше; в аграрних областях, навпаки, це одиниці відсотків. У середньому по Україні (сума регіонів) ступінь залучення споживачів до ТДПЧ сягає 27 % (за рахунок дуже високої частки енергоспоживання саме відносно невеликої кількості індустриальних областей і столиці (табл. 2.23, рис. 2.3). Тільки чотири області (за рівнем досить швидкого падіння $k_{\text{зап}}$, $k_{\text{нер}}$: Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Луганська) мають показники нерівномірності графіка навантаження ОЕС, вищі, ніж середній для України. Ці відносно високі показники стабілізації графіка навантаження електромережі досягаються за рахунок споживання електроенергії на підприємствах металургії (головним чином), машинобудування, паливної, хімічної та нафтохімічної галузей промисловості (табл. 2.24).

За деякими оцінками, концентрація ринку споживання електроенергії у кількісно невеликій групі споживачів з огляду на якість управління режимами споживання електроенергії є негативним явищем. Причиною може бути зміна режиму роботи великого споживача, яка одразу відіб'ється на режимі роботи всієї ОЕС України, що, з огляду на забезпечення надійності роботи ОЕС, є недопустимим. Таким чином, збільшення загальної кількості споживачів електроенергії за ТДПЧ є одним із пріоритетних завдань у процесі пошуку нових СР.

**Деякі сезонні відмінності добового графіка навантаження
ОЕС України у 2005 р. (ранжування за різницею між зимовим і літнім
максимумом навантаження)**

Енергопостачальні компанії	Код	Максимальне навантаження в режимний день 2005 року				Різниця між зимовим і літнім максимумом навантаження	
		зимовий		літній		ранок, МВт	вечір, МВт
		ранок, МВт	вечір, МВт	ранок, МВт	вечір, МВт		
Донецькобленерго	4	1884	2146	1114	1207	770	939
ЕК «Дніпрообленерго»	3	3514	3810	2788	2952	726	858
АЕК «Київенерго»	8	1427	1583	1056	919	371	664
Харківобленерго	22	1277	1357	934	855	343	502
Одесаобленерго	15	1019	1154	683	759	336	395
Луганське енергооб'єднання	12	1307	1471	1019	1100	288	371
Крименерго	11	815	898	570	585	245	313
А.Е.С. Київобленерго	9	736	787	496	495	240	292
Запоріжжяобленерго	7	1787	1851	1567	1560	220	291
Львівобленерго	13	745	791	479	500	266	291
Закарпаттяобленерго	6	334	416	187	205	147	211
Полтаваобленерго	16	779	831	711	671	68	160
ЕК «Миколаївобленерго»	14	487	524	354	377	133	147
ЕК «Житомиробленерго»	5	358	404	275	260	83	144
ЕК «Вінницяобленерго»	1	425	500	308	356	117	144
Черкасиобленерго	25	475	514	379	382	96	132
Сумиобленерго	20	350	388	272	256	78	132
ЕК «Чернігівобленерго»	27	307	349	232	219	75	130
ЕК «Чернівціобленерго»	26	229	281	129	152	100	129
ЕК «Хмельницькобленерго»	24	316	376	222	253	94	123
Ей-І-Ес Рівненерго	18	362	409	262	288	100	121
Волиньобленерго	2	244	278	161	162	83	116
Прикарпаттяобленерго	17	382	434	305	319	77	115
Кіровоградобленерго	10	384	399	263	285	121	114
Тернопільобленерго	21	202	247	132	152	70	95
ЕК «Севастопольенерго»	19	178	190	105	110	73	80
Херсонобленерго	23	382	405	297	343	85	62
Україна		20 705	22 793	15 300	15 722	5405	7071

За даними табл. 2.23, лідерами раціонального використання енергії є Дніпропетровська, Донецька, Запорізька області зі ступенями залучення (за потужністю, а не за чисельністю) споживачів до ТДПЧ 57 %; 38,1 %; 36,4 % відповідно. Ці три області споживають третину (35,4 %) всієї електроенергії України. У Дніпропетровській та Запорізькій областях частка металургії у споживанні електроенергії становить приблизно 50 %; у Донецькій – 15,8 % (плюс 27,6 % у хімічній та нафтохімічній галузях промисловості). При цьому питома вага електроспоживання за ТДПЧ від електроспоживання промисловості сягає 55 %; 64,4 %; 79,4 %.

Показники конфігурації добових графіків навантаження по Україні та областях у зимовий режимний день 2005 р. (у відносних одиницях, ранжовано по $k_{\text{нер}}$) та узагальнені показники навантаження енергомереж

№ п/п	Позначення ЕЕС	Енергопостачальні компанії	Код	$k_{\text{зап}} = P_{\text{сер}} / P_{\text{max}}$	$k_{\text{нер}} = P_{\text{min}} / P_{\text{max}}$	Оцінка ступеня залучення споживачів до ТДПЧ, %	Тенденція електроспоживання за ТДПЧ (порівняно з 2004 р.), %	Навантаження	Питома вага електроспоживання, потужність			
									Промисловість	Освітлення, побутове навантаження, нелінійні споживачі	навантаження або споживання у годину суміщеного максимуму (18 ⁰⁰), %	
1	ПЗ	Тернопільська	21	0,731	0,474	7		0,89	13	52,6	29,2	
2	ПЗ	Вінницька	1	0,767	0,489	3,5	-22,8	1,91	15,1	50	11,9	
3	Ц	м. Київ	8	0,788	0,521	4,1	-2,2	5,73	16,4	39,6	12,9	
4	З	Закарпатська	6	0,736	0,536	1,5		1,51		61,5	17,5	
5	Ц	Чернігівська	27	0,765	0,537	16,1		1,35	24,1	41,3	44,6	
6	ПЗ	Чернівецька	26	0,763	0,537	5,8	-19,2	1,02	8,2	48,4	13	
7	З	Волинська	2	0,773	0,542	10,2		1,03	19,4	48,9	36,1	
8	ПЗ	Хмельницька	24	0,794	0,572	9,7		1,44	17,4	46,6	36,7	
9	Кр	Севастополь-енерго	19	0,819	0,589	9,2	0,0	0,69	11,7	38,3	27,6	
10	Ц	Житомирська	5	0,796	0,592	17,1		1,55	29,9	30,4	49,3	
11	Пд	Херсонська	23	0,810	0,600	5,8	-42,4	1,47	9,4	60,5	16,2	
12	Пн	Харківська	22	0,833	0,601	5,2		4,91	21,6	37,8	8,1	
13	Пд	Одеська	15	0,817	0,621	5,5		4,18	13,6	45,1	21	
14	Ц	Київська	9	0,828	0,629	5,5		3,12	22,1	40,7	15,3	
15	З	Івано-Франківська	17	0,819	0,636	25,5	-8,8	1,57	36,9	42,6	55,7	
16	Пд	Миколаївська	14	0,842	0,638	20		1,97	23,1	32,6	41,9	
17	З	Львівська	13	0,850	0,646	12,5	0,0	2,98	20,3	40,1	44	
18	Пн	Сумська	20	0,823	0,648	11		1,47	35	33,7	2,1	
19	З	Рівненська	18	0,836	0,658	33,2		1,48	35,2	36,4	78,2	
20	Ц	Черкаська	25	0,841	0,673	7,2	-90,6	1,86	34,2	27		
21	Кр	АР Крим	11	0,837	0,676	8,7	-2,4	3,25	14,3	54,3	33,2	
22	Днп	Кіровоградська	10	0,862	0,690	4,7	-10,9	1,73	31,9	32,9	12,1	
23	Пн	Полтавська	16	0,857	0,702	34,3		3,01	53,3	22	55,8	
24		ОЕС України		0,886	0,759	27					56,7	
25	Днб	Луганська	12	0,905	0,815	33	4,8	6,50	54,1	30	55,6	
26	Днп	Запорізька	7	0,934	0,836	36	-16,3	6,70	57,8	22,6	55	
27	Днб	Донецька	4	0,939	0,856	38,1	18,5	14,5	54,2	25,4	64,4	
28	Днп	Дніпропетровська	3	0,953	0,881	57	28,0	14,2	66,2	15,9	79,4	

Структура споживання електричної потужності у зимовий режимний день

Групи споживачів	Потужність, МВт	Питома вага, брутто, %
Споживання електричної потужності (брутто)	27 613	100,0
у тому числі:		
– власні потреби електростанцій	2 014	7,3
– втрати в електричних мережах	4 462	16,2
Споживання електричної потужності (нетто)	21 137	76,6
1. Промисловість – усього	9 743	35,3
у тому числі:		
– паливна	1 290	4,7
– металургійна	4 662	16,9
– хімічна та нафтохімічна	883	3,2
– машинобудівна	1 197	4,3
2. Будівництво	91	0,3
3. Транспорт	1 343	4,9
4. Сільське господарство	592	2,1
5. Комунальне господарство	1 170	4,2
6. Освітлення, побутове навантаження, нелімітовані споживачі	8 198	29,7

Частка навантаження окремих груп споживачів за годинами зимового режимного дня складає на 3:00 нічної зони – 34,1 %; 4:00 напівпікової зони – 26,1 %; 18:00 пікової зони – 22,2 %.

Щодо окремих груп споживачів, то відсоток споживання електричної енергії зазначених споживачів від загального електроспоживання по групі складає:

- промисловість 56,9%
- сільгоспспоживачі 14,1%;
- транспорт 3,5%;
- комунальне господарство 16,3%.

Можна вважати, що приблизно за 10 років існування ТДПЧ потенціал їх упровадження в промисловій групі зараз уже вичерпано. Резервною залишається так звана нерегульована група: освітлення, побутове навантаження, інші непромислові та дрібномоторні споживачі ($k_{зап}=0,738$, $k_{нер}=0,505$), сільськогосподарські споживачі ($k_{зап}=0,874$, $k_{нер}=0,686$).

Освітлення, звичайно ж, не здатне до акумуляційного регулювання. Увагу слід звернути на більш-менш рівномірно розподілені по країні побутові та дрібномоторні споживачі електроенергії. Варто розробити відповідну привабливу за ціновими, екологічними та споживчими якостями технологію ефективного енергоспоживання побутових споживачів. Масштабне впровадження акумуляційних технологій електроопалення, електрообігріву дозволять підвищити значення $k_{зап}$, $k_{нер}$ і одночасно задовольнити високі вимоги до сучасного опалення при прийнятних економічних показниках, як для окремого споживача, так і для ОЕС у цілому. Таким чином, майже єдиним вагомим резервом розширення кола користувачів нічного провалу і зменшення користувачів у часи піків добового графіка навантажень в Україні залишається група побутового навантаження. Ця група споживачів електроенергії характеризується великою чисельністю (табл. 2.25), що складає 18 921 212 споживачів, з яких кількість користувачів серед населення складає 18 499 278, або 97,8 %. Чисельність юридичних та фізичних осіб, суб'єктів підприємницької діяльності поки не перевищує 2,2 %. У той же час

індивідуальне енергоспоживання цієї групи відносно невелике. З 64 935 млн. кВт•год, відпущеної (нетто) у цілому електричної енергії усім (промисловим, побутовим, у тому числі населенню) споживачам у 2005 р., частка енергії, яка була спожита населенням, склала 26 023 млн. кВт•год, тобто п'яту (21,2 %) частину. У 2005 р. питоме споживання населенням склало 26 023 млн. кВт•год/18 499 278=1406,7 кВт•год/(споживач)/(рік)=117,2 кВт•год/(споживач)/(міс.)=3,9 кВт•год/(споживач)/(доба).

Таблиця 2.25

Конфігурація добових графіків навантаження по Україні та областях у зимовий режимний день 2005 р. (відносні одиниці, ранжовано по $k_{нер}$), галузеві частки у навантаженні в годину суміщеного максимуму та узагальнені показники навантаження енергомереж

№ п/п	Енергопостачальні компанії	Код	Оцінка ступеня залучення споживачів до ТДПЧ, %	Навантаження у годину суміщеного максимуму (18-та година), %								Питома вага електроспоживання за ТДПЧ від електроспоживання промисловості, %	
				Обласне відносно загальноукраїнського	Промисловість, загалом	Промисловість, за галузями:							Освітлення, побутове навантаження, нелімітовані споживачі
						Металургія	Машинобудування	Паливна	Хімічна та нафтохімічна	Харчова	ЖККК		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Тернопільська	21	7	0,89	13							52,6	29,2
2	Вінницька	1	3,5	1,91	15,1							50	11,9
3	м. Київ	8	4,1	5,73	16,4			6,9				39,6	12,9
4	Закарпатська	6	1,5	1,51								61,5	17,5
5	Чернігівська	27	16,1	1,35	24,1				5,1	4,8	5,1	41,3	44,6
6	Чернівецька	26	5,8	1,02	8,2							48,4	13
7	Волинська	2	10,2	1,03	19,4							48,9	36,1
8	Хмельницька	24	9,7	1,44	17,4							46,6	36,7
9	Севастопольенерго	19	9,2	0,69	11,7						22,9	38,3	27,6
10	Житомирська	5	17,1	1,55	29,9	8,2	5,1					30,4	49,3
11	Херсонська	23	5,8	1,47	9,4							60,5	16,2
12	Харківська	22	5,2	4,91	22			11				37,8	8,1
13	Одеська	15	5,5	4,18	13,6							45,1	21
14	Київська	9	5,5	3,12	22,1	3,8					3,1	40,7	15,3
15	Івано-Франківська	17	25,5	1,57	36,9					20,5		42,6	55,7
16	Миколаївська	14	19,5	1,97	23,1							32,6	41,9
17	Львівська	13	12,5	2,98	20,3							40,1	44
18	Сумська	20	11	1,47	35			11,1		8,1		33,7	2,1
19	Рівненська	18	33,2	1,48	35,2					15,2		36,4	78,2
20	Черкаська	25	7,2	1,86	34,2					23		27	
21	АР Крим	11	8,7	3,25	14,3							54,3	33,2
22	Кіровоградська	10	4,7	1,73	31,9	17,8						32,9	12,1
23	Полтавська	16	34,3	3,01	53,3	24	10,4	9,8				22	55,8
24	Україна		27										56,7
25	Луганська	12	33,1	6,50	54,1	18,3	3,1	21,3	8,5			30	55,6
26	Запорізька	7	36,4	6,70	57,8	49,5						22,6	55
27	Донецька	4	38,1	14,5	54,2	15,8				27,6		25,4	64,4
28	Дніпропетровська	3	57	14,2	66	52,8						15,9	79,4

Величина електричного навантаження, кВт/домогосподарство, для житлових будинків у період будівництва чи реконструкції електропостачання

Періоди:	Житло		Шини ТП 10/0,4		Шини ПС 110-35/10	
	від	до	від	до	від	до
З 1964 по 1983 рік	0,65	1,7	0,2	0,5	0,2	0,4
Після 1983 року	3	5	0,6	0,9	0,4	0,7
Збільшення, разів	4,6	2,9	2,8	1,8	2,3	1,6

Одержаній добовій величині споживання електроенергії 3,9 кВт*год/споживач/доба відповідає потужність $3,9/24=0,163$ кВт. Ця середня величина набагато менша за обмеження, які встановлюють діючі правила проектування і будівництва електроустановок на потужність внутрішніх (внутрішньоквартирних) мереж навіть в об'єктах цивільного призначення [94]. У табл. 2.26 зібрано дані про величини електричного навантаження для житлових будинків за керівними і нормативними матеріалами. Таким чином, потрібну для опалення додаткову потужність (у середньому 3 кВт/домогосподарство), особливо при раціональному виборі технологічних режимів опалення, забезпечать уже існуючі внутрішні (внутрішньоквартирні) мережі.

Для розвитку електроопалення велике значення має наявність відповідної енергетичної інфраструктури, особливо електромереж. Деяка інформація міститься у табл. 2.26. Технічне обладнання більшості електромереж тривалий час не модернізувалося. Питання оснащення споживачів технологіями та обладнанням повинно вирішуватися одночасно з питанням достатньої технічної забезпеченості за електричним вводом квартири/будинку. У табл. 2.27, 2.28 наведено деякі питомі дані про електропостачальні компанії України. З цих даних видно, що на відміну від енергозабезпеченості, забезпеченість повітряними і кабельними лініями електропередавання в Україні є більш рівномірною. У цілому ці дані свідчать про приблизно рівну, однакову можливість забезпечити електрообігрівом усю територію України.

У табл. 2.29 наведено деякі дані про електроспоживання юридичних та фізичних осіб, суб'єктів підприємницької діяльності. Саме ці споживачі є потенціалом для утворення максимальної (верхньої) межі впровадження електрообігріву.

2.3.5. Оцінка обсягів упровадження електрообігріву і оцінка споживачів щодо черовості впровадження електротеплозабезпечення

За офіційними даними, значення нижньої межі розвитку систем електроопалення в Україні не перевищує кількох десятих чи сотих відсотка [59]. У міжсезонні періоди кількість систем електроопалювання різко зростає. Ці, переважно нелегітимні, споживачі обліку не піддаються. Але їх наявність сигналізує, що електроопалення як окремий вид опалення є життєздатним явищем у масштабах країни; що воно фактично вирішує проблеми теплопостачання населення, коли ще не працює система централізованого теплопостачання (СЦТ) і при цьому, навіть у цій своїй варварській формі, воно вже котрий рік поспіль не руйнує ОЕС України.

Верхньою межею кількісної величини впровадження електрообігріву може слугувати загальна кількість споживачів електричної енергії (табл. 2.27–2.29). Але ця оцінка має суто гіпотетичний характер, оскільки, по-перше, легко продемонструвати, що на електрообігрів усіх користувачів не вистачить енергобалансу країни.

Деякі дані про електропостачальні компанії України
(ранжування за чисельністю споживачів)

Електропостачальні компанії	Код	Обсяг розподільних електричних мереж	Перебуває в експлуатації						Кількість споживачів електричної енергії, всього	У тому числі	
			повітряних ліній електропередавання всіх класів напруги	кабельних ліній електропередачі всіх класів напруги	трансформаторних підстанцій напругою 35-110 (150) кВ		трансформаторних та розподільних пунктів напругою 6 – 20 кВ			юридичні та фізичні особи, суб'єкти підприємницької діяльності	населення
			ум. один.	км	км	штук	МВА	штук			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Донецькобленерго	4	270 600	63 503	8 052	369	8 362	12 765	3 569	1 758 669	34 019	1 724 650
ЕК “Дніпрообленерго”	3	231391	55874	5521	328	7825	12166	3048	1493061	30203	1 462 858
Харківобленерго	22	178 090	42 429	5 973	286	4 654	10 365	2 979	1 206 337	23 394	1 182 943
Луганське енергооб'єднання	12	174 000	43 212	3 506	299	6 724	8 805	2 083	1 093 524	17 530	1 075 994
АЕК “Київенерго”	8	85060	1549	9376	58	3531	3113	2096	948513	22 747	925 766
Одесаобленерго	15	237 600	40 602	2 816	271	3 537	8 452	1 968	947 562	23 107	924 455
Львівобленерго	13	188100	36155	3608	212	2883	8030	1908	876630	24 357	852 273
А.Е.С. Київобленерго	9	0	44 848	2 410	244	3 458	8 915	1 800	817 767	17 897	799 870
Крименерго	11	152700	32071	4042	270	3414	9595	2647	777294	19 166	758 128
Запоріжжяобленерго	7	194 680	38 278	2 675	264	7 430	8 343	1 870	765 146	18 844	748 302
Полтаваобленерго	16	163 500	42 981	1 463	204	2 271	9 827	1 688	744 633	14 257	730 376
ЕК “Вінницяобленерго”	1	146 640	44 816	1 550	192	2 036	10 012	1 772	711 160	13 346	697 814
Черкасиобленерго	25	160 400	36 335	2 022	170	2 113	8 879	1 672	599 576	12 896	586 680
ЕК “Чернігівобленерго”	27	168 940	35 952	1 515	166	1 538	8 721	1 490	565 731	12 896	552 835
ЕК “Житомиробленерго”	5	114 835	35 934	1 242	190	1 989	8 511	1 414	559 087	10 928	548 159
ЕК “Хмельницькобленерго”	24	106200	33 995	1 128	172	1 741	6 916	1 357	546 421	12 692	533 729
Сумиобленерго	20	169 100	31 889	2 031	179	1 901	7 612	1 451	532 420	9 315	523 105
ЕК “Миколаївобленерго”	14	98 038	28 751	1 250	215	2 190	5 405	1 048	498 728	12 615	486 113

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Прикарпаттяобленерго	17	119 274	24 655	1 332	129	1 641	5 485	1 071	496 798	14 156	482 642
Кіровоградобленерго	10	138061	31889	991	195	2385	7083	1178	477958	9913	468 045
Херсонобленерго	23	154 560	28 701	1 011	221	2 682	4 450	1 031	456 719	10 567	446 152
Закарпаттяобленерго	6	84000	16751	992	118	1388	4198	1000	407497	17 549	389 948
Ей-І-Ес Рівнеенерго	18	114 400	25 407	1 315	125	1 230	5 898	5 869	403 953	9 596	394 357
Тернопільобленерго	21	77 500	23 409	883	151	1 150	5 486	928	401 094	11 239	389 855
Волиньобленерго	2	103 120	24 068	1 218	110	1 177	5 464	1 040	351 879	7 562	344 317
ЕК "Чернівціобленерго"	26	68400	16668	370	72	848	3149	610	333481	9 333	324 148
ЕК "Севастопольенерго"	19	21 600	1 268	891	21	562	714	335	149 574	3 810	145 764
ОЕС України		3 720 789	881 990	69 183	5 231	80 660	198 359	48 922	18 921 212	423 934	18 499 278

Таблиця 2.28

**Деякі питомі дані про електропостачальні компанії України
(ранжування за щільністю споживачів, стовпчики 3', 4', 5')**

Електропостачальні компанії	Код	Обсяг розподільних електричних мереж		ПЛ усіх класів напруги		КЛ усіх класів напруги		Кількість споживачів електричної енергії
		ум. один.	споживач/ум. один.	км	споживач/км	км	споживач/км	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АЕК "Київенерго"	8	85060	11	1549	612	9376	101	948513
ЕК «Севастопольенерго»	19	21 600	7	1 268	118	891	168	149 574
Донецькобленерго	4	270 600	6	63 503	28	8 052	218	1 758 669
Харківобленерго	22	178 090	7	42 429	28	5 973	202	1 206 337
ЕК "Дніпрообленерго"	3	231391	6	55874	27	5521	270	1493061
Луганське енергооб'єднання	12	174 000	6	43 212	25	3 506	312	1 093 524
Львівобленерго	13	188100	5	36155	24	3608	243	876630
Крименерго	11	152700	5	32071	24	4042	192	777294
Закарпаттяобленерго	6	84000	5	16751	24	992	411	407497
Одесаобленерго	15	237 600	4	40 602	23	2 816	336	947 562
Запоріжжяобленерго	7	194 680	4	38 278	20	2 675	286	765 146

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прикарпаттяобленерго	17	119 274	4	24 655	20	1 332	373	496 798
ЕК "Чернівіцобленерго"	27	68400	5	16668	20	370	901	333481
ЕК Київобленерго	9	0		44 848	18	2 410	339	817 767
Полтаваобленерго	16	163 500	5	42 981	17	1 463	509	744 633
Черкасиобленерго	25	160 400	4	36 335	17	2 022	297	599 576
Сумиобленерго	20	169 100	3	31 889	17	2 031	262	532 420
ЕК "Миколаївобленерго"	14	98 038	5	28 751	17	1 250	399	498 728
Тернопільобленерго	21	77 500	5	23 409	17	883	454	401 094
ЕК "Вінницяобленерго"	1	146 640	5	44 816	16	1 550	459	711 160
ЕК "Чернігівобленерго"	27	168 940	3	35 952	16	1 515	373	565 731
ЕК "Житомиробленерго"	5	114 835	5	35 934	16	1 242	450	559 087
ЕК "Хмельницькобленерго"	24	106200	5	33 995	16	1 128	484	546 421
Херсонобленерго	23	154 560	3	28 701	16	1 011	452	456 719
Ей-І-Ес Рівнеенерго	18	114 400	4	25 407	16	1 315	307	403 953
Кіровоградобленерго	10	138061	3	31889	15	991	482	477958
Волиньобленерго	2	103 120	3	24 068	15	1 218	289	351 879
ОЕС України		3 720 789	5	881 990	21	69 183	273	18 921 212

Таблиця 2.29

Деякі дані про електроспоживання юридичних та фізичних осіб

Електро- постачальні ком- панії (ран- жування за чисель- ністю споживачів)	Код	Величина	Споживання (брутто), відпуск (нетто) електроенергії за 2005 р., млн. кВт·год														Кількість споживачів електроенергії		
			брутто	нетто	промисловість у цілому	Окремі галузі промисловості і народного господарства											усього	у тому числі	
						паливна	металургійна	хімічна та нафтохімічна	машинову- дільна	будівельних матеріалів	харчова та переробна	сільгосп- споживачі	транспорт	комунально- побутові споживачі	населення	ІОО, ФО, СПД		населення	
																			7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Донецьк обленерго	4	абс	11949	8855	3002	553,9	870,3	49,2	259,8	90,2	214,9	257,8	850	1386	2866	1758669	34019	1724650	
		%		100	33,9	6,3	9,8	0,6	2,9	1	2,4	2,9	9,6	15,7	32,4				
ЕК "Дніпро- обленерго"	3	абс	29207	27263	21687	497,8	18032	934,7	875,9	355,9	424,3	266,1	1085	1769	2011	1493061	30203	1462858	
		%		100	79,5	1,8	66,1	3,4	3,2	1,3	1,6	1	4	6,5	7,4				

Харківобленерго	22	абс	7481	6308	1956	89,4	17,1	241,9	734,5	322,4	327,7	226,1	842,4	1115	1576	1206337	23394	1182943
		%		100	31	1,4	0,3	3,8	11,6	5,1	5,2	3,6	13,4	17,7	25			
Луганське енерго- об'єднання	12	абс	9350	8229	5234	676	2609	1247	318	23	121	100	193	965	1425	1093524	17530	1075994
		%		100	63,6	8,2	31,7	15,2	3,9	0,3	1,5	1,2	2,3	11,7	17,3			
ЕК "Київенерго"	8	абс	8455	6831	1569	10,4	9	110,2	508,5	137,9	226,7	11,1	523,8	1831	2150	948513	22747	925766
		%		100	23	0,2	0,1	1,6	7,4	2	3,3	0,2	7,7	26,8	31,5			
Одесаобленерго	15	абс	6327	5039	1124	54,9	61,2	391,9	179,1	78,6	215,4	142,2	652,4	833,4	1854	947562	23107	924455
		%		100	22,3	1,1	1,2	7,8	3,6	1,6	4,3	2,8	12,9	16,5	36,8			
Львівобленерго	13	абс	4381	3667	1084	135	3	89	170	172	133	77	569	818	980	876630	24357	852273
		%		100	29,6	3,7	0,1	2,4	4,6	4,7	3,6	2,1	15,5	22,3	26,7			
ЕК "Київ- обленерго"	9	абс	4281	3555	1298	0	22,2	230,5	148,1	74,5	249	327	150,8	609	1010	817767	17897	799 870
		%		100	36,5	0	0,6	6,5	4,2	2,1	7	9,2	4,2	17,1	28,4			
Кривенерго	11	абс	9350	8229	5234	676	2609	1247	318	23	121	100	193	965	1425	777294	19 166	758 128
		%		100	63,6	8,2	31,7	15,2	3,9	0,3	1,5	1,2	2,3	11,7	17,3			
Запоріжжя- обленерго	7	абс	13546	12413	9736	4,8	8199	83,2	1082	54,6	205,9	214,4	332,6	707,4	1189	765146	18 844	748 302
		%		100	78,4	0	66,1	0,7	8,7	0,4	1,7	1,7	2,7	5,7	9,6			
Полтава обленерго	16	абс	5400	4801	3201	672,6	1600	49,2	523,9	51,6	222,1	171,3	191,6	416,2	691,9	744633	14 257	730 376
		%		100	66,7	14	33,3	1	10,9	1,1	4,6	3,6	4	8,7	14,4			
ЕК "Вінниця- обленерго"	1	абс	2494	1955	422	0	0	5,7	91,9	50,1	206,8	108,2	251,6	283,3	771	711160	13 346	697 814
		%		100	21,6	0	0	0,3	4,7	2,6	10,6	5,5	12,9	14,5	39,4			
Черкаси обленерго	25	абс	3192	2802	1431	2,1	14,1	1066	102	28,9	166,9	160,8	155,3	292,7	681,9	599576	12 896	586 680
		%		100	51,1	0,1	0,5	38	3,6	1	6	5,7	5,5	10,4	24,3			
ЕК "Чернігів- обленерго"	27	абс	1862	1585	672	157,2	0,3	158,2	71,7	14,1	157,5	81,9	39,9	227,6	472,6	565 731	12 896	552 835
		%		100	42,4	9,9	0	10	4,5	0,9	9,9	5,2	2,5	14,4	29,8			
ЕК "Житомир- обленерго"	5	абс	2153	1768	662	1,6	178,3	3,5	57,2	111,4	106,8	75	105,5	283,9	549,8	559 087	10 928	548 159
		%		100	37,4	0,1	10,1	0,2	3,2	6,3	6	4,2	6	16,1	31,1			
ЕК "Хмельницьк- обленерго"	24	абс	2090	1709	580,3	0	0,7	34	87,1	281	115,4	80,9	51,5	344,6	594,6	546 421	12 692	533 729
		%		100	34	0	0	2	5,1	16,4	6,8	4,7	3	20,2	34,8			

Сумиобленерго	20	абс	2189	1862	916,6	127,7	6	245,8	307,8	20	112,6	105	47,6	273,3	472,6	532 420	9 315	523 105
		%		100	49,2	6,9	0,3	13,2	16,5	1,1	6	5,6	2,6	14,7	25,4			
ЕК "Миколаїв обленерго"	14	абс	3266	2457	894,9	0,6	416,1	0,6	201,5	104	127,5	135,3	308,1	281,7	710,7	498 728	12 615	486 113
		%		100	36,4	0	16,9	0	8,2	4,2	5,2	5,5	12,5	11,5	28,9			
Прикарпаття-обленерго	17	абс	2557	2258	1372	186,2	126,5	723,6	27	123,3	37,2	31,4	78,7	216,8	489,4	496 798	14 156	482 642
		%		100	60,7	8,2	5,6	32	1,2	5,5	1,6	1,4	3,5	9,6	21,7			
Кіровоград-обленерго	10	абс	2269	1929	495,4	177,3	44,3	2,8	106,4	37,2	114,1	84,9	528,4	169,2	543,7	477958	9913	468 045
		%		100	25,7	9,2	2,3	0,1	5,5	1,9	5,9	4,4	27,4	8,8	28,2			
Херсонобленерго	23	абс	2378	1946	351,9	49,3	0,4	4,4	152,4	7,8	96	273,6	64,6	361,7	807,1	456 719	10 567	446 152
		%		100	18,1	2,5	0	0,2	7,8	0,4	4,9	14,1	3,3	18,6	41,5			
Закарпаття-обленерго	6	абс	1984	1467	200,2	0,1	0,6	10,4	25	15,5	41,4	13,5	211,2	147,6	752,1	407497	17 549	389 948
		%		100	13,6	0	0	0,7	1,7	1,1	2,8	0,9	14,4	10,1	51,3			
ЕК "Рівне енерго"	18	абс	2394	2045	1075	2,8	0,4	554,2	70,2	195,4	63,9	45,2	197,6	223,7	434,2	403 953	9 596	394 357
		%		100	52,6	0,1	0	27,1	3,4	9,6	3,1	2,2	9,7	10,9	21,2			
Тернопільобленерго	21	абс	1198	966,4	185	0,8	0	2	28,5	19,3	85,9	40,8	67,9	198,8	406,8	401094	11 239	389 855
		%		100	19,1	0,1	0	0,2	3	2	8,9	4,2	7	20,6	42,1			
Волинь обленерго	2	абс	1337	1098	332,6	13,2	1,2	25,3	137,9	22,5	73,2	57,4	53,6	174,4	407,5	351879	7 562	344 317
		%		100	30,3	1,2	0,1	2,3	12,6	2	6,7	5,2	4,9	15,9	37,1			
ЕК "Чернівці-обленерго"	26	абс	1326	861,9	128,3	0	0,7	9,4	20,7	13,9	48,9	19,6	25,9	193,2	445,3	333481	9 333	324148
		%		100	14,9	0	0,1	1,1	2,4	1,6	5,7	2,3	3	22,4	51,7			
ЕК "Севастополь-енерго"	19	абс	1007	834,7	91,1	0	15	0,1	31,9	4,7	25,2	11,4	44,1	204,4	306,8	149574	3 810	145764
		%		100	10,9	0	1,8	0	3,8	0,6	3	1,4	5,3	24,5	36,8			
ОЕС України		абс	143423	122732	64935	4090	34836	7520	6 637	2433	4040	3218	7815	15292	26023	18921212	423934	18499278
		%			52,9	3,3	28,4	6,1	5,4	2,0	3,3	2,6	6,4	12,5	21,2			

По-друге, виконання директиви «всі абоненти електромережі України переходять на електроопалення» не витримує ніякої критики. Хоча б тому, що в техніко-економічному плані СЦТ міцно утримують і будуть утримувати свою позицію¹, якщо СЦТ експлуатується відповідно до технічних нормативів (коли теплотраси мають задовільний стан, тобто трубопроводи якісно, в заводських умовах, теплоізолювані; їх довжина не перевищує оптимального значення; користувачі у повному обсязі використовують прилади автоматичного регулювання теплових режимів як на теплових пунктах будинків, так і поквартирні). Більше того, здається, що в Україні ще не вичерпано резерв теплофікаційного циклу. На великих конденсаційних електростанціях, що працюють на українському вугіллі (їх загальна кількість складає 11 ТЕС), доцільно, особливо у східних та південних промислових регіонах України, у ході планової (на цих ТЕС велику частину турбін вже зараз виведено з експлуатації, а ресурс більшої частини обладнання практично вироблено) модернізації замінити конденсаційні турбіни на теплофікаційні з відбором пари для теплопостачання за температурним графіком [58]. Крім того, альтернативою як СЦТ, так і системам електроопалення є дуже перспективний сектор автономних (децентралізованих) систем енергопостачання на базі ВДЕ, динамічний розвиток якого спостерігається у розвинутих країнах світу (США, Євросоюз, Японія, Китай). Тому при впровадженні електрообігріву необхідно дотримуватися диференційованого підходу залежно від категорії потенційних користувачів.

Є кілька категорій потенційних користувачів електрообігрівом, які характеризуються різним пріоритетом. Можна вважати, що найбільший пріоритет має населення сільських пунктів, газифікацію яких не передбачено найближчим часом. На сьогодні рівень газифікації житлового фонду в містах складає близько 77 %, а в сільській місцевості – 32 %. Табл. 2.30 інформує про благоустрій населених пунктів та житлові умови населення.

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

¹ Ще ніхто не спростував положення, що з точки зору тепломеханічного циклу, великі опалювальні ТЕС є найбільш економічними виробниками теплової і електричної енергії в ОЕС. Але, з іншого боку, також ніхто ще не довів, що система централізованого теплопостачання здатна ефективно розподілити та доставити теплоенергію до кінцевих споживачів. Втрати у системах централізованого теплопостачання внаслідок фізичного зносу теплотрас, більшої частини житлового фонду, застарілих приладів опалення, морального старіння, а точніше – майже повної відсутності систем оперативного регулювання на коливання добових і сезонних кліматичних показників, доходять до 50 – 70 % [1, 66]. Можливо, традиційна система централізованого теплопостачання і забезпечує якісь середні показники, але виключно за рахунок систематичного переопалювання на місцях кінцевого теплоспоживання у теплу погоду і недоопалювання – у холодні дні.

Таблиця 2.30

Благоустрій населених пунктів, житлові умови населення України у 2004 р. [95]

Показник	Місто	Селище міського типу	Сільський населений пункт	У міських поселеннях	У сільській місцевості
Загальна кількість населених пунктів в Україні	455	886	28597		
Забезпечені природним та скрапленим газом	452	861	26762		
У тому числі тільки природним газом	407	533	3444 (12 %)		
Питома вага, %, житлової площі, обладнаної:					
– природним та скрапленим газом				82,0	83,8
– ГВП				59,1	4,7
– центральним опаленням				73,9	22,2
– підлоговими електроплитами				5,1	0,1
– водопроводом				76,3	19,1

Таблиця 2.31

Оцінка обсягів потужності, потрібної для електроопалення за групами споживачів

Групи споживачів та можливості електроенергетики України у 2005 р.	Установлена потужність, річне споживання* і виробництво електричної енергії		
	МВт	%	млн. кВт*год
Будинки у сільській місцевості	14 867	26,0	50 649
Будинки аварійного і погіршеного стану в містах	41 900	73,4	
Новобудови, середньорічні обсяги	340,95	0,6	
Усього	57 108	100	
Потужність електростанцій і виробництво електроенергії	52000		185 236

Примітка. *Енергоспоживання було розраховано за діючими нормативами для I-ої кліматичної зони (кількість градусо-днів ≥ 3500).

У табл. 2.31 підсумовано оцінки потенціалу впровадження електроопалення (усіх видів) в Україні. Найбільшу групу складають будинки аварійного та погіршеного стану в містах. Фактична установлена потужність електростанцій України у 2005 р. становила 52 000 МВт. Тобто, установлена потужність діючих ТЕС, АЕС, ГЕС, особливо з урахуванням коефіцієнта використання потужностей (0,4), недостатня для повного задоволення потреб опалення. Необхідно встановити пріоритети і черговість упровадження акумулюючих систем електроопалення.

Глава 3. ТЕХНОЛОГІЯ КАБЕЛЬНОГО ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ ЯК СПОЖИВАЧ-РЕГУЛЯТОР НОВОГО ТИПУ ТА ЙОГО ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСНОВИ

В Україні до найважливіших проблем енергетики належить недостатня кількість пікових потужностей для регулювання графіка ОЕС України. Це призводить до необхідності вибору між витратами на спорудження високоманеврових потужностей в умовах дефіциту вуглеводневого палива або пошуку шляхів їх заміщення новими споживачами-регуляторами. Таким чином, упровадження останніх є важливим завданням програм енергозбереження.

3.1 Потреба ОЕС України у споживачах-регуляторах нового типу

Було показано [59, 77-81], що енергодефіцит в Україні має два аспекти. Перший, добре відомий, пов'язаний з загальним дефіцитом неімпортованих вуглецево-водневих ПЕР. Другим є дефіцит 5+6 ГВт маневрових потужностей ОЕС для регулювання добового циклу навантаження мережі [79].

Проблема вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України існувала завжди. Однак, в сучасних умовах, для яких характерним є збільшення частки базової генерації за рахунок АЕС, ця проблема значно загострилася. Наводяться дані [79, 80], що за 2001 – 2003 роки, залежно від сезону, споживання електроенергії коливалося від 13 800 МВт у «нічному провалі» літнього періоду до 29 300 МВт на добовий максимум у зимовий період. Максимальна добова маневрова потужність для забезпечення регулювання добових графіків навантаження оцінюється у 5 000 МВт. При цьому коефіцієнт добової нерівномірності був 0,8, що значно вище, ніж у 60-70-ті роки минулого століття, коли закладалися підвалини цінової політики України у сфері тарифів на електроенергію. За результатами 2006 р. середній коефіцієнт використання потужності чотирьох українських АЕС сягнув нераціонально низького показника – 74,5 %.

Найефективнішим інструментом регулювання добових графіків навантаження є використання ГЕС, ГАЕС. Але у структурному плані діючих потужностей ГЕС, ГАЕС в Україні занадто мало: у 2 – 6 разів менше, ніж у країнах, що мають розвинену ядерну енергетику [32, 77, 79, 81]. Тому регулювання виробництва і споживання електричної енергії в ОЕС України досягається, головним чином, за рахунок маневрових можливостей енергоблоків теплових електростанцій. Але, з одного боку, їх потужності на сьогодні практично вичерпано, а, з іншого боку, будівництво сучасних газотурбінних блочних ТЕС, приведення до ладу потужностей ГАЕС, темпи розвитку альтернативних видів енергетики, наприклад, водневої чи децентралізованої енергетики, знаходяться у віддаленій перспективі. Тому введення в експлуатацію нових енергоблоків АЕС спричинить до великих додаткових системних проблем у мережі ОЕС України. Як це не парадоксально, у сучасних умовах енергетики України поява нових енергоблоків АЕС спричинить зниження (через зниження надійності та економності роботи енергосистеми в цілому) доходів енергогенеруючих компаній. Збитки після початку експлуатації енергоблоків № 2 ХАЕС та № 4 РАЕС (середня робоча потужність нових атомних енергоблоків 1 570 МВт) оцінюються у 270,4 млн.грн./рік [78]. Свого часу було запропоновано створити новий вид споживача-регулятора (СР) ОЕС України на основі електро-теплоаккумуляційних (ЕТА) систем [14-21, 59-74, 76, 80, 81], що дозволяє компенсувати «нічні провали» без створення додаткових маневрових потужностей. Тобто, замість

будівництва необхідних маневрових потужностей в ОЕС України, слід зменшити нерівномірність електричного навантаження енергосистеми за рахунок переносу споживання електроопалення на нічний час.

Таким чином, альтернативою побудові маневрових потужностей є створення СР відповідної потужності. Оцінюючи середню потужність електроопалення 1 об'єкту у 10 кВт¹ [16], одержимо, що для компенсації «надлишку» електроенергії від 1 енергоблока АЕС необхідно електрифікувати $1\ 570/0,01=157\ 000$ об'єктів. При цьому вартість установлення ЕТА на одному об'єкті при терміні окупності 3 роки, за матеріалами проектування та відповідними кошторисами на основні категорії об'єктів, складає у середньому 5 167 грн. Це є капітальними вкладеннями.

Зазначена вище максимальна добова потужність у 5 000 МВт (12,5 % від максимального навантаження ОЕС України у 2005 р), необхідна для забезпечення регулювання добових графіків навантаження, може слугувати однією з оцінок верхньої межі економічно обґрунтованого масштабу впровадження ЕТА. Іншими словами, за допомогою ЕТА в Україні можна буде досягнути однієї з головних цілей управління ОЕС: мінімізації нерівномірності попиту споживачів на електричну потужність у добовому циклі протягом сезону з одночасним витісненням 12,5 % потужностей електростанцій, які використовують природний газ або інше вуглецево-водневе паливо. Ця технологія, впроваджена приблизно у 500 000 помешканнях, навіть при непільгових тарифах здатна компенсувати будівництво 6-ти нових енергоблоків АЕС типу ВВЕР-1000. Але ці вигоди, маючи непрямий корпоративний характер, розчиняються у ОЕС, і для конкретної енергогенеруючої компанії можуть бути непомітними. Тому, аби отримати очікувані переваги від використання нових атомних енергоблоків, необхідним є термінове проведення додаткових заходів, у тому числі, крім створення спеціальних тарифів на електроопалення, як на особливу категорію електроспоживання, ще і впровадження особливої субкультури «споживання електроенергії у екстремальні години графіка навантажень».

Нові СР складають численні об'єкти народного господарства, у тому числі у ЖКК, бюджетній сфері, промисловому, цивільному та іншому будівництві, які підключені до ОЕС. Вони зможуть використовувати енергоефективні електротеплоакумуляційні системи, які споживають електричну енергію з подальшою її трансформацією у теплову, акумулюючи теплову енергію переважно у години «нічного провалу» навантажень енергетичної мережі, і витрачаючи накопичену теплову енергію впродовж усієї доби для забезпечення нормативного мікроклімату об'єкта, що обігрівається. В Україні, за деякими даними [95], кількість об'єктів соціальної сфери у негазифікованих сільських населених пунктах оцінюється в 11,5 тис. шкіл, 10 тис. фельдшерсько-акушерських пунктів, 10 тис. бібліотек і певною кількістю інших об'єктів державного та державно-корпоративного, комунального та комунально-корпоративного фонду². Потужність енергоспоживання цих об'єктів оцінюється приблизно у 3,8 тис. МВт, а з урахуванням сільського приватного житлового фонду – $\approx 40,5$ тис. МВт. Цими величинами вимірюється загальна потужність установок акумуляційного електроопалення для теплозабезпечення сільського соціального і житлового секторів.

Таким чином, у ситуації, що склалася, вирівнювання добового графіка навантаження, забезпечення сталої та економної роботи електростанцій з урахуванням їх регулюючих

¹ Величину 10 кВт одержано з міркувань розрахункової температури, характерної для першої кліматичної зони України. Але, якщо виходити з середньоопалювальних умов у тій самій першій кліматичній зоні, то для забезпечення мікроклімату досить буде у 2÷2,5 рази меншої потужності системи ЕТА.

² Відповідно до ДК 001-2004 «Класифікація форм власності»

можливостей можна здійснити за умови проведення ефективного регулювання режимів використання електроенергії масовими споживачами. При цьому, вирішення задачі полягає не тільки у зниженні споживання електричної потужності в години максимальних навантажень ОЕС України, а й у збільшенні навантаження нічної зони. При запровадженні в електроенергетиці ринкових взаємовідносин регулювання споживачами добового графіка навантаження є можливим лише за умови застосування економічних стимулів. Одним із таких є система тарифів, диференційованих за періодами часу (ТДПЧ). НКРЕ здійснила велику роботу з розробки та впровадження системи тарифів, диференційованих за періодами часу. Наприкінці ХХ ст. НКРЕ було здійснено пілотний проект із використанням теплоаккумуляційних опалювальних приладів. Пілотний будинок (вул. Смоленська, 19 у Києві) площею (за зовнішніми обмірами) 1350 м², що має чотири поверхи, вже десять років опалюється виключно теплоаккумуляційними печами (ТАЕП) третього типу. Були використані ТАЕП німецького виробництва (фірма *Technotherm*). Установлена потужність ≈ 703 кВт. Акумуляційна система зарекомендувала себе як надійна – за 10 років експлуатації у ній було замінено лише один ТЕН. Раніше, див. п. 1.7.4., вже йшлося про ТАЕП як СР. ТАЕП-підхід можна розглядати як прямий попередник концепції електро-теплоаккумуляційного опалення на базі нагрівальних кабелів. На відміну від ТАЕП, кабельне ЕТА-опалення забезпечує якісніше, більш фізіологічне і більш функціональне опалення. Але на інтуїтивному рівні зрозуміло, що деякий запас тепла завжди накопичується у звичайних будівельних конструкціях приміщень – зовнішніх та внутрішніх огороженнях (стелі, підлозі, стінах), а також у меблях, обладнанні і навіть у повітрі. Усі перераховані конструкції та їх елементи мають власні теплоаккумуляційні властивості, дія яких при «кімнатній» температурі проявляється у помітному зменшенні темпу охолодження приміщення при припиненні обігріву. Завданням управління теплоаккумуляційним режимом приміщення є забезпечення за мінімальних витрат матеріалів і енергії достатньої здатності «протистояти» охолодженню, сповільнення його темпу до прийняттого, при якому температура приміщення залишиться в інтервалі комфортних значень. Це є складною теплофізичною задачею, і переважно вона ставиться і вирішується, як це було показано у ряді робіт [61, 63-65, 68], у рамках теорії теплостійкості [4, 5, 105-121]. Висувалося багато пропозицій щодо використання нічного опалення як СР нового типу без теплофізичного аналізу проблеми. Тому необхідно розглянути фізичну можливість накопичення будівельними конструкціями достатньої кількості тепла в інтервалі «заряджання» (у пільговий час з 23:00 до 7:00) для забезпечення комфортного температурного режиму впродовж денного часу з 7:00 до 23:00.

3.2. Теплофізичні основи споживача – регулятора нового типу на базі ЕТА-обігріву

Розрахунок робочих режимів і параметрів технології з «періодичним» або «переривчастим» електрообігрівом, які лежать в основі функціонування споживача-регулятора ОЕС України, вимагає постановки і розв'язання задач, пов'язаних із подоланням труднощів фізико-математичного моделювання складного теплообміну в системі «нагрівальний кабель – приміщення, яке обігрівається». У сучасних умовах, крім пошуків рішень у замкнутому вигляді, доцільно звертатися до комп'ютерного числового моделювання, яке дає змогу одержати розв'язання задач будь-якого ступеня складності [4, 5, 123]. Кінцевою метою використання теплофізичних і розрахункових моделей теплообміну на об'єктах з ЕТА є визначення робочих і конструктивних параметрів та режимів енергоощадної технології електрообігріву й відповідного технологічного обладнання.

3.2.1. Теплофізична модель і основна система рівнянь режимів теплообміну в приміщеннях із кабельним ЕТА-обігрівом

Розглядається багатовимірний за просторовими координатами картина теплового стану приміщення з багатошаровою гріючою підлогою довільної конструкції із вбудованими лінійними джерелами тепла. Теплообмін із зовнішніми і внутрішніми огороженнями моделювався за допомогою температурних і теплоємнісних опорів із урахуванням конвективної та радіаційної складових коефіцієнтів теплоперенесення між внутрішніми поверхнями огорожень і лицьовою поверхнею підлоги. Такий підхід дає змогу оперувати як параметрами системи керування мікрокліматом приміщення, так і температурою елементів конструкції нагрівального кабелю (тепловідляючої жили, ізоляційних оболонок тощо). Ця температура є однією з основних критичних величин задач ЕКСО ТА, за значенням яких здійснюється вибір параметрів, що забезпечують енергоощадний режим опалення.

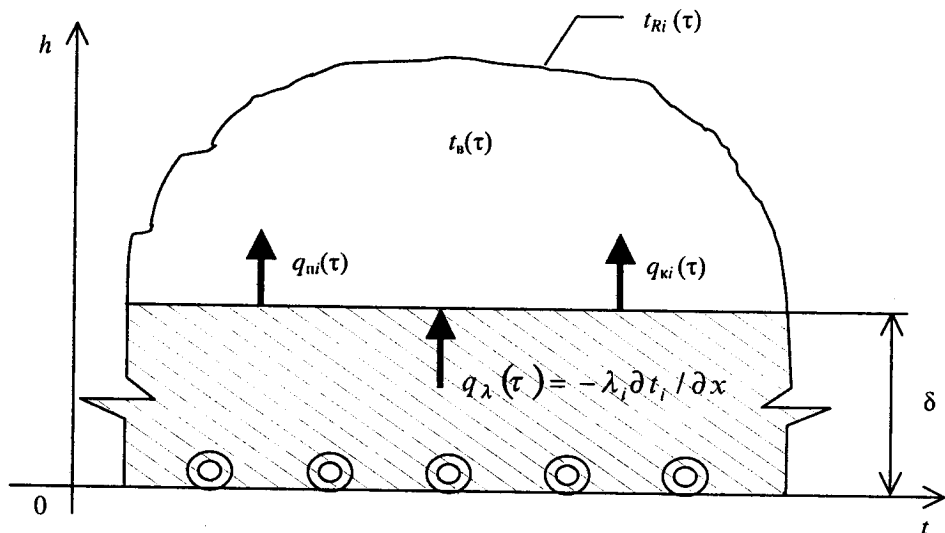


Рис. 3.1. Схема теплообміну гріючої підлоги з внутрішнім повітрям приміщення

Обов'язковою умовою в цьому випадку є те, що температура цих тіл повинна бути вищою від температури внутрішнього повітря (інакше теплота буде передаватися не від цих тіл до повітря, а навпаки). Як показали наші дослідження [59-74, 124], температура внутрішніх поверхонь зовнішніх стін і вікон у стаціонарному режимі нижча за температуру повітря, тому вони на додачу до променевого потоку від підлоги і внутрішніх стін одержують теплоту конвекцією від повітря. Отже, передавачами (між підлогою і внутрішнім повітрям) у розглянутому приміщенні є внутрішні поверхні стін та стелі. Такий механізм теплообміну уточнює розрахункові схеми, прийняті у працях [4, 5, 120], де цей механізм враховувався не повною мірою, що дозволяє вважати ЕКСО променево-конвективною системою (рис. 3.1). Уточнена схема теплообміну була використана при розробці методики і програм розрахунку акумуляційного опалення при експериментальному дослідженні ЕКСО [124]¹.

¹ Робота виконана під науковим керівництвом к.т.н. Л.Ф. Черних та к.т.н. Д.Й. Розинського.

Співвідношення променевої і конвективної складових теплообміну в приміщенні безперервно змінюється у часі. Тому їх, а також їх сумарні величини, необхідно враховувати окремо. При цьому при визначенні конвективної частини теплонадходжень у розрахунках береться коефіцієнт конвективного теплообміну $\alpha_{ki}(\tau)$ і різниця температури внутрішніх поверхонь $t_i(\delta_i, \tau)$ та внутрішнього повітря приміщення $t_b(\tau)$, а саме:

$$q_k(\tau) = \alpha_{ki}(\tau) [t_i(\delta_i, \tau) - t_b(\tau)], \quad (3.1)$$

де коефіцієнт конвективного теплообміну стін із повітрям приймається за [4]:

$$\alpha_{ki}(\tau) = n \cdot \sqrt[3]{t_i(\delta_i, \tau) - t_b(\tau)}, \quad (3.2)$$

де n – коефіцієнт, що враховує розташування конструкції та її тепловий стан.

Як випливає з формули (3.2), коефіцієнт конвективного теплообміну $\alpha_{ki}(\tau)$ в часі залежить від різниці температури внутрішніх поверхонь $t_i(\delta_i, \tau)$ і повітря приміщення $t_b(\tau)$. Температура внутрішнього повітря залежить від температури усіх внутрішніх поверхонь, у тому числі і від температури гріючої підлоги. У теплоакumuляційному режимі ЕКСО ТА температура внутрішніх поверхонь огорожень вища від традиційних систем опалення і змінюється в часі. Таким чином, коефіцієнт конвективного теплообміну буде залежати в часі від цих температурних показників, і задача розрахунку теплового режиму приміщення з ЕКСО ТА буде нелінійною залежно від коефіцієнта конвективного теплообміну стін з повітрям і від температури.

Складність розрахунків променевого теплообміну в приміщенні полягає в тому, що він відбувається в замкнутому просторі, поверхні якого відрізняються від абсолютно чорних тіл і променева енергія, яка падає на сіру поверхню, частково відбивається від неї. Повітря вважається променево-прозорим середовищем (багаторазовим відображенням променевих потоків від поверхонь знехтуємо). Для зручності розрахунків при визначенні променевої частини теплонадходжень користуємося спрощеними залежностями, наприклад, відомою залежністю променевих теплонадходжень від коефіцієнта променевого теплообміну α_{ni} і різниці радіаційної температури огороження $t_{Ri}(\tau)$ та температури його внутрішньої поверхні $t_i(\delta_i, \tau)$ [4]:

$$q_{ni}(\tau) = \alpha_{ni} \cdot [t_{Ri}(\tau) - t_i(\delta_i, \tau)]. \quad (3.3)$$

При цьому радіаційна температура розглянутої конструкції є ніби середньою температурою по площах F_j поверхонь, що огорожують, з температурою t_j і визначається за формулою [4]:

$$t_{Ri}(\tau) = \left[\sum_{j=1}^7 t_j(\tau) \cdot F_j - t_i(\tau) \cdot F_i \right] / \left[\sum_{j=1}^7 F_j - F_i \right], \quad (3.4)$$

де $j=1, 2, \dots, 7$ – номери теплопередавальних огорожень приміщення.

Коефіцієнт променевого теплообміну α_{ni} поверхонь приміщення, які обмінюються теплом з електропідлогою, зазвичай вважається величиною сталою, яка дорівнює $\alpha_{ni} = 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Це пояснюється тим, що всі поверхні приміщення мають ступінь чорноти в межах $\xi \approx 0,9 - 0,95$, а значення коефіцієнта променевого теплообміну визначається за формулою [4]:

$$\alpha_{ni} = c_0 \cdot \xi_{np_i-R} \cdot b_{i-R} \cdot \Phi_{i-R}, \quad (3.5)$$

де c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, який дорівнює $5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; ξ_{np_i-R} – відносний коефіцієнт випромінювання поверхонь, які обмінюються теплом, $\xi_{np_i-R} \approx 0,85$; b_{i-R} – коефіцієнт заміни різниці четвертих

ступенів абсолютної температури за шкалою *Кельвіна*, різницею температури за шкалою *Цельсія* в першому ступені, рівний $b_{i,R} \approx 1,0$; $\varphi_{i,R}$ – коефіцієнт опромінення з i -ї поверхні на радіаційну поверхню або кутовий коефіцієнт опромінення, $\varphi_{i,R} \approx 1,0$.

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

- внутрішню нестационарність, яка обумовлена періодичною подачею електроенергії до опалювальної системи;
- зовнішню нестационарність, яка обумовлена зміною температури зовнішнього повітря за законом косинуса [125, 126];
- підвищену температуру внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій унаслідок поглинання променевого тепла, що призводить до зміни коефіцієнтів конвекційного теплообміну внутрішніх поверхонь із повітрям;
- різна радіаційна температура кожної внутрішньої огорожувальної поверхні.

Процес теплообміну в житловому приміщенні, обладнаному ЕКСО ТА, включає:

- участь внутрішніх огорожень у теплообміні;
- наявність тепловтрат через зовнішні огороження, що при зміні температури зовнішнього повітря за гармонійним законом і при постійній зовнішній температурі відповідають розрахунковій температурі опалення;
- періодичне віддавання теплоти електропідлогою у приміщення; при розрахунку цього процесу окремо враховують конвективну і променеву частини подачі тепла;
- наявність тепловтрат унаслідок вентиляційного повітрообміну;
- наявність внутрішніх тепловиділень.

Таким чином, розрахунок теплового режиму приміщення з ЕКСО ТА є розв'язанням нестационарної нелінійної двовірної задачі теплообміну в приміщенні з урахуванням залежності від температури коефіцієнта конвекційного теплообміну внутрішніх поверхонь із внутрішнім повітрям і з визначенням конвекційної і променевої складових окремо [124]. Облік радіаційної температури всіх огорожень призводить до необхідності визначення не тільки температури внутрішнього повітря, як зазвичай, але й температури внутрішніх поверхонь усіх огорожувальних конструкцій.

Розрахункова схема приміщення, для якого розробляється математична модель, подана на рис. 3.2.

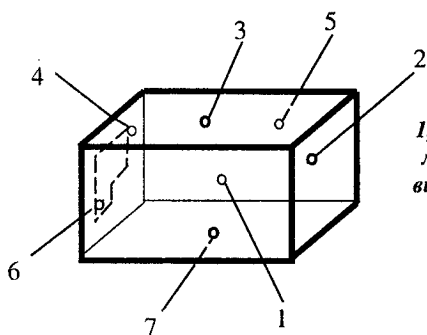


Рис. 3.2. Розрахункова схема приміщення: 1, 2 – внутрішні стіни, що межують з іншими приміщеннями; 3 – стеля, що межує з іншим житловим приміщенням; 4 – зовнішня фасадна стіна з вікном; 5 – зовнішня торцева стіна; 6 – вікно; 7 – електропідлога

Процес теплообміну в типовій житловій кімнаті з гріючою підлогою записується диференціальним рівнянням теплового балансу:

1. Для теплообміну наявного в приміщенні повітря з елементами цього приміщення маємо:

$$c\rho V dt_B(\tau)/dt = \sum Q_B(\tau) + Q_{ст}(\tau) + Q_{п}(\tau) + Q_{п.п}(\tau) - \sum Q_3(\tau) - Q_{д.т}(\tau), \quad (3.6)$$

де c – теплоємність повітря, Дж/(кг·°C); ρ – щільність повітря, кг/м³; V – внутрішній об'єм приміщення, м³; t_B – внутрішня температура повітря в приміщенні (середня), °C; τ – годин; $\sum Q_B$ – сумарна кількість теплоти, що передається повітрю від внутрішніх стін, Вт; $Q_{ст}$ – кількість теплоти, що передається повітрю від стелі, Вт; $Q_{п}$ – кількість теплоти, що передається повітрю від електропідлоги, Вт; $Q_{п.п}$ – тепловиділення від побутових приладів і людей, Вт; $\sum Q_3$ – сумарна кількість теплоти, що втрачається через зовнішні огороження, Вт; $Q_{д.т}$ – додаткова теплота, що витрачається на підігрів повітря, яке надходить за рахунок інфільтрування та провітрювання, Вт.

2. Для зовнішніх огорожень:

$$\partial t_3(x, \tau) / \partial \tau = a \partial^2 t_3(x, \tau) / \partial x^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta; \quad (3.7)$$

– граничні умови:

$$-\partial t_3(0, \tau) / \partial x + h_3 t_3(0, \tau) = h_3 t_3(\tau); \quad (3.8)$$

$$\partial t_3(\delta, \tau) / \partial x + h_3 t_3(\delta, \tau) = h_3 t_B(\tau) + h_3 t_R(\tau); \quad (3.9)$$

– початкові умови (стаціонарний режим):

$$t(x, 0) = t(0, 0) + [t(\delta, 0) - t(0, 0)] x / \delta, \quad (3.10)$$

де:

$$t(0, 0) = t_3(0) + q_T(0) / \alpha_3; \quad (3.11)$$

$$t(\delta, 0) = t_B(0) - q_T(0) / \alpha_B; \quad (3.12)$$

$$q_T(0) = [t_B(0) - t_3(0)] / [1 / \alpha_B + \alpha / \lambda + 1 / \alpha_3]. \quad (3.13)$$

3. Для внутрішніх стін приміщення, ідентичних стінам сусідніх приміщень, а також для стелі:

$$\partial t_B(x, \tau) / \partial \tau = a \partial^2 t_B(x, \tau) / \partial x^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta / 2; \quad (3.14)$$

– граничні умови:

$$\partial t_B(0, \tau) / \partial x = 0; \quad (3.15)$$

$$\partial t_B(\delta / 2, \tau) / \partial x + h_B t_B(\delta / 2, \tau) = h_B t_B(\tau) + h_B t_R(\tau); \quad (3.16)$$

– початкові умови (стаціонарний режим):

$$t(x, 0) = t(0) \quad (3.17)$$

4. Для електропідлоги:

$$\partial t_{п}(x, \tau) / \partial \tau = a \partial^2 t_{п}(x, \tau) / \partial x^2; \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq \delta; \quad (3.18)$$

– граничні умови:

$$-\partial t_{п}(0, \tau) / \partial x = q_e \quad (\text{з } 23 \text{ до } 6 \text{ годин}); \quad (3.19)$$

$$\partial t_{п}(0, \tau) / \partial x = 0 \quad (\text{з } 6 \text{ до } 23 \text{ годин}); \quad (3.20)$$

$$\partial t_{п}(\delta, \tau) / \partial x + h_B t_B(\delta, \tau) = h_B t_B(\tau) + h_B t_R(\tau); \quad (3.21)$$

– початкові умови (стаціонарний режим):

$$t(x, 0) = t(0). \quad (3.22)$$

У рівняннях (3.7) – (3.22) позначено: $t_3(\tau)$, $t_B(x, \tau)$ – температура зовнішнього повітря і внутрішніх поверхонь стін залежно від поточної координати x , м, та часу τ , годин; δ – товщина огорожувальної конструкції, м; λ – коефіцієнт теплопровідності

матеріалу огороження, Вт/(м²•°C); $h_3 = \alpha_3 / \lambda_c$, $h_b = \alpha_b / \lambda_c$ – відносні коефіцієнти теплообміну на зовнішній та внутрішній сторонах огороження, м⁻¹; α_3 і α_b – коефіцієнти тепловіддачі на зовнішній та внутрішній сторонах огороження, Вт/(м²•°C); q_T – тепловий потік через стіну в стаціонарному режимі, Вт/м²; індексами «к» і «п» позначені конвективна та променева складові.

Розв'язання задачі для приміщення, що має сім огорожувальних конструкцій (рис. 3.2) із різними теплофізичними показниками та умовами теплообміну, застосовуючи аналітичні методи розрахунку для можливих варіантів приміщень з одношаровими та тришаровими зовнішніми стінами, вимагає виконання великої кількості обчислень [124].

3.2.2. Термодинамічний аспект роботи кабельного ЕТА-обігріву

Підлога та інші огорожувальні конструкції з кабельним ЕТА-обігрівом є добовим акумулятором теплоти, загальну теорію якого наведено в [127]. Вони застосовуються також при створенні систем тепло-, холодопостачання [128]. У роботі ЕКСО ТА, як і будь-якого акумулятора, можна виділити режим заряджання (надходження тепла в акумулятор) і режим розряджання (споживання тепла з акумулятора) (рис. 3.3). Опис і розрахунок ЕКСО ТА, як і будь-якого виду акумулятора енергії, та енергетична оцінка процесів акумулювання можна зробити на базі термодинамічного поняття міри відхилення системи від рівноважного стану. Внутрішня рівновага в системах з акумуляцією теплової енергії визначається внутрішньою енергією. Функція працездатності у вигляді внутрішньої енергії ϵ_x , визначеної як функція стану, характеризує максимальну технічну роботу, яку може система зробити за рахунок своєї енергії при зворотному переході в стан внутрішньої рівноваги, виглядає [127]:

$$\epsilon_x = -L_{\max}^t = -\sum_{i=1}^m \int_0^{Z_i} \overline{X}_i d\overline{Z}_i = \int_{\psi_0}^{\psi_1} \int_0^{\tau} J_i d\tau d_r \psi_i, \quad (3.23)$$

де L_{\max}^t – максимальна корисна зовнішня робота; \overline{X}_i , \overline{Z}_i – параметри невірноваженості, відповідно, зовнішня сила та узагальнені координати i -го елемента акумуляційної системи (для випадку ЕКСО ТА виражаються граничними умовами, типу (3.8), (3.9), (3.16), (3.17), (3.20), (3.21)); J_i – потік; ψ_i – потенціал (узагальнена сила) у вигляді сукупності функціональних операторів (тиску, температури, енергії, концентрації тощо); $d_r \psi_i$ – зміна потенціалу у напрямку перенесення енергії.

Критерій невірноваженості (3.23) є універсальним критерієм еволюції термодинамічних систем. Однак у випадку ЕКСО ТА прийнято, що джерело тепла (нагрівальні кабелі) і споживачі тепла (огорожувальні конструкції і навколишнє середовище) обмінюються між собою тільки тепловою енергією, яка виражається винятково через температурний параметр самої системи, і параметри невірноваженості зводяться до крайової задачі. Ця особливість дозволяє істотно спростити математичну модель явища, обмеживши її рівняннями звичайного теплообміну. Тобто, математичну модель фізичної системи з акумулятором у випадку ЕКСО ТА можна редукувати до замкненої системи рівнянь, які описують тепловий баланс повітря приміщення у складі системи «ґрійоча підлога – опалюване приміщення – зовнішнє повітря», і не розглядати докладно її енергетичний аспект.

3.2.3. Методи моделювання режимів теплообміну у приміщеннях із кабельним ЕТА-обігрівом

Далі використовується комплексний (коли поєднуються традиційні аналітичні та обчислювальні методи) підхід до математичного моделювання режимів теплообміну у приміщеннях, що обігріваються за допомогою ЕКСО ТА. Традиційні аналітичні методи розрахунку дають змогу описати фізичний аспект протікання процесів теплообміну та головні їхні особливості. Обчислювальні методи на базі сучасних комп'ютерних технологій дають можливість одержати кількісні результати при розв'язуванні практичних задач різної складності. При цьому розробці ефективних комп'ютерних моделей і розрахункової методики мають передувати аналіз проблеми і спроби її вирішення за допомогою традиційних методів.

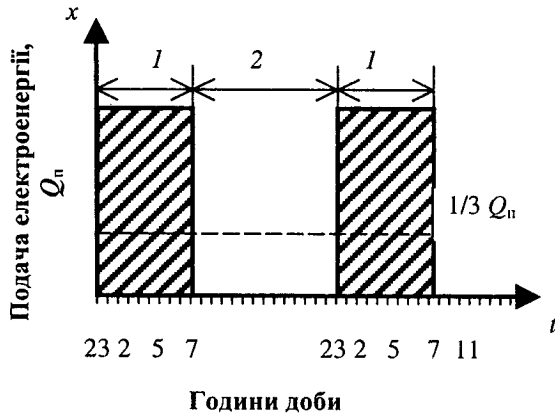


Рис. 3.3. Типовий цикл зарядження-розрядження «ЕКСО ТА» ґрунчової підлоги.
1 – режим «зарядження»;
2 – режим «розрядження»

3.2.3.1. Модифікований метод скінчених інтегральних перетворень

Метод скінчених інтегральних перетворень (СІП) протягом кількох десятиліть розроблявся стосовно випадку перенесення тепла крізь огороження при гармонійних змінах зовнішньої температури та інсоляції [129, 130-134]. З аналізу цих та аналогічних робіт випливає, що СІП практично не поширювався на задачі із внутрішніми джерелами тепла. Але у зв'язку з поширенням останніми роками у житловому будівництві України електрообігріву, виникла ідея модифікувати метод СІП до проблематики ЕКСО ТА з метою вияву нових позитивних сторін методу СІП та нових областей його практичного застосування. Було проведено відповідний цикл досліджень [124, 129, 132, 133]. У якості розрахункової схеми з самого початку було взято схему конкретного реального приміщення, яку наведено на рис. 3.4. Це приміщення є справжньою моделлю типового житлового блока, яку було експериментально досліджено у спеціальному кліматичному комплексі інституту КиївЗНДІЕП [135]. У [63, 124, 129, 132–136] викладено методику модифікації методу СІП до задач приміщень з ЕКСО. Встановлено, що задача розрахунку методом СІП теплового режиму приміщення з ґрунчовою підлогою, яка працює періодично, у випадку одношарової конструкції зовнішніх огорожень зводиться до розв'язання семи інтегральних рівнянь і одного інтегрально-диференціального рівняння [124]. Сучасні зовнішні огорожувальні будівельні конструкції є багатошаровими. Більше того, в характерних для ЕКСО ТА задачах

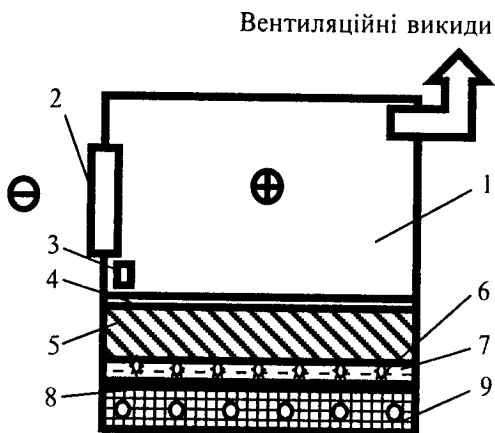
на теплотривкість із добовим циклом, огорожувальна конструкція має шар різних коливань, товщина якого для найбільш розповсюджених конструкційних матеріалів зазвичай не перевищує 100...110 мм.

Рис. 3.4. Конструктивна схема приміщення з грійочною підлогою:

1 – приміщення; 2 – світлопрозоре огородження; 3 – опалювальний прилад прямої дії у граничній зоні.

Типова п'ятишарова грійоча підлога (умовно збільшена):

4 – лицьове покриття;
 5 – акумуляційний шар;
 6 – нагрівальні кабелі; 7 – стяжка;
 8 – теплоізоляційний шар;
 9 – тильний шар (наприклад, плита перекриття) підлоги



Іншими словами, реальна зовнішня будівельна огорожувальна конструкція, а також підлога з вбудованими нагрівальними кабелями, що працюють у тепло-акумуляційному режимі, складається, як мінімум, із двох шарів. Тому необхідно робити теплотехнічний розрахунок n -шарових стін, який за методикою СІП передбачає визначення потоків тепла на межі шарів. Аналіз режимів теплообміну приміщення з такими стінами призводить до необхідності складання і розв'язання додаткової системи ($n-1$) рівнянь із метою розрахунку цих потоків для кожної конструкції [124]. У практиці будівництва набувають поширення сандвіч-конструкції з повітряним прошарком (п'ять шарів). Тришарову композицію можна вважати прийнятним компромісом між складністю математичної моделі та фізичною картиною перенесення тепла в реальному огороженні. При використанні методу СІП виникає необхідність розв'язання ряду внутрішніх підзадач (на шарах) зі змішаними граничними умовами (ГУ), а також із ГУ III роду на контактних поверхнях. Ці задачі розв'язуються аналогічно випадку з одношаровими конструкціями [137-139].

Докладно процедура розробки чисельного методу розв'язання рівняння теплового балансу для внутрішнього повітря приміщення з тришаровими зовнішніми стінами розглянута у [124, 129]. Кінцеві результати мають вигляд системи 12-ти алгебричних рівнянь теплового режиму приміщення з двома тришаровими зовнішніми стінами та електропідлогою, що працює в переривчастому режимі. Ця система (за розташуванням 12-ти невідомих і вільних членів) описує:

- температуру внутрішньої поверхні двох внутрішніх одношарових стін, $i=1, 2$;
- температуру внутрішньої поверхні стелі;
- тепловий потік на стик першого і другого шару фасадної тришарової зовнішньої стіни;
- тепловий потік на стик другого і третього шару фасадної тришарової зовнішньої стіни;
- температуру внутрішньої поверхні фасадної тришарової зовнішньої стіни;

- тепловий потік на стику першого і другого шару торцевої тришарової зовнішньої стіни;
- тепловий потік на стику другого і третього шару торцевої тришарової зовнішньої стіни;
- температуру внутрішньої поверхні торцевої тришарової зовнішньої стіни;
- температуру внутрішньої поверхні вікна;
- температура внутрішньої поверхні електропідлоги;
- температура внутрішнього повітря.

Замкнута система з 12-ти алгебричних рівнянь відображає тепловий режим приміщення з ЕКСО ТА. Розроблено відповідну програму розрахунку приміщення і контрольний приклад. Верифікацію розробленої моделі виконано на базі експериментальних даних [124].

У результаті розрахунку визначаються поточні значення слідуючих параметрів:

- температури повітря у приміщенні;
- температури поверхні гріючої підлоги;
- температури внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожень;
- температури внутрішніх поверхонь внутрішніх огорожень (перегородок і стелі);
- тепловіддачі поверхні гріючої підлоги;
- тепловіддачі внутрішніх огорожень (перегородок і стелі);
- теплових втрат зовнішніх стін і вікна;
- електричної потужності ЕКСО ТА в інтервалі «зарядження».

Встановлено, що, на відміну від класичних методів розв'язування рівнянь теплопровідності, метод СІП дозволяє переходити від зображень до оригіналів набагато простіше, ніж у випадках інших інтегральних перетворень. Метод СІП, будучи узагальненням методів відокремлюваних змінних, з одного боку, не вимагає зведення граничних умов до однорідних початкових умов, з іншого боку, його використання не призводить до труднощів зі зворотним переходом і неоднорідними початковими умовами при застосуванні перетворення *Лапласа*, а також одночасно зводить неоднорідну крайову задачу теплопровідності в області зображень у випадку одно- і багатошарових стінок до звичайного диференціального рівняння першого порядку з елементарним його розв'язанням або розв'язанням систем рівень. Але скористатися цими перевагами без реалізації досить складних відповідних комп'ютерних моделей практично неможливо [124].

Крім того, конструкцію підлоги – найбільш важливого конструктивного вузла – представлено в одновимірному та одношаровому варіанті, що різко знижує практичну цінність модифікованого методу СІП, тому що реальні схеми підлоги з ЕКСО – двовимірні, багатошарові (зазвичай, п'ятишарові). Для опису моделі приміщення з п'ятишаровою підлогою потрібно буде доповнити існуючу систему рівнянь (з 12-ти рівнянь перейти до 16-ти). При цьому доведеться реалізувати нову схему чисельного розв'язання, тобто переходити від системи інтегральних рівнянь до алгебричних, а потім знову повертатися до чисельного їх розв'язання. Ця процедура розглянута в ряді праць [63, 124, 129, 132, 133].

3.2.3.2. М-метод аналізу теплостійкості приміщень

Найбільш близьким за фізико-математичною суттю методом математичного моделювання теплового стану об'єктів з ЕКСО ТА та аналізу їх поведінки при циклічних теплових навантаженнях є експериментально-аналітичний М-метод. Він ґрунтується

на використанні, з одного боку, основних положень аналітичної теорії теплостійкості приміщень, з іншого боку, емпіричного коефіцієнта нерівномірності теплоємнісного опалювального приладу, влаштованого у даному приміщенні для забезпечення основних параметрів його мікроклімату [114, 119]:

$$M = (Q_{\max} - Q_{\min}) / 2Q_z, \quad (3.24)$$

де Q_{\max} , Q_{\min} , Q_z – відповідно максимальне, мінімальне і середнє (відповідає тепловтратам приміщення) значення тепловиділення опалювального приладу, Вт.

Застосування M -методу аналізу теплостійкості приміщень з ЕКСО ТА є основою нашої розробки [61, 63, 65].

При ЕТА-опаленні гріючою підлогою потік тепла коливається від максимальних до мінімальних значень у межах: $Q \in [Q_{\max}, Q_{\min}] \cong Q_z \pm \Delta Q$, що відповідає максимальній і мінімальній віддачі тепла опалювальним приладом (гріючою підлогою) між моментами початку і закінчення «зарядження». Величина ΔQ може бути вираженою через коефіцієнт нерівномірності M , як частина від середньої витрати тепла, тобто $\Delta Q = M \cdot Q_z$. Чим рівномірніше гріюча підлога буде віддавати тепло, тим меншими будуть величини M і ΔQ . При $M \leq 0$, $\Delta Q \leq 0$ тепловий потік буде стаціонарним. Значення M для традиційних видів опалення наведено в [114].

Даних по M для ЕКСО ТА немає. Для оцінки значення M для ЕКСО ТА користуються інтерпольованими даними на основі інтуїтивного розуміння подібності процесів при ЕКСО ТА й опаленні грубою. Визначення значення M для гріючих підлог при ЕКСО ТА має увійти до завдань дослідження ЕКСО технології.

Як уже зазначалося, при стабільних умовах довільні періодичні коливання величини теплового потоку, що проходить крізь гріючу підлогу, викликають коливання температури на внутрішній поверхні огороження. При масивних огороженнях ці коливання будуть також близькими до гармонійного (а у випадку вихідних гармонійних коливань будуть цілком гармонійними) з тим же періодом z , але із запізненням у часі. Температура внутрішньої поверхні огороження коливається в межах від максимального значення $\tau_{\max} = \tau_b + \Delta\tau$ до мінімального $\tau_{\min} = \tau_b - \Delta\tau$. Величина $\Delta\tau$ залежить від амплітуди коливань теплового потоку ΔQ , періоду цього коливання z і теплотехнічних властивостей самого огороження, яке характеризується коефіцієнтом теплопоглинання внутрішньої поверхні огороження $s_b = \Delta Q \Delta\tau \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Норми встановлюють допустимі межі коливань температури внутрішнього повітря $\Delta\tau = \pm 1, 5 \text{ °C}$ при центральних опалювальних системах і $\Delta\tau = \pm (2, 5 \dots 3) \text{ °C}$ при опаленні грубою [114].

Хоча умовність коефіцієнта теплопоглинання є очевидною, і він не виражає абсолютної кількості тепла, яка акумулюється огороженням, усе-таки його використання істотно полегшує розв'язання розрахункової задачі поширення коливань температур у середині будівельних конструкцій.

Теорія теплостійкості для аналізу теплового стану приміщення з електрообігрівом підлоги і самої гріючої підлоги ще не використовувалася. Оскільки електроопалення гріючою підлогою є системою періодичної дії, і її цільовою функцією є підтримка значень основних режимних параметрів у таких межах, при яких температура внутрішнього повітря залишалася б максимально рівномірною, то доцільно для аналізу теплопровідності в моделюючих системах використовувати квазістаціонарні крайові умови [116]. Для цього було застосовано символічний метод розв'язання рівняння теплопровідності, що дозволило зробити повний облік зрушення фаз коливань теплового потоку і температури, повністю розрахувати

згасання температурних хвиль у будь-яких одновимірних огороженнях. Цей автоматичний підхід у будівельній теплофізиці почав розвиватися ще з другої чверті ХХ ст. [4, 5, 107, 108, 110, 119, 122, 123, 140]. Було отримано багато загальних і спеціальних даних, що дозволили здійснити моделювання поведінки приміщень при різних періодичних впливах тепла. Результати теоретичних, експериментальних досліджень були узагальнені і вони знайшли своє відображення у наукових розробках [107, 119]. Для практичних розрахунків [116, 118] запропоновано формули, що дають показники повного згасання температурних коливань зовнішнього повітря у товщі багат шарового огороження. Цей підхід нами був реалізований [63, 65].

Доцільність введення поняття «теплостійкість» для аналізу електрообігріву випливає з принципової нерівномірності тепловиділення при ЕКСО ТА. Ця нерівномірність є причиною коливань температури повітря у приміщенні та коливань температур на внутрішніх поверхнях зовнішніх і внутрішніх огорожень. Визначено, що величини амплітуд коливання температури повітря і температур внутрішніх поверхонь огорожень залежать не тільки від властивостей опалювального приладу, але також від самого приміщення та теплотехнічних якостей його зовнішніх і внутрішніх огорожень.

Теорію теплостійкості було застосовано нами для обчислення амплітуди коливань температури внутрішнього середовища приміщення [114, 116]:

$$A_Q = (0,7 \cdot M \cdot Q_z) / (\sum F_i \cdot B_i), \quad (3.25)$$

де F_i – площа i -го огороження за внутрішнім обмірюванням, m^2 ; $B_i = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{s_i} \right)$ –

коефіцієнт теплопоглинання поверхні i -го огороження.

Іншими величинами, якими можна характеризувати теплоаккумуляційні властивості гріючої підлоги, будуть товщина шару різких коливань (ШРК) і показник теплової інерції D . Під товщиною ШРК (або глибиною активного шару) розуміють поперечний розмір шару будівельної конструкції, у якому вплив теплотехнічних властивостей на кількість поглиненого тепла становить 95 % загального теплового впливу [4]. На величину коефіцієнта теплопоглинання внутрішньої поверхні огороження s_a впливають тільки теплотехнічні властивості матеріалів огороження, що знаходяться у цьому шарі різких коливань. Частина огороження, що лежить за межами шару різких коливань, на коефіцієнт теплопоглинання огороження не впливає. Для однорідного огороження товщина ШРК $\partial = \lambda / s$. Товщина ШРК залежить від частоти коливання теплового потоку, зменшуючись зі збільшенням частоти коливань і збільшуючись з її зменшенням. ШРК стіни у 2,5 цегли займає тільки 13 % її товщини при $\tau = 24$ год і 9,5 % при $\tau = 12$ год. Маса стіни за межами ШРК на коефіцієнт теплопоглинання її внутрішньої поверхні не впливає.

У товщі гріючої підлоги утворюється температурна хвиля, що згасає з наближенням до лицьової поверхні. Характеристикою кількості хвиль, що розповсюджуються в товщі підлоги, може виступати безрозмірна величина показника теплової інерції D , що визначається як сума показників теплової інерції окремих шарів $D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n$, де $D_i = R_i s_i$ – показник теплової інерції для однорідного огороження [116]. Зі збільшенням частоти коливань теплового потоку показник теплової інерції збільшується і загасання температурних коливань у товщі огороження відбувається швидше. У ШРК розташовується приблизно $1/8$ довжини температурної хвилі, а показник теплової інерції дорівнює одиниці $D_\partial = R_\partial s = 1$, де R_∂ – термічний опір ШРК.

3.2.3.3. Комп'ютерне моделювання режимів теплообміну

Зараз більшість обмежень при розрахунках технології ЕКСО може бути знято завдяки швидкому поширенню сучасних комп'ютерних технологій, що базуються на використанні універсальних багатоцільових обчислювальних пакетів типу ANSYS, які дозволяють визначити оптимальне співвідношення параметрів системи електрообігріву [63, 65-67, 148].

Пакет ANSYS використовує метод закінчених елементів, основна ідея якого полягає в тому, що будь-яку безпервну величину (температуру, тиск, переміщення, тощо) можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусочно-безпервних функцій, визначених на кінцевій кількості підобластей. Кусочно-безпервні функції визначаються за допомогою значень безпервної величини в кінцевій кількості точок розглянутої області, тобто безпервна модель замінюється цією так званою дискретною моделлю. У дискретній моделі розв'язання є в обмеженій кількості точок – у вузлах моделі. Схема побудови дискретної моделі є такою:

- у розглянутій області розв'язання фіксується кінцева кількість точок-вузлів;
- значення безпервної величини в кожній вузловій точці вважається змінним, його треба визначити;
- область визначення безпервної величини розбивається на кінцеве число підобластей, названих елементами, ці елементи мають загальні вузлові точки і в сукупності апроксимують форму області визначення;
- безпервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, що визначається за вузловими значеннями цієї величини; він підбирається так, щоб зберегти безпервність величини уздовж границь елемента.

ANSYS має зв'язок з більшістю CAD-систем (з UG, Pro/E, CATIA, CADD5 з прямим інтерфейсом) і забезпечує читання нейтральних геометричних форматів IGES, SAT, Parasolid. Є можливість параметричного завдання геометрії (для подальшої оптимізації конструкції). ANSYS у тепловому аналізі забезпечує такі можливості: стаціонарні і нестаціонарні розрахунки; теплообмін через теплопровідність, конвекцію; моделювання фазового переходу.

Таким чином, виходячи зі складності проблеми, основним інструментом моделювання та аналізу режимів теплообміну приміщень з ЕКСО ТА мають бути сучасні обчислювальні пакети. За їх допомогою можна швидко одержати всі дані, необхідні для розробки будівельного проекту в реальних умовах експлуатації.

*Побудова комп'ютерної моделі.*¹ Для теплового аналізу системи опалення «приміщення з ЕКСО – гріюча підлога – внутрішнє повітря приміщення – огорожувальні конструкції – зовнішнє середовище» було розроблено комп'ютерну модель (рис. 3.5, 3.6). Унаслідок регулярності просторової структури розташування нагрівального кабелю у підлозі можна обмежитися моделюванням одного сегмента підлоги з ЕКСО між нейтральною і вертикальною віссю кабелю (двовимірна частина моделі). Інші частини об'єкта моделювання складають огорожувальні конструкції приміщення (одновимірні моделі з розподіленими параметрами) і повітря приміщення (нульвимірна модель із зосередженими параметрами).

¹ Роботи з розробки і експлуатації комп'ютерної моделі, що розглядається, проводилися під керівництвом докт. техн. наук професора П.Г. Круковського у відділі моделювання процесів тепломасообміну в об'єктах енергетики і теплотехнологіях ІТТФ НАН України. Автори щиро вдячні докт. техн. наук професору П.Г. Круковському, канд. фіз.-мат.наук А.С. Полубінському, канд.техн. наук О.Ю. Тадлі, іншим колегам за можливість проведення обчислювальних експериментів і користування матеріалами чисельного моделювання, а також за плідні дискусії щодо одержаних результатів.

На першому етапі визначаються особливості основних складових підсистем об'єкта моделювання – підлоги і приміщення. По осі x (підлога) вважається, що у будівельній конструкції покладено в один або два шари кабель з рівномірним кроком. По осі y модель не змінюється (спостерігається циклічне чергування шарів). Унаслідок великих розмірів області визначення в напрямку z порівняно з відстанями у напрямках інших осей, виміром z можна знехтувати. Таким чином, задача може звестися до двовимірної, у якій відстань x буде відраховуватися між кабелем і нейтральною віссю в поперечному напрямку, а відстань y – уздовж конструкції по висоті.

Приміщення за своєю геометричною будовою є тривимірним. Перетворення його у двовимірне з фізичної точки зору є не зовсім адекватним, тому що фактично у приміщенні відбувається тристороннє просторове переміщення повітря за рахунок природної або примусової конвекції. У даному випадку було застосовано так звану нульвимірну модель приміщення або модель із зосередженими параметрами. У ній усі складові частини приміщення (об'єм повітря, огорожувальні конструкції) є вузлами, у яких зосереджено геометричні й теплофізичні характеристики, параметри і властивості даної частини (теплоємність, теплопровідність, щільність, об'єм, температура, тощо). Зв'язкам між вузлами також надається значення теплових зв'язків. Недоліки такої моделі очевидні – це усереднені значення температур у вузлах. Однак у більшості практичних випадків ми можемо скористатися таким наближенням і одержати задовільні результати.

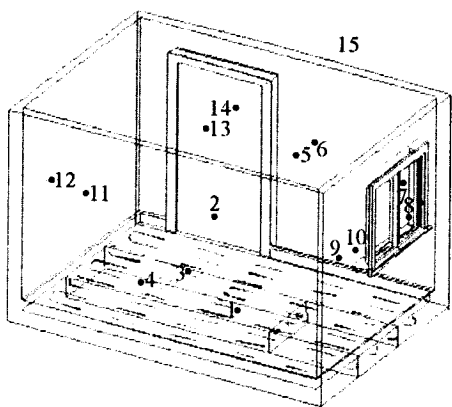


Рис. 3.5. Розташування вузлових точок моделі приміщення з електроопаленням:
 1 – підлога; 2 – повітря приміщення;
 3, 4, 9, 10 – вузли на зовнішніх огородженнях;
 5, 6, 11, 12 – вузли на внутрішніх огородженнях;
 7, 8 – вузли на вікнах; 13, 14 – вузли на дверях; 15 – зовнішнє повітря

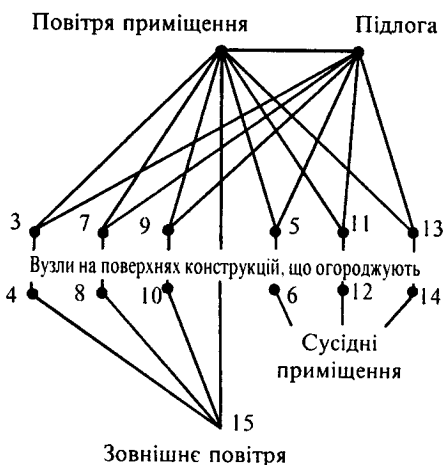


Рис. 3.6. Схема теплових зв'язків між вузловими точками моделі

На другому етапі здійснюється побудова геометричної моделі. Вона може мати п'ять шарів. При необхідності можна зменшити їх кількість до трьох (шари під кабелем, акумуляційні шари з кабелем і лицьові шари), і навіть до одного (шару, в якому замонолічено кабелі). Кабель має чотири шари: жилу, дві оболонки і металеве обплетіння, їх кількість і розміри також можуть змінюватися.

На третьому етапі здійснюється розбивка геометричної області, визначення і побудова сітки. Успіх розв'язання задачі здебільшого залежить від розбивки. На рис. 3.7 зображено скінченно-елементну модель у районі кабелю. Згущення сітки спостерігається у місцях високих градієнтів температури біля тепловиділяючих жил кабелю і розрядження в областях малих градієнтів, тобто в нижній і верхній частинах підлоги. Вона відрізняється наявністю елементів довільної форми і конфігурації (з трьома або чотирма кутами), вільно розташованих залежно від геометрії об'єкта. Особлива увага приділялася розбивці місця стику кабелю з теплоізоляцією, де елементи виходили дуже витягнутими. Для досягнення правильного результату прийнято вважати, що відношення довжини до ширини елемента не повинне перевищувати п'ять одиниць, для чого доцільно «підняти» кабель над шаром теплоізоляції так, щоб елемент під кабелем вийшов прямокутним і не таким витягнутим. Початок координат вибирався на межі бетонної стяжки і теплоізоляції між кабелями в центрі кабелю. Тепловиділення джерела тепла Q відмінне від нуля в тій частині області визначення, де проходить струмопровідна жила кабелю.

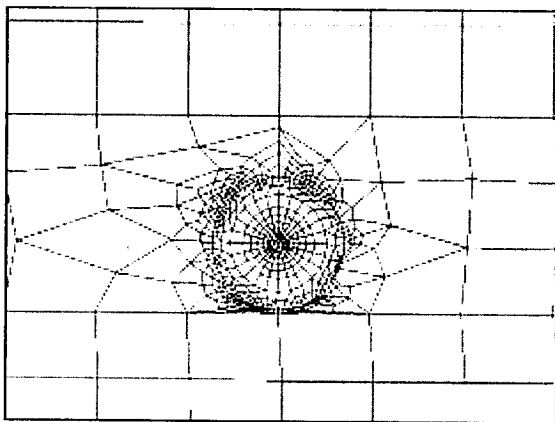


Рис. 3.7. Скінченно-елементна модель у районі кабелю

Як вихідні дані використовуються:

- геометричні та теплофізичні характеристики підлоги, кабелю, стін приміщення;
- кількість розбивки шарів підлоги на елементи;
- стаціонарне навантаження на кабель ($\text{Вт}/\text{м}^2$ або $\text{Вт}/\text{м}$);
- ступінь чорноти матеріалів огорожувальних конструкцій приміщення;
- коефіцієнти конвективного теплообміну від підлоги до повітря, з повітря до стін, від стін у зовнішнє середовище;
- втрата припливного повітря ($\text{м}^3/\text{год}$);
- час розрахунків і крок за часом (для нестационарного режиму);
- граничні умови знизу підлоги;
- температура зовнішнього середовища і суміжних приміщень.

Параметри ЕКСО, які оптимізуються при розрахунках:

- контроль граничної температури кабелю;
- зміна товщини шарів багатшарової конструкції підлоги;
- підбір навантаження на кабель (постійний і відповідно до графіка);

- визначення оптимального кроку між кабелюми;
- регулювання глибини закладання кабелю.

Підсистема «приміщення з ЕКСО ТА». Комп'ютерна підсистема теплового стану приміщення з гріючою підлогою будується у вигляді моделі із зосередженими параметрами для i -го вузла, зв'язаного з деякою кількістю j -х вузлів, модель має вигляд звичайного диференціального рівняння першого порядку:

$$c_i \rho_i V_i \frac{dt_i}{dt} = \sum_{j=1}^n k_{i-j} S_{i-j} (t_i - t_j) \pm Q_i, \quad t=t(\tau) \quad i \neq j; \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, n, \quad (3.26)$$

де $k_{i,j}$ – коефіцієнти зв'язку i -го вузла з j -м вузлом, що визначаються співвідношеннями залежно від виду теплообміну; n – кількість вузлів у моделі; $S_{i,j}$ – площа теплообміну i - j зв'язку, m^2 .

Перший доданок у правій частині рівняння (3.26) визначає підведену або відведену теплоту до/від даного вузла, а другий – тепловиділення або теплопоглинання в самому вузлі.

Тепловиділення або теплопоглинання Q_i у вузлі може враховувати тепловиділення від людей або устаткування, додаткове навантаження опалення або охолодження, величину сонячної радіації, а також повітрообмін, інтенсивність якого нормується, наприклад, для житлових приміщень [141]:

$$Q_{\text{вент}} = m(\tau) c_p V (t_{\text{в}} - t_{\text{пр}}), \quad (3.27)$$

де m – кратність повітрообміну, 1/год; приймається $m = 1$.

Променевий теплообмін у приміщенні між поверхнями i і j визначається[4]:

$$Q_n = \sum_j c_0 \epsilon_{i-j} \left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_j + 273}{100} \right)^4 \right] \phi_{i-j} F_i, \quad (3.28)$$

де c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла дорівнює $5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\epsilon_{i,j}$ – перевідний коефіцієнт випромінювання при теплообміні між тілами; $\phi_{i,j}$ – коефіцієнт опромінення з поверхні i на поверхню j ; F_i – площа поверхні, що контактує з повітрям, m^2 .

Визначення кутових коефіцієнтів взаємного опромінювання основних будівельних конструкцій для приміщень, обладнаних ЕКСО, проводиться для двох випадків. У випадку перпендикулярних площин випромінювання, які межують між собою, тобто мають загальну сторону довжиною l , (стеля-стіна; підлога-стіна, рис. 3.8, а):

$$f_{1-2} = \frac{1}{\pi W} (W \arctg W^{-1} + H \arctg H^{-1} - \sqrt{H^2 + W^2} \arctg (H^2 + W^2)^{-1/2} + \frac{1}{4} \left[\ln \frac{(1 + W^2)(1 + H^2)}{1 + W^2 + H^2} + W^2 \ln \frac{W^2(1 + W^2 + H^2)}{(1 + W^2)(W^2 + H^2)} + H^2 \ln \frac{H^2(1 + W^2 + H^2)}{(1 + H^2)(H^2 + W^2)} \right]), \quad (3.29)$$

де $W=a/l$, $H=b/l$, l – загальний розмір площин; a , b – розмір випромінюючої і приймаючої площин відповідно.

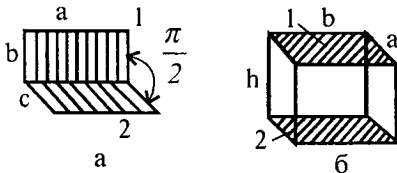


Рис. 3.8. Розрахункові схеми променистого теплообміну для перпендикулярного (а) і паралельного (б) розташування площин випромінювання

У випадку паралельних площин випромінювання (стеля-підлога, рис. 3.8, б)

$$f_{1-2} = \frac{2}{\pi XY} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} + X\sqrt{1+Y^2} \operatorname{arctg} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} + Y\sqrt{1+X^2} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} - \right. \\ \left. - X \operatorname{arctg} X - Y \operatorname{arctg} Y + Y\sqrt{1+X^2} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} - X \operatorname{arctg} X - Y \operatorname{arctg} Y \right], \quad (3.30)$$

де $X=a/c$, $Y=b/c$; a , b – розміри прямокутників; c – відстань між ними.

Теплообмін за товщиною стіни або її шару описується одновимірним рівнянням

$$\text{теплопровідності } c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right].$$

Конвективний теплообмін у приміщеннях описується за формулою [4]:

$$Q_k = A \cdot \sqrt[3]{(|t_n - \tau_n|) + 60 \frac{v_n^2}{l} (|t_b - \tau_n|) F_i}, \quad (3.31)$$

де A – коефіцієнт, який дорівнює 1,66 для вертикальних поверхонь і 2,16 – для горизонтальних; v_n – швидкість повітря у приміщенні, у середньому вона дорівнює 0,3 м/с; l – характерний розмір для стін, який дорівнює 2,5 м.

Підсистема «гриюча підлога-кабель». Розподіл температури в підсистемі «підлога-кабель» (рис. 3.9) описується диференціальним рівнянням теплопровідності, що для даного випадку має вигляд:

$$c\rho V \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q_l \pm Q_{\text{хім}}, \quad (3.32)$$

$$\tau > 0; \quad 0 < x < s/2; \quad |y_n| < y < y_b; \quad T = T(x, y); \quad \lambda = \lambda(x, y); \\ c = c(x, y); \quad \rho = \rho(x, y); \quad Q = Q(x, y, \tau),$$

де Q_l – лінійне тепловиділення в кабелі, Вт; $Q_{\text{хім}}$ – тепловиділення або теплопоглинання внаслідок екзо- і ендотермічних реакцій (наприклад, розігрівання бетону в процесі його ствердіння), Вт; s – крок укладання кабелю, м; x , y – просторові координати; λ – коефіцієнт теплопровідності шарів підлоги, Вт/(м·°C); τ – годин.

Граничні умови:

– на поверхні підлоги з боку верхнього (опалювального) приміщення:

$$-\lambda \frac{\partial t(x, y_b, \tau)}{\partial y} = \alpha_b (t_b - \tau_n), \quad (3.33)$$

де τ_n – температура лицьової поверхні підлоги, °C; t_b – температура верхнього приміщення, °C; α_b – коефіцієнт ефективної конвективної тепловіддачі від поверхні підлоги у верхнє приміщення, Вт/(м²·°C);

– на зовнішній поверхні підлоги (звернена до нижнього приміщення або землі):

$$-\lambda \frac{\partial t(x, y_3, \tau)}{\partial y} = \alpha_3 (\tau_3 - t_3), \quad (3.34)$$

де τ_3 – температура нижньої поверхні підлоги (зверненої до нижнього приміщення), °C; t_3 – температура нижнього приміщення, °C; α_n – коефіцієнт ефективної (радіаційно-конвективної) тепловіддачі від поверхні підлоги в нижнє приміщення, Вт/(м²·°C);

– на бічних поверхнях підлоги прийняті умови симетрії при $x = 0$ і $y = s/2$:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, y, \tau)}{\partial x} = 0, \quad -\lambda \frac{\partial t(s/2, y, \tau)}{\partial x} = 0. \quad (3.35)$$

Для ЕКСО характерні два основні режими: прямої та акумуляційної дії, яким відповідають стаціонарна і нестаціонарна математичні моделі.

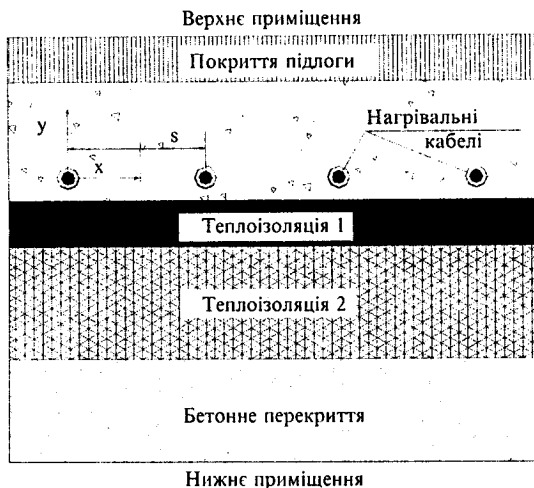


Рис. 3.9. Конструктивна схема підлоги з нагрівальними кабелями

Стаціонарна модель для розрахунку гріючої підлоги простіша, її метою є розрахунок ЕКСО для підтримки встановлених користувачем параметрів теплового режиму приміщення. Модель повинна визначити геометричні, теплофізичні параметри і потужність покладеного з визначеним кроком нагрівального кабелю, які допоможуть задовольнити вимоги споживача. Розв'язується завдання мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат для досягнення постійної температури поверхні гріючої підлоги. У першому наближенні такою моделлю може бути одновимірною моделлю із тепловиділяючим шаром. Проте, при оптимізації систем електрообігріву критичною величиною стає температура жили нагрівального кабелю, що при мінімумі спрощень можна розрахувати тільки за допомогою комп'ютерної моделі.

Якщо ЕКСО працює в нестаціонарному режимі з використанням акумуляції тепла в будівельних конструкціях (наприклад, запас тепла за 8 годин протягом пільгового тарифу і підтримка постійної температури протягом усього наступного дня (16 годин)), то виникають додаткові вимоги до моделі. При моделюванні необхідно враховувати: нерівномірність навантаження ЕКСО протягом часу; теплоємність підлоги і стін приміщення, повітря; умови теплообміну в приміщенні та поза ним.

Розроблена модель складалася з 11 039 вузлів і 11 510 елементів. Час розрахунку нестаціонарного добового теплового режиму приміщення на комп'ютері з тактовою частотою 1 ГГц становить приблизно 20 хвилин. Результати застосування моделі для розрахунку конкретних задач наведено нижче (3.4).

Модель елементарно видозмінюється щодо її граничних умов. Легко встановити постійну температуру на поверхні підлоги, земляного масиву або повітря, конвективний теплообмін у приміщенні з постійними або змінними коефіцієнтами конвективного теплообміну. Тестування моделі здійснювалося шляхом порівняння чисельних і аналітичних розв'язків тестових задач і показало близькість результатів. Особливе значення має те, що верифікацію комп'ютерної моделі було виконано на базі даних, одержаних при виконанні практичного експерименту в кліматичній камері [124].

3.2.4. Комплекс критеріїв технології кабельних систем ЕТА-обігріву

Функцією технології обігріву в холодну пору року та у перехідних умовах є підтримка розрахункової або технологічної температури для біологічних об'єктів. Для визначеності візьмемо випадок опалення житлового будинку. Нехай розрахункова амплітуда коливань результуючої температури повітря впродовж доби перебуває у межах $18 \pm 2,5$ °С. Унаслідок того, що електротеплоакумуляційний обігрів є випадком панельно-променевого опалення і допускає зниження показників комфортної температури (до $\pm 2,5$ °С) порівняно з конвективним опаленням, *перший критерій* електрообігріву для випадку електроопалення житлового будинку (інші біологічні об'єкти мають свої фізіологічно або технологічно обумовлені значення середньодобової температури) формулюється так: середня (упродовж доби) внутрішня температура повітря $t_{\text{пов}}$ у зоні, яка опалюється, береться не менше за $15,5$ °С і не більше за $20,0$ °С з відносною амплітудою коливання температури повітря у приміщенні $m_c = 4,5/15,5 = 0,29$ [76]. Тоді:

$$t_{\text{пов}} \in [15,5 \dots 20,0] \text{ °С.} \quad (3.36)$$

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

Для випадку традиційного опалення перший критерій є єдиним. Проте, при розрахунках систем опалення з ЕКСО ТА виникають додаткові критичні або порогові величини і обмеження, які повинна задовольняти технологія електрообігріву. Визначимо комплекс інших основних обмежень та умов (для стислості – термін «критерій») ЕТА системи обігріву та їх кількісні значення.

Другим критерієм електрообігріву є гранична температура гріючої поверхні підлоги τ_n , яка повинна відповідати санітарним нормам, що визначаються біофізичними властивостями і потребами біологічного об'єкта. Температура поверхні підлоги може залежати від часу. Для житлового приміщення значення граничної температури поверхні гріючої підлоги у новому нормативному документі [76] прийнято $\tau_n = 28$ °С у приміщеннях з постійним перебуванням людей, до того ж враховується її умовний характер щодо призначення приміщення, а також типу і матеріалу лицьової поверхні підлоги. Тоді:

$$\tau_n \leq 28 \text{ °С.} \quad (3.37)$$

Але у приміщеннях з паркетним лицьовим покриттям підлоги ця температура не повинна перевищувати 26 °С. На поверхні гріючої підлоги над віссю нагрівального кабелю допускається температура 35 °С. Для підлоги приміщень з тимчасовим перебуванням людей допускається температура 31 °С. Для зон найбільшого охолодження приміщення середньодобова температура на поверхні гріючої підлоги допускається до 35 °С.

Третім критерієм електрообігріву є гранична (максимально допустима) температура жили (оболонки) кабелю t_k , електричну ізоляцію якого, як правило, виконано з полівінілхлориду. Залежно від типу і матеріалів кабелю ця температура становить $60 - 120$ °С, і обмежуються термостійкістю матеріалів як оболонки кабелю, так і середовища, у яке замоноличується нагрівальний кабель. Для визначеності приймаємо $t_k = 70$ °С. Тоді:

$$t_k \leq 70 \text{ °С.} \quad (3.38)$$

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

Четвертим критерієм є вимога рівномірності розподілу температури по поверхні підлоги. Нерівномірність температури лицьової поверхні підлоги у житловому приміщенні не може перевищувати $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ між значеннями на лініях над віссю нагрівального кабелю і в нейтральній площині між кабелями. Тоді:

$$\Delta\tau_{\text{п}} \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (3.39)$$

За рахунок вибору раціональних видів конструкції і матеріалів шару, в який вбудовано нагрівальний кабель, та шарів, що лежать над цим шаром, ефект температурної «збери» у площині закладання кабелів повинен нівелюватися з достатньою точністю на лицьовій поверхні підлоги.

П'ятим критерієм електрообігріву в опалювальній системі, яка працює у періодичному режимі, є обмеження на величину параметра $\Pi_{\text{ГГ}}$ [76]

$$\Pi_{\text{ГГ}} = (\tau_{\text{п}\Delta} - \tau_{\text{п.сеп}}) d_{\Delta} / 2 \leq 4,0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{год}, \quad (3.40)$$

де $\tau_{\text{п}\Delta}$, d_{Δ} – відповідно, величина надмірної температури за поверхнею гріючої підлоги за добу, $^{\circ}\text{C}$, і тривалість її дії, год.; $\tau_{\text{п.сеп}}$ – середня за часом температура поверхні підлоги, $^{\circ}\text{C}$.

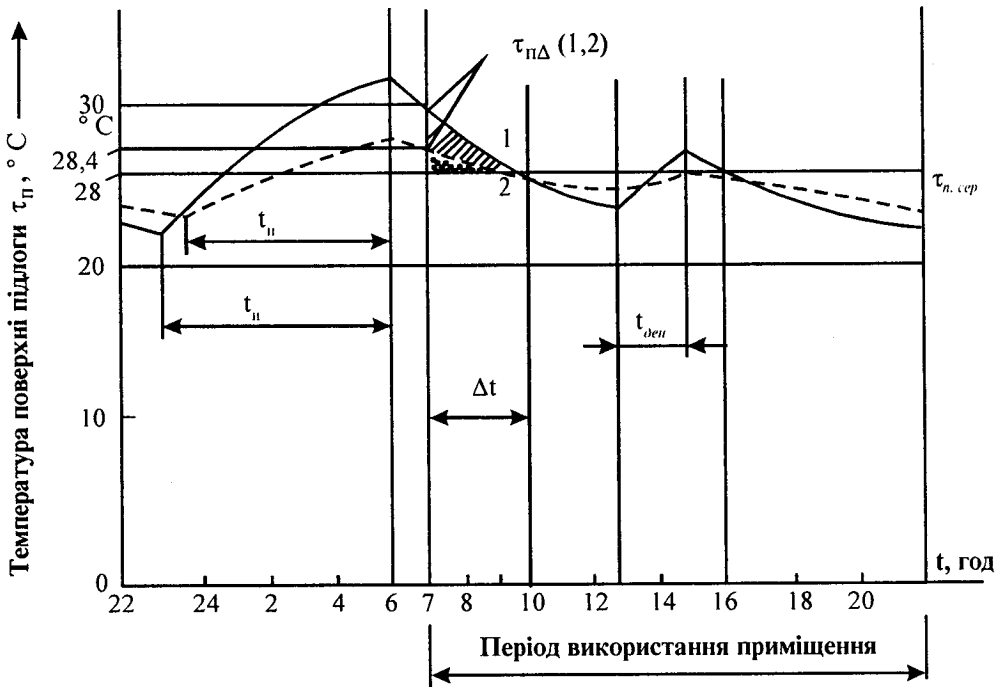


Рис.3.10. Приклад визначення дії збиткової температури поверхні підлоги:

— 1 – при товщині теплоакуюлюючого шару $\delta = 0,06\text{ м}$;

- - - 2 – при товщині теплоакуюлюючого шару $\delta = 0,12\text{ м}$;

$\tau_{\text{п.макс}}$ – збиткова температура поверхні підлоги в період використання приміщення;

$\tau_{\text{п.сеп}}$ – середня за часом температура поверхні підлоги в період використання приміщення;

Δt – тривалість дії збиткової температури за період використання приміщення;

$t_{\text{ні}}$ – тривалість нічної «зарядки» підлоги; $t_{\text{ден}}$ – тривалість денної «підзарядки» підлоги.

Теоретичні та експериментальні дослідження [63, 65, 124] показали, що межі використання підлогового кабельного ЕТА-обігріву в найгірших зимових умовах слід визначати за дією збиткової температури підлоги в період використання приміщення через параметр $P_{гр}$, який характеризує перегрів приміщення цією температурою порівняно з допустимою температурою поверхні підлоги 28 °С.

Фізичний зміст цього параметра виражається величиною заштрихованої площі S , що обмежена згори кривою збиткової температура, знизу – прямою нормованого значення середньої за часом температури поверхні підлоги 28 °С. Ця площа наближено дорівнює площі прямокутного трикутника (рис. 3.10), що розраховується за формулою (3.40).

Для нестационарного випадку актуальними є всі п'ять критеріїв. У стаціонарних задачах п'ятий критерій виключається.

Як уже зазначалося, аксіоматичною умовою можливості практичного використання панельно-променевого опалення є вимога забезпечення теплової потужності опалювального приладу, здатного забезпечити тепловий комфорт. Ця потужність визначається очевидним балансом між тепловими витратами $Q_{т.внтр}$ і потужністю опалювального приладу (далі нагрівальної панелі) $Q_{о.п}$:

$$Q_{т.внтр} = [(t_{прим} - t_{сер}) / R_{т.огор} F_{зovn.огор} + Q_{вент}] \leq Q_{о.п} = \alpha(t_{ппо} - t_{прим}) F_{ппо}. \quad (3.41)$$

Умова (3.41) повинна виконуватися при одночасному задоволенні критеріїв (3.46) – (3.40).

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

3.3. Теорія теплостійкості та електротеплоаккумуляційний обігрів

Теплостійкість або властивість матеріалів будівельних конструкцій будівель чинити опір змінам температури і теплових потоків широко використовується в технологіях забезпечення штучного клімату як при опаленні, так і при кондиціонуванні. При переривчастому, наприклад, грубому опаленні при досить масивних огороженнях задовільний рівень комфорту приміщення може бути досягнутий уже при одноразовій топці. При двох- і більше топках з тією ж добовою витратою палива теплотехнічний ефект переривчастого опалення значно підвищується. З іншого боку, висока теплостійкість є необхідною теплофізичною властивістю, що забезпечує комфортні умови приміщень у жаркий період року. Як уже говорилося у (1.7.1), кількісно здатність конструкції періодично акумулювати і віддавати тепло (при опаленні) або «холод» (при кондиціонуванні) у періодичних процесах, обумовлених гармонійними коливаннями температури поверхні конструкції або теплового потоку, виражається спеціальною теплофізичною характеристикою – коефіцієнтом теплосасвоєння $s_B = \sqrt{\lambda c \rho \omega}$, де λ , c , ρ , ω – відповідно, коефіцієнти теплопровідності, теплоємності, щільності матеріалу однорідної «товстої» конструкції і частота коливань теплового режиму. Оскільки коефіцієнт теплосасвоєння s_B пов'язаний зі змінами температури поверхні конструкції та її шарів в умовах періодичних коливань, із частотою $\omega = 2\pi/z$, де z – період коливань, то він не є тепло-

фізичною константою матеріалу в загальноприйнятому розумінні (як, наприклад, фізична теплоємність або теплопровідність).

ЕТА-технологія характеризується протіканням ряду періодичних теплових процесів у системі «зовнішнє повітря – зовнішні огороження – повітря опалювального приміщення (плюс внутрішні огороження і меблі) – гріюча підлога (як багат шарова конструкція із внутрішніми розподіленими джерелами)». Найбільш істотним є процес, пов'язаний з періодичним вмиканням гріючої підлоги у добовому опалювальному циклі в години нічного «провалу» графіка роботи енергосистеми і її вимиканням у пікові та напівпікові години. Діапазон розрахункових температур повітря в опалюваному приміщенні забезпечується за рахунок раціонального сполучення в робочому циклі за 24 години процесів акумулювання в гріючій підлозі та в інших будівельних конструкціях теплової енергії в інтервалі дії пільгових тарифів на електричну енергію (далі – години «зарядки») і віддачі акумульованої в будівельних конструкціях типу гріючої підлоги та в інших будівельних конструкціях теплової енергії в інтервалі відключення (далі – часу «розрядки») електроопалення.

Оскільки ЕТА-технологія опалення гріючою підлогою є системою періодичної дії, то її цільовою функцією є підтримка показників основних режимних параметрів у таких межах, при яких температура внутрішнього повітря залишалася б максимально рівномірною, тобто амплітуда коливань температури внутрішнього повітря перебувала б у допустимих межах. Норми встановлюють допустимі межі коливань температури внутрішнього повітря в зимовий час $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при центральних опалювальних системах, $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при грубному опаленні [4, 5, 120, 123].

3.3.1. Теплоакмуляційні властивості приміщення з гріючою підлогою з погляду теорії теплостійкості

В ЕТА-технологіях обігріву на базі ЕКСО, зокрема в електроопаленні за допомогою гріючої підлоги, принципового значення набувають питання, пов'язані з переривчастою протягом доби роботою опалення. Дискретна робота опалювального приладу – гріючої підлоги – призводить до згладжених змін температур і теплових потоків на поверхні. Нерівномірна віддача тепла гріючою підлогою – чергування інтервалів «зарядки» і «розрядки» протягом доби – викликає періодичні коливання розмірів теплового потоку, який сприймається внутрішніми поверхнями огорожень даного приміщення. Ці коливання мають період, що дорівнює часу між двома послідовними вмиканнями гріючої підлоги. Зазвичай вважається, що період складає 24 години, джоулева теплота виділяється в інтервалі «зарядки» вночі (з 23:00 до 6:00 годин). В інтервалі «розрядки» електрична потужність зазвичай нульова, тобто тепловиділення в гріючих кабелю має імпульсний характер. Нерівномірна віддача тепла гріючою підлогою викликає коливання температури повітря у приміщенні і коливання температур на внутрішніх поверхнях огорожень. До того ж ці коливання, внаслідок теплоємних фільтруючих (своєрідних Фур'є-фільтрів) властивостей конструкції гріючої підлоги і огорожень згладжуються, набувають гармонійного характеру. За невеликих, у межах кількох ($1 - 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) градусів коливаннях амплітуди температури внутрішнього повітря температурні умови у приміщенні відповідають вимогам ДБН В.2.6-31-2006 відносно допустимих норм температури в зоні, що обслуговується, в житлових, громадських і адміністративно-побутових приміщеннях. Однак при більших коливаннях температури внутрішнього повітря санітарно-гігієнічний режим приміщення може виявитися поруше-

ним, і тоді виникає питання розрахунку таких характеристик ЕТА-обігріву, при яких буде забезпечена нормативна температура приміщення.

Припущення про гармонійність коливань теплових потоків і температур у більшості випадків є близьким до реального. Так, наприклад, крива тепловіддачі в часі цегельних печей при періодичній їх топці досить близька до синусоїди. У випадках, коли фактичний графік коливань теплового потоку значно відрізняється від синусоїдального, він легко, у тому числі, у випадку періодичної послідовності прямокутних імпульсів, може бути розкладений у ряди Фур'є з періодом 2π , що складаються із простих періодичних функцій. Сума простих гармонік дає вихідну функцію з будь-яким ступенем точності. Прямокутні імпульси з прийнятною точністю можуть бути представленими суперпозицією вже трьох гармонік [139].

При постановці і наступному вирішенні перерахованих питань велике значення надається теплоакмуляційним властивостям конструкцій. Роль теплоакмуляційних конструкцій та їх шарів можна більшою або меншою мірою відобразити узагальнено за допомогою умовних понять «теплосасвоєння» і «теплостійкості», які, через їх особливу значущість для практики розрахунку гріючих підлог, варто розглянути докладніше.

Теплосасвоєння. Серед кількісних характеристик «теплосасвоєння» особливо важливим є коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу і його похідні коефіцієнти (коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні одно- і багат шарової конструкції; коефіцієнт тепловбирання внутрішньої поверхні огороження). Хоча умовність коефіцієнта теплосасвоєння очевидна – ця умовність багато в чому подібна до умовності коефіцієнта тепловіддачі [142], також пов'язаного зі змінами температури поверхні конструкції – і він не виражає абсолютної кількості тепла, що акумулюється огороженням, усе ж таки використання коефіцієнта теплосасвоєння істотно полегшує вирішення розрахункового завдання поширення коливань температур усередині будівельних конструкцій. Зокрема, коефіцієнт теплосасвоєння дозволяє розробити прості методики розрахунку загасання і запізнення температурних хвиль.

Поняття про тепло засвоєння, як «активну теплоємність житлових будинків» [105-107], або, як особливий процес теплосприйняття (теплообміну), в умовах передачі через поверхню конструкції періодичних теплових впливів було упроваджено в будівельну теплофізику в першій чверті ХХ ст. у результаті вирішення рівняння теплопровідності при гармонійних (квазістаціонарних) граничних умовах [107-111]. Практично відразу теоретичні рішення про теплосасвоєння огорожень знайшли практичне застосування для оцінки теплостійкості зовнішніх огорожень. Вже у 1930 р. в «Технічних умовах і нормах для теплотехнічного розрахунку конструкцій, що огорожують» наводилися величини коефіцієнта теплостійкості, які стали основою нормування зовнішніх огорожень житлових і суспільних будинків залежно від величини розрахункової температури зовнішнього повітря $t_{\text{зовн.сєр}}$. В основі цих норм використовувались округлені значення коефіцієнтів теплостійкості цегляних стін при грубному опаленні при $M=0,5$ (3.24) і топленні печі один раз на добу. У свій час оцінка теплостійкості огорожень за методикою О.Е. Власова відіграла велику роль в обґрунтуванні можливості широкого застосування нових малотеплопровідних матеріалів. Недостатню величину коефіцієнта теплосасвоєння було компенсовано збільшенням опору теплопередачі огороження за рахунок застосування нових високоефективних теплоізоляційних будівельних матеріалів, що виправдалося також економічно, тому що при цьому капітальні витрати (будівельна вартість огороження) зросли несуттєво, а експлуатаційні витрати (витрати палива на опалення будинків з такими огороженнями) помітно скоротилися. Крім того, своєю теорією О.Е. Власов довів помилковість оцінки теплостійкості огорожень тільки

за величиною їх теплоємності, що дозволило упровадити в будівництво полегшені конструкції зовнішніх огорожень.

Подальший розвиток теорія теплостійкості одержала в роботах А.М. Шкловера [116-119]. Ним було застосовано символічний метод рішення рівняння теплопровідності, що дозволило зробити повний облік зсуву фаз коливань теплового потоку і температури, повністю розрахувати згасання температурних хвиль у будь-яких одномірних огороженнях. Методики А.М. Шкловера згодом одержали широке практичне застосування. З їх допомогою розраховувалися теплоакмуляційні прилади [53, 143-145], що готувалися до серійного випуску. Були отримані численні як загальні, так і спеціальні дані, що дозволили здійснити моделювання поведінки приміщень при різних періодичних впливах теплової природи. Результати теоретичних, експериментальних досліджень, будівельна практика були узагальнені і знайшли своє відображення у дослідженнях [141].

Вперше теорію теплостійкості огорожень стосовно переривчастого опалення було застосовано для вирішення питання про коливання температури повітря у приміщеннях при його грубному опаленні [114]. Подібно до грубого опалення, електротеплоаккумуляційне опалення також характеризується великою добовою нерівномірністю віддачі тепла. Можливості використання гріючої підлоги як базової системи опалення для будинків з високим комфортом в умовах України вперше досліджувалися також за допомогою теорії теплостійкості [60, 61, 147].

При ЕТА-опаленні гріючою підлогою тепловий потік коливається в межах від максимального до мінімального його значення у межах $Q_{\max} = Q_{\pm} \pm a$, що відповідає, максимальній і мінімальній віддачі тепла опалювальним приладом (гріючою підлогою) між моментами закінчення і початку «зарядки». Величина ΔQ може бути виражена через коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі M як частина від середньої витрати тепла, тобто $\Delta Q = MQ$ (чим рівномірніше гріюча підлога буде віддавати тепло, тим меншими будуть величина M і ΔQ ; у інтервалі при $M > 0$, $aq > 0$, і тепловий потік буде стаціонарним. Значення M надано нижче в табл. 3.1 [5, 114, 120]:

Таблиця 3.1

Коефіцієнт нерівномірності для різних систем опалення

Система опалення	Значення M		
	середнє	від	до
Центральне опалення:			
водяне опалення великих будинків з безперервним обслуговуванням*	0,1		
парове опалення або нетеплоємні печі:			
час топлення – 18 годин, перерва – 6 годин.	0,8		
час топлення – 12 годин, перерва – 12 годин.	1,4		
час топлення – 6 годин, перерва – 18 годин.	2,2		
Поквартирне водяне опалення (час топлення – 6 годин)	1,5		
Грубне опалення теплоємними печами при топленні 1 раз на добу:			
товщина стінок печі в 1/2 цегли	0,65	0,4	0,9
товщина стінок печі в 1/4 цегли	0,5	0,7	0,14
російська піч	0,35		
Грубне опалення теплоємними печами при топленні 2 рази на добу:			
товщина стінок печі в 1/2 цегли	0,24	0,13	0,36
товщина стінок печі в 1/4 цегли	0,385	0,23	0,56
російська піч	0,13		

* При топленні котла з перервами величина M буде залежати від теплоємності системи опалення і визначатися відношенням кількості тепла, акумульованого системою, до величини середньої годинної витрати тепла будинком.

У [148] наведено деякі результати обчислення M , отримані при чисельному моделюванні. При оцінці M для ЕКСО доводиться користуватися інтерпольованими даними, виходячи з інтуїтивного розуміння процесів при ЕТА і грубному опаленнях. Судячи з того, що теорія теплостійкості не розвивається за кордоном, визначення M для грюючих підлог різних конструкцій при ЕТА-опаленні має входити до кола завдань, розв'язуваних при розробці вітчизняних нормативних матеріалів по ЕКСО.

За інших постійних умов, довільні періодичні коливання величини теплового потоку, що проходить через грюючу підлогу, викликають коливання температури на внутрішній поверхні огороження. При масивних огороженнях ці коливання будуть також близькі до гармонійного (у разі вихідних гармонійних будуть повністю гармонійними) з тим же періодом z , але запізнюватимуться в часі.

Температура внутрішньої поверхні огороження коливається в межах від максимального значення її $\tau_{\max} = \tau_b + A_i$ до мінімального значення її $\tau_{\min} = \tau_b - A_i$. Величина A_i залежить від амплітуди коливань теплового потоку A_Q , періоду цього коливання z і теплотехнічних властивостей самого огороження.

Коефіцієнтом теплосвоєння внутрішньої поверхні огороження S_b є відношення величини амплітуди коливання теплового потоку A_Q до величини амплітуди коливання температури на внутрішній поверхні огороження A_i . $S_b = A_Q/A_i = f = (\lambda, c, \rho, z, \delta_i) \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, (у цьому випадку δ_i позначає сукупність товщини окремих шарів, а також порядок їхнього проходження) і визначається як максимальна зміна амплітуди коливання теплового потоку, який сприймається внутрішньою поверхнею огороження, при амплітуді коливання її температури, що дорівнює 1К. Чим більшою буде величина коефіцієнта теплосвоєння внутрішньої поверхні огороження S_b при одній і тій же величині A_Q , тим меншою буде амплітуда коливання температури A_i на його внутрішній поверхні. У разі, якщо огороження складається з однорідного матеріалу і має досить велику товщину (більшу за товщину шару різких коливань), теплосвоєння його внутрішньої поверхні при заданому періоді коливань температури буде залежати тільки від властивостей цього матеріалу. У цьому випадку поняття теплосвоєння редукується до коефіцієнта теплосвоєння матеріалу s_b і стає своєрідною фізичною характеристикою матеріалу огороження, що наводиться в довідкових даних про показники будівельних матеріалів.

Інакше кажучи, коефіцієнт теплосвоєння *матеріалу* характеризує здатність матеріалу більш-менш інтенсивно сприймати тепло при коливанні температури на його поверхні:

$$s = \sqrt{\frac{2\pi\lambda\rho c}{z}}. \quad (3.42)$$

На межі, коли встановиться стаціонарний тепловий потік, $z=0$, тобто за відсутності коливань теплового потоку, $s \rightarrow \infty$. Зрозуміло, що в цьому випадку $A_i \rightarrow 0$, тобто коливання температури на внутрішній поверхні огороження будуть відсутні.

Показники коефіцієнтів теплосвоєння будівельних матеріалів для періоду $z=24$ години наведено в роботі [141], з якої видно, що найбільше теплосвоєння мають важкі теплопровідні матеріали: чавун $s_{24} = 112,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; мармур, граніт $s_{24} = 22,86 - 25,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; бетон $17,88 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а найменше – легкі малотеплопровідні матеріали: плити зі скляного штапельного волокна на синтетичній основі $s_{24} = 0,50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; пенополістирол ($\rho = 100 \text{ кг}/\text{м}^3$) $s_{24} = 0,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; спучений вермикуліт $s_{24} = 1,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Величиною, за допомогою якої можна характеризувати теплоаккумуляційні властивості гріючої підлоги, може слугувати товщина так званого ШПК. Раніше його визначали як шар, що безпосередньо прилягає до поверхні огороження, на іншій поверхні якого амплітуда коливання температури становить близько половини амплітуди коливання температури на поверхні огороження $A_0/2$ [120]. У наш час прийнято під товщиною ШПК, або глибиною активного шару, розуміти поперечний розмір шару, у якому вплив теплотехнічних властивостей на кількість поглиненого тепла становить 95 % загального теплового впливу¹. На величину коефіцієнта теплозасвоєння внутрішньої поверхні огороження s_v впливають тільки теплотехнічні властивості матеріалів огороження, розташованих у його шарі різких коливань. Уся ж інша частина огороження, що лежить за межами шару різких коливань, на коефіцієнт теплозасвоєння його внутрішньої поверхні практично не впливає.

Шар різких температурних коливань у будівельників зазвичай пов'язується з поняттям активної теплоємності конструкцій, тобто акумуляції ними тепла. Із цього поняття закономірно випливає обґрунтоване уявлення про практично однакову теплостійкість товстої конструкції, виготовленої з матеріалу з певними властивостями, і конструкції, у якій з такого ж матеріалу виготовлено лише внутрішню частину на товщину шару різких коливань [123]².

У товщі гріючої підлоги утвориться температурна хвиля, що згасає з наближенням до лицьової поверхні. Для характеристики кількості хвиль, що розташовуються в товщі підлоги, може слугувати безрозмірна величина «показника теплової інерції» D , що визначається як сума «показників теплової інерції» окремих шарів $D=R_1s_1+R_2s_2+ \dots R_1s_1+\dots R_n s_n$, де $D_i=R_i s_i$ – показник теплової інерції для однорідного огороження, отриманий як добуток термічного опору шару різких коливань R_i на коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу огороження s_i і залежний від періоду коливань у підлозі; при $D_{24}=8,5$ у шарі розташовується біля однієї цілої температурної хвилі; при $D_{24}<8,5$ в огороженні розташовується неповна хвиля, а при $D_{24}>8,5$ – більше однієї температурної хвилі. Зі збільшенням частоти коливань теплового потоку показник теплової інерції збільшується, і згасання температурних коливань у товщі огороження відбувається швидше. У ШПК розташовується близько 1/8 довжини температурної хвилі, а «показник теплової інерції» дорівнює одиниці, тобто $D=R \cdot s=1$.

Для однорідного огороження товщина ШПК $\partial=\lambda/s$

Подібно до «показника теплової інерції» огороження D , товщина ШПК ∂ залежить від частоти коливання теплового потоку ω , зменшуючись зі збільшенням частоти

¹ В роботі [141] у якості числового показника критерію теплової інерції, від значення якого залежить вибір виду формули обчислення показника теплозасвоєння, прийнята величина 0,5.

² Теорія теплостійкості не використовується на Заході. Там у будівельній практиці для оцінки реакції конструкцій замість теплового навантаження прийняте відношення δ^2/a_1 , де індексом 1 визначені товщина і температуропровідність верхнього шару. Існувала критика теорії теплостійкості і в СРСР. Зокрема, А.В. Ликов [122], у якості величини, що характеризує акумуляцію теплоти, рекомендував замість коефіцієнта теплозасвоєння $s_v = \sqrt{\lambda c \rho \omega}$, використовувати прийнятий у загальній теплофізиці коефіцієнт $\xi = \sqrt{a/\omega}$. Однак було показано, що коефіцієнт $\xi = \sqrt{a/\omega}$, що має розмірність довжини, є не що інше, як товщина шару різких коливань, $\partial = \lambda/s$, тобто величина обернено пропорційна коефіцієнту теплозасвоєння (коефіцієнтом пропорційності є коефіцієнт теплопровідності матеріалу) [123].

цього періоду і збільшуючись із її зменшенням. Доцільно нагадати, що ШРК цегельної стіни в $2^{1/2}$ цегли займає тільки 13 % її товщини при $z=24$ год. і 9,5% при $z=12$ год.; маса стіни, що залишилася за межами ШРК, на коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні стіни не впливає.

Товщина ШРК визначає алгоритм обчислення величини коефіцієнта теплосасвоєння внутрішньої поверхні гріючої підлоги за одним із шести варіантів [112 – 119]. Формули будуть правильними тільки за умови рівності амплітуд коливання температури поверхні шару A , на всіх його ділянках. З огляду на наявність інших припущень, нижченаведеними формулами можна користуватися як наближеними значеннями величини коефіцієнта теплосасвоєння матеріалів шару в практичних розрахунках. Є можливість одержати більш точні результати, якщо скористатися сучасними обчислювальними пакетами.

Розглянемо деякі варіанти розташування ШРК.

1. ШРК повністю розташовується в першому шарі гріючої підлоги. Це буде в тому випадку, коли «показник теплової інерції» першого шару $D_1=R_1s_1 \geq 1$. Якщо $D_1=1$, то це значить, що межа ШРК збігається з межею між першим і другим шарами огороження. При $D_1>1$ ШРК займає тільки частину першого шару огороження. Тому в цих випадках на теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження матеріали наступних шарів не впливають, теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження буде дорівнювати коефіцієнту теплосасвоєння матеріалу першого шару, тобто $S_B=s_1$.

2. ШРК розташовується у двох перших шарах огороження, тобто межа його перебуває у другому шарі огороження. Це буде за умови, якщо перший шар має $D_1<1$, але сума величин D першого та другого шарів $D_1+D_2 \geq 1$. У цьому випадку на величину S_B впливає також і теплосасвоєння матеріалу другого шару огороження, а величина S_B визначається за формулою:

$$S_B = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{1 + R_1 s_2}, \quad (3.43)$$

де R_1 – термічний опір першого шару; s_1 – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу першого шару; s_2 – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу другого шару.

3. ШРК розташовується в декількох шарах огороження, тобто границя його перебуває в якомусь n -ому шарі огороження. Це буде в тому випадку, якщо сума величин D_{n-1} перших шарів огороження буде меншою за одиницю $D_1+D_2+D_3+\dots+D_{n-1} < 1$, але $D_1+D_2+D_3+\dots+D_{n-1}+D_n > 1$, тобто n шарів дають показник теплової інерції, рівної або більшої за одиницю. У цьому разі визначення величини теплосасвоєння починається із внутрішньої поверхні $n-1$ шару за формулою:

$$S_{n-1} = \frac{R_{n-1} s_{n-1}^2 + s_n}{1 + R_{n-1} s_n}. \quad (3.43, a)$$

Потім визначається теплосасвоєння внутрішньої поверхні $n-2$ шару за формулою:

$$S_{n-2} = \frac{R_{n-2} s_{n-2}^2 + s_{n-1}}{1 + R_{n-2} s_{n-1}}, \quad (3.43, б)$$

де s_{n-1} – теплосасвоєння внутрішньої поверхні $n-1$ -го шару за формулою (3.43, а).

Потім у такому ж порядку переходимо до визначення величини коефіцієнта теплосасвоєння $n-3$ -го шару s_{n-3} і т.д. доти, доки не дійдемо до першого шару огороження, теплосасвоєння якого і буде дорівнювати теплосасвоєнню внутрішньої поверхні огороження і визначиться за формулою (3.43):

$$S_B = S_1 = R_1 s_1^2 + s_2 / (1 + R_1 s_2), \quad (3.43, в)$$

де s_2 – теплосасвоєння внутрішньої поверхні другого шару, визначене попередньо (3.43, б).

4. ШРК виходить за межі огороження, тобто межа його перебуває поза огороженням. Це буде за умови, якщо сума величин D всіх шарів огороження вийде меншою за одиницю.

У цьому випадку спочатку визначають теплосасвоєння внутрішньої поверхні останнього n шару огороження (зовнішнього шару) за формулою:

$$S_n = \frac{R_n s_n^2 + \alpha_n}{1 + R_n \alpha_n}, \quad (3.43, \text{г})$$

де R_n – термічний опір останнього шару огороження; s_n – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу цього шару; α_n – коефіцієнт тепловіддачі огороження.

Порядок подальшого розрахунку є аналогічним до розрахунку у третьому випадку.

5. Якщо однорідність матеріалу шару порушено, тобто шар складається з декількох матеріалів, розташованих на поверхні шару, причому кожен матеріал має товщину, що дорівнює товщині шару, то середній коефіцієнт теплосасвоєння матеріалів шару $s_{\text{сєр}}$ визначається за формулою:

$$s_{\text{сєр}} = \frac{s_1 F_1 + s_{11} F_{11} + \dots + s_n F_n}{F_1 + F_{11} + \dots + F_n}, \quad (3.44)$$

де s , s_{11} – коефіцієнти теплосасвоєння окремих матеріалів шару; F_1 , F_{11} – площі, які займають окремі матеріали на поверхні шару; n – число матеріалів, що входять до складу шару. Середній коефіцієнт теплосасвоєння матеріалів шару $s_{\text{сєр}}$ застосовується як при визначенні величини S_b , так і при визначенні величини D шару.

6. При визначенні теплосасвоєння повітряних прошарків для практичних розрахунків береться коефіцієнт теплосасвоєння повітря $s_b=0$ незалежно від періоду коливання теплового потоку.

Залежність теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження від періоду коливання теплового потоку вираховується тим, що, як для визначення величин D шарів (для з'ясування розташування ШРК), так і для визначення величин теплосасвоєння окремих шарів, беруться значення коефіцієнтів теплосасвоєння матеріалів s , що відповідають тому або іншому періоду z . Порядок розрахунку залишається незмінним.

Теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження буде залежати від порядку розташування шарів у ньому. Якщо всередині огороження є матеріали, що мають велике значення коефіцієнта теплосасвоєння s_b , то підвищується теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження S_b і, навпаки, якщо всередині огороження є матеріали з малим s , то знижується і величина S_b .

Теплостійкість. Ще одним умовним поняттям, що дозволяє відобразити в узагальненому вигляді «активну теплоємність житлових будинків» [105], або «активну теплоємність конструкцій» [123], є, крім теплосасвоєння, поняття «теплостійкості». Доцільність його введення впливає із принципової нерівномірності тепловиділення при ЕТА-обігріву. Ця нерівномірність є причиною коливань температури повітря у приміщенні та коливань температури на внутрішніх поверхнях зовнішніх огорожень. Допустимими межами добового коливання температури повітря усередині житлового приміщення прийнято вважати $A_t = \pm 2,5^\circ\text{C}$ [76]. Встановлено, що при цьому величини амплітуд коливання температури повітря і температури внутрішніх поверхонь огорожень залежать не тільки від властивостей опалювального приладу, але також від самого приміщення і теплотехнічних якостей його зовнішніх і внутрішніх огорожень.

Характеристикою цього впливу є теплостійкість зовнішнього огороження, під якою розуміється його здатність давати більше або менше зниження температури на внутрішній поверхні при коливанні величини теплового потоку, що проходить через огороження. Чим меншим, при одній і тій же величині коливання теплового потоку, буде зниження температури на внутрішній поверхні огороження, тим воно буде більш теплостійким і, навпаки, чим більшим буде зниження температури на внутрішній поверхні огороження, тим воно буде менш теплотривким. Аналогічно, під теплотривкістю приміщення розуміється здатність його впливати на коливання температури повітря убік їхнього зменшення при коливаннях теплового потоку, що віддається опалювальним приладом (у розглянутому випадку – гриючою підлогою). У такий спосіб санітарно-гігієнічний стан приміщення багато в чому визначається його теплостійкістю. Необхідно отримати кількісні вираження цього поняття.

Теплостійкість огорожень. Для кількісної характеристики теплостійкості зовнішніх огорожень ще в [107, 109] вводилося поняття «коефіцієнта теплостійкості» огороження φ як відношення різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря $t_b - t_s$ до максимального зниження температури внутрішньої поверхні огороження відносно температури внутрішнього повітря $t_b - \tau_{\min}$

$$\varphi = \frac{t_b - t_n}{t_b - \tau_{\min}}, \quad (3.45)$$

де τ_{\min} – мінімальна температура внутрішньої поверхні огороження.

Для обчислення величини φ О.Е. Власовим було запропоновано таку формулу:

$$\varphi = \frac{R_0}{R_b + M/S_b}, \quad (3.46)$$

де R_0 – опір теплопередачі огороження; R_b – опір теплосприйняттю ($R_b = 1/\alpha_b$, де α_b – коефіцієнт теплосприйняття або в цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі від поверхні огороження до повітря приміщення); S_b – коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження.

Величина φ залежить від теплотехнічних властивостей огороження, а також від виду системи опалення та режимів її експлуатації. Формула демонструє, що теплостійкість огороження може бути підвищена (збільшене значення φ) за рахунок:

- збільшення опору теплопередачі огороження;
- зменшення величини M , тобто перехід до раціональних режимів опалення з більш рівномірною віддачею тепла;
- збільшення коефіцієнта теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження S_b .

Останнє може бути досягнуто за рахунок розташування всередині огороження матеріалів, що мають більше значення коефіцієнта теплосасвоєння s , або за рахунок зменшення періоду коливання теплового потоку z , що віддається опалювальним приладом.

Коефіцієнт теплостійкості φ служить зручною характеристикою для порівняння теплостійкості окремих огорожень. Однак формула О.Е. Власова (3.46) дозволяє розглядати теплостійкість зовнішніх огорожень тільки для об'єму, обмеженого лише однією даною конструкцією, ізолюваною від усього приміщення та його внутрішніх конструкцій, що обмежує її застосування. При цьому коефіцієнт теплостійкості не дає відповіді на питання про коливання температури повітря в приміщенні. Крім того, ця формула дає занижені значення мінімальної температури внутрішньої поверхні огороження, отже, завищені значення амплітуд коливання температури на внутрішній поверхні огороження.

Теплостійкість приміщень. Згодом теорію теплостійкості було застосовано до аналізу теплостійкості приміщень [114]. Запропонована в [114] формула (без виправлень) для обчислення амплітуди коливань температури повітря в опалювальному приміщенні має вигляд:

$$A = \frac{MQ_z}{\sum B_i F_b}, \quad (3.47)$$

де додано до попередніх позначень Q_z – середня годинна тепловіддача опалювального приладу, що відповідає тепловтратам даного приміщення; F_b – площа поверхні огорожень (за внутрішнім обмірюванням); B_i – коефіцієнт тепловбирання поверхні огороження.

Формулу (3.47) отримано без урахування зсуву фаз між коливаннями теплового потоку і температури повітря, теплового потоку і температур поверхонь, що огорожують приміщення. Урахування зсуву фаз в [114] пропонувалося здійснити через емпіричний поправочний коефіцієнт, що дорівнює 1,08. У цій формулі не враховувалися також зазначені нижче фактори:

1. *Негармонійність кривої тепловіддачі опалювального приладу.* Дослідження впливу негармонійності тепловіддачі, проведене для теплоємних печей, показало, що поправочний коефіцієнт до величини A , на негармонійність тепловіддачі становить 0,95. Для нетеплоємних печей і парового опалення вплив негармонійності буде значно більшим, ніж для теплоємних печей. У цих випадках вплив негармонійності враховується коефіцієнтами нерівномірності тепловіддачі M , наведеними у табл. 3.1.

2. *Випромінювання опалювального приладу.* До формули для Q_z входить усе тепло, що виділяється опалювальним приладом і передається як конвекцією, так і випромінюванням. На величину A , безпосередньо впливає тільки тепло, що передається конвекцією до повітря приміщення. Променеве тепло, що становить близько 50 % усього тепла, що віддається опалювальним приладом, передається безпосередньо поверхням, що обмежують дане приміщення, і прямого впливу на коливання температури повітря у приміщенні не має. Проведене в [114] дослідження впливу випромінювання опалювального приладу на величину A , показало, що воно може враховуватися введенням поправочного коефіцієнта 0,8.

3. *«Меблювання» приміщення.* Меблі житлового приміщення впливають на його тепловбирання, однак цей вплив може бути як позитивним, так і негативним. З одного боку, поверхня меблів додатково поглинає деяку кількість тепла. З іншого боку, меблі, розставлені біля поверхонь приміщення, виключають ці поверхні із загального тепловбирання приміщення, особливо це стосується м'яких меблів, коефіцієнт тепловбирання яких може виявитися значно меншим за коефіцієнт тепловбирання поверхонь приміщення, що загороджуються ними. Отже, для житлових приміщень вплив «меблювання» можна не враховувати.

4. *Побутове тепло.* Крім тепла, що віддає приміщенню опалення, у житлових приміщеннях має місце ще виділення так званого побутового тепла, тобто тепла, що виділяється людьми, освітленням, при готуванні їжі, тощо. За даними [114], кількість побутового тепла, що виділяється в житлових приміщеннях, може бути визначено $q_6 = 5,80 \text{ Вт/м}^3$. Однак виділення побутового тепла не є рівномірним протягом доби; у денні години при відсутності в приміщенні людей виділення побутового тепла буде відсутнє, увечері, навпаки, воно може досягнути максимальних показників. Тому науковці [4,5, 120] рекомендують побутове тепло при обчисленнях не враховувати.

В остаточному вигляді формула (3.47) (з виправленнями) для обчислення амплітуди коливання температури повітря в опалювальному приміщенні набуває вигляду:

$$A_T = \frac{0,7MQ_z}{\sum B_i F_g} \quad (3.48)$$

При розрахунку A_T за формулою (3.48) для вікон і зашкленних зовнішніх дверей варто брати величину $B = k_T/1,08$, де k_T – коефіцієнт теплопередачі вікна або дверей.

Для внутрішніх конструкцій величина S_B визначається як для зовнішніх огорожень, вважаючи, що в середині огороження $s_B = 0$. Для несиметричних огорожень їх серединою вважається половина показника теплової інерції всього огороження.

При зарядці гріючої підлоги двічі на добу та при низьких температурах зовнішнього повітря величина A_T буде завжди меншою, ніж при зарядці один раз на добу і при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в $2/3$ від максимальної, оскільки тепловтрати зростають меншою мірою, ніж зменшується величина M , і збільшуються значення S_B поверхонь приміщення. Тому перевірка теплостійкості приміщень проводиться при найсприятливіших умовах.

Питання про розрахунок згасання температурних коливань повітря в зовнішньому огороженні як найважливішій характеристиці теплотехнічного режиму огорожень повністю було вирішено в [115 – 119]. Використавши гіперболічні функції комплексного змінного, А.М. Шкловер отримав вирішення питання про величину згасання температурних коливань в огороженні та в окремих його шарах, а також про зсув фаз коливань в окремих шарах. Проводячи весь розрахунок у комплексних величинах, А.М. Шкловер отримав величину згасання коливань як модуль комплексного числа, а зсув фаз – як його аргумент [116 – 118]. Для практичних розрахунків А.М. Шкловером запропоновано наступну формулу, що дає величину повного згасання температурних коливань зовнішнього повітря в товщі будь-якого багат шарового огороження [119]:

$$v = 0,9 \exp\left(\sum D / \sqrt{2}\right) \frac{(s_1 + \alpha_B)(s_2 + S_1)(s_3 + S_2) \dots (s_n + S_{n-1}) \cdot (\alpha_3 + S_n)}{(s_1 + S_1)(s_2 + S_2) \dots (s_n + S_n) \cdot \alpha_3} \quad (3.49)$$

де v – число, що показує, у скільки разів амплітуда коливання температури внутрішньої поверхні менша за амплітуду коливання температури зовнішнього повітря; $\sum D$ – показник теплової інерції всього огороження; s_B – коефіцієнти теплозасвоєння матеріалів окремих шарів; S – коефіцієнти теплозасвоєння зовнішніх поверхонь окремих шарів огороження; α_B – коефіцієнт теплопереходу у внутрішній поверхні; α_3 – коефіцієнт теплопереходу в зовнішній поверхні.

При розрахунку за останньою формулою нумерація шарів ведеться від внутрішньої поверхні до зовнішньої (проти руху теплової хвилі), тобто першим шаром є шар, що прилягає до внутрішньої поверхні огороження, а n -м шаром – шар, що прилягає до зовнішньої поверхні. Коефіцієнти теплозасвоєння зовнішніх поверхонь шарів визначаються послідовно, починаючи з першого шару, до того ж, коли D якого-небудь шару виявиться більшим за одиницю, то для нього $S = s$.

Останній множник формули дає величину згасання при переході хвилі від зовнішнього середовища до зовнішньої поверхні підлоги. Для повітряного прошарку береться $s = 0$. Подальший розрахунок загасання температурних коливань здійснюють за цією ж формулою.

Для обчислення величини згасань коливань в окремих шарах відомі такі формули:

$$\text{для 1-го шару } v_1 = 0,9 \exp\left(\sum D / \sqrt{2}\right) \frac{(s_1 + \alpha_B)}{(s_1 + S_1)}; \quad (3.50)$$

$$\text{для 2-го шару } v_2 = 0,9 \exp\left(\sum D / \sqrt{2}\right) \frac{(s_2 + S_1)}{(s_2 + S_2)}; \quad (3.51)$$

$$\text{для } n\text{-го останнього шару } v_n = 0,9 \exp\left(\sum D / \sqrt{2}\right) \frac{(s_n + S_{n-1})}{(s_n + S_n)}; \quad (3.52)$$

$$\text{для зовнішньої поверхні } v_3 = 0,9 \exp\left(\sum D / \sqrt{2}\right) \frac{(\alpha_3 + S_n)}{\alpha_3}. \quad (3.53)$$

$$\text{Повне згасання у всьому огороженні буде: } v = v_1 \cdot v_2 \cdot \dots \cdot v_n \cdot v_3. \quad (3.54)$$

У випадку обмеження коливань за амплітудою температури повітря усередині приміщення (з боку лицьової поверхні) $A_t^{\text{ПП}}$, маючи v , амплітуду коливання температури на внутрішній поверхні гріючої підлоги $A_t^{\text{каб}}$ (тобто температура в площині закладення гріючого кабелю):

$$A_t^{\text{каб}} = A_t^{\text{ПП}} / v. \quad (3.55)$$

Запізнювання температурних коливань на внутрішній поверхні огороження проти коливань зовнішньої температури (зсуву фаз коливань) ξ визначається за формулою [119]:

$$\xi = \frac{1}{15} \left(40,5 \sum D - \arctg \frac{\alpha_B}{\alpha_B + S_{\text{в.п.}} \sqrt{2}} + \arctg \frac{S_{\text{з.п.}}}{S_{\text{з.п.}} + \alpha_3 \sqrt{2}} \right), \text{ год.}, \quad (3.56)$$

де $S_{\text{в.п.}}$ – коефіцієнт теплозасвоєння внутрішньої поверхні огороження при руху хвилі зсередини назовні; $S_{\text{з.п.}}$ – коефіцієнт теплозасвоєння зовнішньої поверхні огороження при руху хвилі ззовні усередину.

3.3.2. Теплозасвоєння гріючої підлоги

При розрахунках ЕТА-обігріву велике значення має не тільки теплостійкість приміщення та конструкцій, що огорожують, у тому числі гріючої підлоги, але і теплозасвоєння лицьової поверхні останньої. Однак, якщо для підтримки гомеостатичного теплового стану приміщення потрібно, щоб коефіцієнт теплостійкості будівельних конструкцій був якнайбільшим, то для забезпечення фізіологічного комфорту при контактному теплообміні голої стопи з підлогою, навпаки, необхідною є мінімізація коефіцієнта теплосприйняття лицьової поверхні підлоги.

Значення теплозасвоєння матеріалу для проектування гріючої підлоги можна побачити з наведеного прикладу. Нехай ми маємо дві конструкції підлоги міжповерхового перекриття, що розділяє приміщення з однаковими температурами: в одній конструкції підлога дерев'яна, із соснових дощок ($s_{24}=4,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$), а в іншій – бетонна ($s_{24}=13,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$). Хоча температура на поверхнях підлоги як дерев'яної, так і бетонної, буде однакова, фізіологічні реакції на них босі ноги будуть різними. Дерев'яна підлога буде відчуватися в цілому як «підлога тепла», а бетонна – як «підлога холодна». Відбувається це тому, що при контакті голої стопи ($t=32 \text{ }^\circ\text{C}$) з поверхнею підлоги ($t=18 \text{ }^\circ\text{C}$) виникає тепловий потік від стопи до підлоги через температурний напор $\Delta t=32 - 18=14 \text{ }^\circ\text{C}$. У першому випадку внаслідок невеликого показника теплозасвоєння деревини від ноги буде забирати-

ся менша кількість тепла, що і дає відчуття «теплої» підлоги. У другому випадку, через високий показник теплозасвоєння бетону від ноги буде забиратися утричі більша кількість тепла, що, внаслідок того, що організм людини більш чутливий до інтенсивності віддачі тепла, ніж до температури навколишнього середовища, у результаті дасть відчуття «холодної» підлоги. Аналогічною є реакція стопи на високу температуру лицьової поверхні підлоги. Надмірне підвищення температури підлоги викликає несприятливі, аж до хворобливих, відчуття при матеріалах із високим коефіцієнтом теплозасвоєння. Дані про реакцію стопи на різні матеріали при контактному теплообміні наведено в табл. 3.2.

У табл. 3.2, що ґрунтується на розрахунках з теорії теплостійкості і відомостях Х. Фангера [125], наведено впорядковані за коефіцієнтом теплозасвоєння дані, у тому числі комфортні і небезпечні діапазони температури, для деяких матеріалів, що використовуються при покритті та улаштуванні підлог. Відомо, що чим нижчий коефіцієнт теплозасвоєння, тим вищий діапазон комфортних температур поверхні тіла. Так, для пробки цей діапазон коливається від 5 до 42 °С, тоді як для сталі він обмежується 29 і 32 °С. За Х. Фангером, фізіологічні границі температурного комфорту для бетону дорівнюють 27 – 34 °С, є помітно вужчими, ніж для сосни (властивості деревини впоперек волокон), для якої границі ці показники дорівнюють 17-39 °С. Крім того, вони знаходяться в області відносно більш «високої» температури. Відповідні температурні напори (температуру стопи прийнято рівною 32 °С) дорівнюють 5 і 15 °С для нижньої («холодної») і 2 і 7 °С для верхньої («гарячої») границь. У табл. 3.3 показано відношення значення амплітуди коливання інтенсивності теплового потоку $A_Q = s_{24} A_T = s_{24} \Delta t$, що викликає відчуття теплового дискомфорту у випадку охолодження голої стопи при її контакті з підлогою (стовпчик 5), або нагрівання від підлоги (стовпчик 7) до величини амплітуди коливання температури на внутрішній поверхні огороження A , з урахуванням коефіцієнтів теплозасвоєння відповідного матеріалу підлоги s_{24} .

Встановлена СНиПом 2.04. 05-91*У гранична температура поверхні підлоги 26 °С у випадку використання бетонної підлоги без покриття є нижчою ніж мінімальне значення комфортного діапазону температури. У системах ЕКСО [76] допускається брати температуру бетонної, керамічної та кам'яної підлоги до 28 °С.

При проектуванні ЕКСО необхідно враховувати існування коридору комфортних умов при контактному теплообміні. Теорія теплостійкості дозволяє розрахувати раціональні конструкції гріючої підлоги, що є як теплотривкими (тобто тепломасивними, «вигідними» з боку «інтересів» ЕТА-технології опалення гріючою підлогою), так і одночасно характеризуються низьким теплозасвоєнням лицьової поверхні (що забезпечує комфортні умови контакту стопи з підлогою). Покриття поверхні підлоги килимом різко знижує його коефіцієнт теплозасвоєння, що відчувається як підвищення його температури, хоча насправді цього може і не бути.

У методиці визначення показника теплозасвоєння підлоги треба враховувати, що процес контактного теплообміну стопи з підлогою не є гармонійним, а тривалість безперервного контактного теплообміну рідко перевищує 10 – 15 хв. Унаслідок цього розрахункова товщина активної частини шару, яку включено до теплообміну, значно перевищує її дійсну величину (в 17 разів, якщо порівняти дані, отримані у найбільш не вигідних умовах, тобто при періоді $z=24$ год. та оцінки реальної тривалості контакту стоп людини з підлогою). Через короткочасність періодів контакту і, як наслідок, дуже малої товщини ШРК, головне значення в системі гріючої підлоги буде належати коефіцієнту теплозасвоєння матеріалу, що безпосередньо прилягає до поверхні підлоги.

Упорядковані за коефіцієнтом теплосасвоєння s_{24} відповідні теплофізичні властивості, комфортні і болючі границі температур, а також деякі розрахункові дані для різних покриттів підлоги

Матеріали	щільності	Коефіцієнти						Товщина шару різких коливань		Границі температур, °C (за X. Фангером)				
		теплопровідності	теплосності	температуро-провідності	теплосасвоєння	теплоакуюлюцій	контакту за X. Фангером							
		ρ кг/м ³	λ Вт/(м·К)	C кДж/(кг·К)	$a \cdot 1000$ м ² /с	s_{24} Вт/(м ² ·К)	b кДж/(м ² ·с ^{0,5} ·К)		$\partial = \lambda / s_{24}$ м	$\partial = \lambda / s_{нрив}$ м	комфортні		болючі	
І	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1. Стіродур	33,0	0,035	0,340	0,003119	0,17	0,63		0,207	0,0117					
2. Пробка (типу <i>Deckwall</i>)	150	0,045	2	0,000150	0,99	3,67	2,3	0,045	0,0026	5	42	-140	150	
3. Пінобетон	360	0,095	0,800	0,000330	1,41	5,23		0,067	0,0038					
4. Сосна упоперек волокон	550	0,15	2,7	0,000101	4,02	14,92	4,7	0,037	0,0021	17	39	-53	84	
5. Лінолеум	1150	0,23	1	0,000200	4,39	16,26	10,5	0,052	0,0030	24	35	-12	67	
6. Гума тверда	1200	0,16	1,4	0,000095	4,42	16,40		0,036	0,0020					
7. Дуб упоперек волокон	825	0,2	2,4	0,000101	5,37	19,90	8	0,037	0,0021	22	35	-20	74	
8. Гіпсокартон	1250	0,430	0,880	0,000391	5,86	21,75		0,073	0,0041					
9. Сосна вздовж волокон	550	0,38	2,7	0,000256	6,41	23,75		0,059	0,0033					
10. Дуб уздовж волокон	825	0,39	2,4	0,000197	7,49	27,79		0,052	0,0029					
11. Бетон	2200	1,500	0,840	0,000812	14,20	52,6	29	0,106	0,0060	27	34	4	54	
12. Сталь	7800	50	0,46	0,013935	114,2	423,6	209	0,438	0,0247	29	32	14	45	

Примітка. Зведений коефіцієнт теплосасвоєння s_{24} і відповідна йому глибина активного шару (товщина шару різких коливань $\partial = \lambda / s_{24}$) обчислювалися за формулою: $s_{24} = 0,31 \cdot s_{0,03} + 0,41 \cdot s_{0,1} + 0,28 \cdot s_{0,2}$, у якій періоди контакту ніг людини з підлогою (2,6 і 12 хв.) і вагові коефіцієнти цих періодів (0,31; 0,41; 0,28) було взято з методики оцінки зведеного коефіцієнта теплової активності підлоги [125], а коефіцієнти теплосасвоєння було обчислено за методикою, заснованою на теорії теплостійкості [114, 123].

Це видно з того, що дерев'яна підлога легко стає холодною після нанесення на її поверхню тонкого шару олійної фарби з попередньою шпаклівкою. Ці шари створюють ефект холодної підлоги. Таким чином, для мінімізації віддачі тепла від ноги людини підлозі необхідно знизити величину коефіцієнта теплосвоєння матеріалу, що безпосередньо прилягає до його поверхні. Реперними матеріалами може слугувати підлога (паркет) із сосни з $s_{24}=4,19$, дуба з $s_{24}=5,82$ Вт/(м²·К). Отже, виходячи з досвіду експлуатації житлових приміщень, необхідно, щоб для підлоги житлових і громадських приміщень виконувалася вимога неперевищення коефіцієнта теплосвоєння матеріалу, що безпосередньо прилягає до поверхні підлоги, величини $s_{24}=5,8$ Вт/(м²·К). Для ЕКСО ця вимога є обов'язковою, бо підлога має відповідати санітарно-гігієнічним нормам у вимкненому стані або у мінімальних теплових режимах.

Таблиця 3.3

**Розрахункові величини амплітуди коливання
теплого потоку, яким відповідають реакції «холодно»
і «гаряче» при контакті голої стопи з підлогою**

Матеріал «товстої» і однорідної підлоги	Теплостійкість і комфортні температури		Реакція на стан підлоги			
			«холодно»		«гаряче»	
	s_{24} , Вт/(м ² ·К)	діапазон температури, К	Δt , К	A_Q , Вт/м ²	Δt , К	A_Q , Вт/м ²
Бетон	13,04	27...34	5	-65,2	2	+26,1
Сосна	4,19	17...39	15	-62,9	7	+29,3

Примітка. Знак ± при значеннях теплового потоку означає його напрямок.

Зі сказаного випливає, що прийнятий у СНиП II-3-79** у якості параметра, що характеризує тепловбирання підлоги при контактному теплообміні, показник теплосвоєння матеріалу s_{24} поверхні підлоги як критерій теплотехнічної оцінки багат шарових підлог не відповідає ні фізичним, ні гігієнічним нормам [149]. Узяті в нормах періоди коливання теплових хвиль $\tau=24$ год. (навіть, $\tau=6$ год.), чому відповідає показник теплосвоєння $Y_{\tau}=2s_{24}$ за [141], недостатньо узгоджуються з дійсною тривалістю безперервного контакту з підлогою. Теплотехнічну оцінку підлоги при контактному теплообміні необхідно засновувати на припущеннях, що більш реально характеризують властивість акумуляції тепла матеріалом при будь-яких теплових впливах. Із зазначених причин методика теплотехнічного розрахунку підлоги житлових і промислових будинків за величиною коефіцієнта $s_{\tau=24}$, викладена в [141], призводить у багатьох випадках до застосування конструкцій підлог або з незадовільними експлуатаційними якостями, що не відповідають гігієнічним вимогам, або до необґрунтованого завищення товщини шарів, що підстиляють і утеплюють.

Таким чином, для випадку використання ЕКСО, вбудованих у підлогу, є підстави для розробки методики їх спеціального теплотехнічного розрахунку. Він необхідний для створення раціональних конструкцій, що відповідають експлуатаційним вимогам ЕКСО та вимогам їх економної доцільності. Наявність такої методики дозволить також розраховувати широко застосовувані в цей час для настилу підлоги різні покриття з натуральних і синтетичних матеріалів, та, незважаючи на позитивний багаторічний до-

свід експлуатації в житлових і громадських приміщеннях, також оптимізувати підлогу, виготовлену з дерев'яних дощок або паркету.

Для оцінки теплотехнічних властивостей підлоги запропоновано використати величину зведеного коефіцієнта теплової активності підлоги $B_{\text{п}}$, що розраховується за формулою [150]:

$$B_{\text{п}} = 0,31B_2 + 0,41B_6 + 0,28B_{12}, \quad (3.57)$$

де B_2 , B_6 , B_{12} – еквівалентні коефіцієнти теплової активності підлоги при тривалості безперервного контакту ноги з підлогою 2, 6 і 12 хв. (0,033, 0,1 і 0,2 год.); $0,31+0,41+0,28=1$ – вагові коефіцієнти тривалості безперервного контакту ноги з підлогою протягом 2, 6 і 12 хв.

Розглянемо ще одну величину, яка характеризує матеріали для підлоги при застосуванні ЕТА-обігріву: $s_i = b_i = \sqrt{\lambda_i \rho_i c_i}$ – теплофізична характеристика матеріалу, що інтерпретує властивість поглинання (акумуляції) тепла при будь-яких видах теплових впливів і називається коефіцієнтом «теплової активності матеріалу» [122] або «коефіцієнтом проникнення тепла» [123].

Величина «зведеного коефіцієнта теплової активності підлоги» порівнюється з необхідною, котра визначається залежно від призначення приміщення та підлоги. Показники теплової активності підлоги житлових приміщень, лікарень, дитячих будинків і подібних споруд не повинні перевищувати нормативної величини $Y''_{\text{н}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Викладені основні положення теорії теплостійкості було застосовано для розрахунку теплоаккумуляційної здатності житлових приміщень.

3.3.3. Приклад використання теорії теплостійкості для розрахунку теплоаккумуляційної здатності приміщень з ЕТА-обігрівом

Раніше було обґрунтовано можливість використання електротеплоаккумуляційного опалення для будинків багатьох категорій, у тому числі для адміністративного, житлового, школи, фельдшерсько-акушерського пункту, житлового багатопверхового будинку з підвищеною комфортністю. Найбільш складним випадком є висотний будинок (рис. 3.11, табл. 3.4). Тому наведемо основні результати розрахунків, виконаних з урахуванням динаміки добового циклу «нагрівання-охолодження», обумовленого переривчастим графіком подачі електроенергії за пільговим тарифом.

Розрахунки динаміки теплових режимів залежно від теплопередачі через зовнішні огороження і теплоакуюлюючих можливостей усіх внутрішніх конструкцій проводилися згідно з теорією теплостійкості. Визначено також параметри режиму, які забезпечують збереження температури внутрішнього повітря в комфортних межах при перерві живлення. Було визначено, що натоп приміщення здійснюється протягом часу доби, у якому відповідно до графіка НКРЕ відбувається відпуск електроенергії за пільговими тарифами. У першому наближенні вважалось, що температура зовнішнього повітря залишається незмінною¹, а зміни температури повітря усередині приміщення в обидва боки від нормативної $t_{\text{н}}$ не перевищують $\pm 2,5$ °С. Тоді логічно припустити, що протягом опалювального сезону температура внутрішнього повітря приміщення має характер гармонійних коливань навколо середнього

¹ Можна показати, що фактор добового ходу зовнішньої температури не змінює принципової картини і може бути врахований суперпозицією, тобто накладенням температурних полів від коливань температури.

значення $t_{п0}$. Період цих коливань дорівнює $T=24$ год. і у будь-який момент часу z протягом опалювального сезону температура повітря усередині приміщення змінюється за законом \cos і дорівнює (з урахуванням можливого випередження або відставання стосовно початку періоду) [125, 126]:

$$t_{п} = t_{п0} + A_{t_{п}} \cos 2\pi(z \pm \varepsilon)T = t_{п0} + 3 \cos 2\pi(z \pm \varepsilon)T \quad (3.58)$$

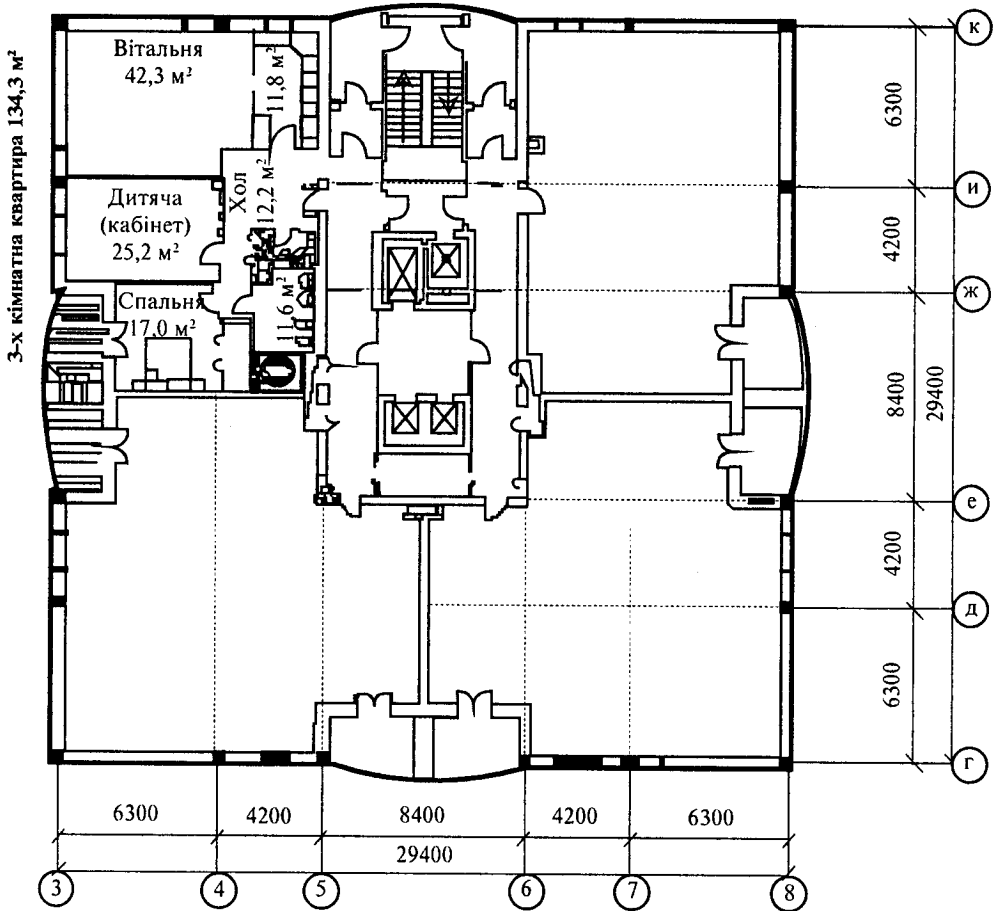


Рис. 3.11. План середнього (типового) поверху експериментального житлового будинку (трикімнатна квартира площею 134,3 кв.м)

Коливання температури, обумовлені зміною потужності електроопалення залежно від графіка подачі електроенергії для обігріву, викличуть зміни теплових потоків і температури на поверхні й у товщі огорожень. Ці зміни також будуть гармонійними з періодом $T=24$ год. Таким чином, завдання формулюється в такий спосіб: визначити амплітуду коливань температури $A_{t_{п}}$ у приміщенні, в якому система опалення працює з перервами, якщо задано тривалість нагрівання (натоп) $z_{н}=8$ год., перерва між натопами $z_{п}=16$ год., період $T=z_{н}+z_{п}=16+8=24$ години. Як розра-

хунковий об'єкт оберемо найбільш напружене за теплозахистом приміщення трикімнатної квартири розглянутого експериментального будинку у квазі-стаціонарній постановці при оцінці теплоакмуляційної здатності будівельних конструкцій. Унаслідок найбільшої площі скління (близько 50 %) і кутового розташування таким найбільш напруженим за теплозахистом приміщенням є вітальня (площа 42,3 м²).

Таблиця 3.4

Теплотехнічна характеристика огорожувальних конструкцій

№ п/п	Огородження	Матеріал	Об'ємна вага, кг/м ³	Товщина, мм	Опір теплопередачі, (м ² ·°С)/Вт
1.	Тришарова зовнішня стіна	Бетон	1800	250	2,9
		Утеплювач типу «Стіродур»	33,0	80	
		Облицювання	1800	20	
2.	Вікна	двокамерний склопакет «теплове дзеркало»			0,75

Таблиця 3.5

Конструктивні та теплотехнічні параметри зовнішньої стіни

Параметр	Умовне позначення	Одиниця виміру	Найменування та номер шару				Середнє приміщення, що обігрівається	Сумарні показники	
			Зовнішнє повітря	i=4	i=3	i=2			i=1
				облицювання (штукатурка)	утеплювач (стіродур)	стіна (цегла)			облицювання (штукатурка)
К-т тепловіддачі	α_i	Вт/(м ² ·К)	23,1	-	-	-	-	8,7	-
К-т теплопровідності	λ_i	Вт/(м·К)		0,930	0,035	0,600	0,930		
Питома теплоємність	c_i	кДж/(кг·К)		0,800	0,340	0,840	0,840		
Щільність	ρ_i	кг/м ³		1800	33	1800	1800		
К-т температуропровідності	$a_i \cdot 10^3$	м ² /с		0,646	3,119	0,397	0,615		
К-т теплосасвоєння	s_i	Вт/(м ² ·К)		9,87	0,17	8,12	10,11		
К-т теплоакмуляції	b_i	кДж/(м ² ·с ^{0.5} ·К)		119,2	1,38	110,8	123,6		
Товщина шару	δ_i	м		0,020	0,125	0,650	0,015		0,810
Термічний опір (фактичний)	R_i	(м ² ·К)/Вт	0,043	0,022	3,571	1,083	0,016	0,115	4,851
Показник тепломасивності	$D_i = R_i \cdot s_i$			0,212	0,604	8,799	0,163		9,778
Т-ра шару на границях	$t_i, ^\circ\text{C}$	-25	-24,60	-24,4	8,73	18,78	18,93	20,00	
Теплоємність 1 м ²	c_i	кДж/(м ² ·К)		28,80	1,40	982,8	22,68		1036

Спочатку визначалися параметри теплостійкості конструкцій, що огорожують вітальню. Вихідні та розрахункові конструктивні та теплотехнічні параметри наведено

в табл. 3.4, 3.5. За числовим значенням показнику теплової масивності (або умовній товщині шару) D_i передувало положення шару різких коливань (відлік шарів та їх нумерацію ведемо зсередини приміщення від внутрішньої поверхні). ШПК закінчується в цегляній стінці, бо в штукатурці $D_1 < 1$, а $D_2 = 8,799$ і $D_1 + D_2 > 1$, де D_1, D_2 – показники теплової масивності, або так звані умовні товщини 1-го і 2-го шарів. При цьому із табл. 3.5. маємо умовний коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу стінки (цегли) $s_2 = 8,12$ Вт/(м²·К).

Згідно з раніше наведеними співвідношеннями визначається коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні зовнішньої стіни, коли умовна товщина першого шару є меншою за одиницю, а його сума з другим – уже більшою:

$$Y_{в.п.з.с.} = Y_2 = (R_1 s_1 + s_2) / (1 + R_1 s_2) = 8,64 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

У варіант із нештукатуреною зсередини зовнішньою стіною коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні зовнішньої стіни $Y_{н.с.} = s_1 = 8,12$ Вт/(м²·К), тобто частково менший за рахунок трохи більших порівняно із цеглою теплоінерційних властивостей шару цементно-піщаної штукатурки.

Таким чином, надалі у будь-якому варіанті розрахунку теплостійкості можна обмежитися конструктивною цегельною стінкою і не враховувати наступні шари.

Показник теплосасвоєння всієї поверхні зовнішньої стіни становить:

$$Y_{з.с.} = 8,64 \cdot 21,7 = 187,5 \text{ Вт/К}.$$

Аналогічно розраховуються й інші компоненти приміщення, у тому числі вікно (з потрійним склінням і коефіцієнтом передачі $K = 0,8$ Вт/(м²·К)), площа вікон $A_{вік} = 24,5$ м²) і підлога ($A_{п.п.} = 46,8$ м²). Особлива частина міжповерхового перекриття має складну багатошарову конструкцію. Її вихідні конструктивні та теплотехнічні параметри наведено в табл. 3.6.

Необхідні для визначення коефіцієнта теплосасвоєння поверхні граючої підлоги (з боку приміщення) значення термічного опору і коефіцієнта теплосасвоєння шарів, що утворюють конструкцію підлоги, також наведено в табл. 3.6.

Через те що покриття (у цьому випадку паркет) має показник теплової масивності менший за 1, а сума умовних товщин 1-го (паркету) і 2-го (повітряного прошарку) шарів усе ще менше 1 ($D_1 + D_2 = 0,547 + 0,018 = 0,565 < 1$), то переходимо до розрахунку наступних шарів огороження, тобто до умовних товщин 1-го (паркету) і 2-го (повітряного прошарку) шарів додаємо умовні товщини 3-го, 4-го шарів і т.д., поки їх сума не дорівнюватиме 1 або не буде більшою за неї. При $n=3$ сума умовних товщин трьох шарів виявилася більшою за 1, тобто $D_1 + D_2 + D_3 = 0,565 + 0,979 = 1,544 > 1$.

У такий спосіб шар різких коливань багатошарової конструкції підлоги закінчується 3-ім шаром, тобто для підлоги даної (цементно-піщано-повітряно-паркетної) конструкції $n=3$.

Згідно з методикою визначення теплостійкості, її розрахунок необхідно почати з визначення коефіцієнта теплосасвоєння внутрішньої поверхні $n-1=3-1=2$ -го шару, тобто в цьому випадку з шару з повітряним прошарком. Коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні $n-1$ шару обчислюється за ітераційною формулою $Y_{n-1} = (R_{n-1} \cdot s_{n-1}^2 + Y_n) / (1 + R_{n-1} \cdot Y_n)$, що для $n=3$ набуває вигляду:

$$Y_2 = (R_2 \cdot s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2 \cdot Y_3).$$

Оскільки для лицьової частини цементно-піщаної стяжки:

$$Y_3 = s_3 = 10,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

$$\text{то } Y_2 = (R_2 \cdot s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2 \cdot Y_3) = (0,377 \cdot 0,05^2 + 10,1) / (1 + 0,377 \cdot 10,1) = 10,111 / 4,811 = 2,101 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

Для паркету одержуємо:

$$Y_1 = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2) = (0,143 \cdot 3,83^2 + 2,1014248) / (1 + 0,143 \cdot 2,1014248) = 4,199 / 1,301 = 3,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Таблиця 3.6

Конструктивні і теплотехнічні параметри грійочої підлоги (шари 6, 5, 4), стелі (шари 1, 2, 3), цементно-піщаної стяжки (3, 4) з паркетним покриттям (6), повітряним прошарком (5), теплоізоляцією (2, 5)

$t_n^{\max} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ $t_{\text{віделки}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$		Шари:	1	2	3	4	5	6	Середовище приміщення, що обігрівається, або сумарні показники
		середовище нижнього поверху	плита переkritтя	теплоізоляція 1	тильна частина стяжки	лицьова частина стяжки	теплоізоляція 2	покриття	
познач.	од.вим.	стеля			підлога				
α_i	Вт/(м ² ·К)	3	–	–	–	–	–	–	8,0
c_i	кДж/(кг·К)		0,800	0,500	0,840	0,840	1,000	2,400	
ρ_i	кг/м ³		2400,	500,0	1800,	1800,00	1,1	600,0	
ρ_i	МДж		543,49	4,69	28,51	267,90	0,01	16,06	283,97
λ_i	Вт/(м·К)		0,840	0,050	0,930	0,930	0,027	0,140	
δ_i	м		0,200	0,010	0,010	0,090	0,010	0,020	0,340
r_i	м ² /Вт	0,333	0,238	0,200	0,011	0,097	0,377	0,143	0,125
T_i	°С	30	44,9	55,6	64,5	59,1	36,2	27,6	20,0
номер розрахунк. шару:			1	2	3	3	2	1	
s_i	Вт/(м ² ·К)		10,83	0,95	10,11	10,11	0,05	3,83	
b_i	кДж/(м ² ·с ^{0,5} ·К)		40,16	3,54	37,50	37,50	0,17	14,20	
$D_i = R_i \cdot s_i$			2,579	0,191	0,109	0,979	0,018	0,547	

Примітка. T_i – температури на границі між i та $i+1$ шарами; інші позначення – аналогічні табл. 3.5

Розглянемо також варіант підлоги без повітряного прошарку. Кількість шарів тут буде на один менший і $D_1 + D_2 = 0,547 + 0,979 = 1,526 > 1$.

Міркуючи аналогічно, дійдемо висновку, що сума умовних товщин двох шарів виявилася більше 1 при $n=2$: $D_1 + D_2 = 0,565 + 0,979 = 1,544 > 1$.

Таким чином, шар різких коливань закінчується в 2-му шарі, тобто для підлоги даної (цементно-піщано-паркетної) конструкції $n=2$.

Оскільки для лицьової частини цементно-піщаної стяжки $Y_2 = s_2 = 10,11 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, то для паркету маємо:

$$Y_{\text{під}} = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2) = (0,143 \cdot 3,83^2 + 10,11) / (1 + 0,143 \cdot 10,11) = 12,208 / 2,446 = 4,991 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Порівнюючи обидва варіанти, можна побачити, що 2-ий варіант конструкції підлоги (без повітряного прошарку) виявився значно (на 23,6 %) тепломасивнішим, ніж перший (із повітряним прошарком). У той же час, з погляду зручності організації керу-

вання тепловіддачею від підлоги у простір приміщення, виникає необхідність у повітряному прошарку. Для зняття зазначеного протиріччя необхідно шукати компроміс, виходячи із запасів теплової енергії, можливих до акумулювання в інших огороженнях приміщення, що розраховується. Не виключено, що підлога буде потрібною не стільки для накопичування тепла (тим паче, що її випромінення може екрануватися килимами, меблями), скільки для конструктивного розташування ЕКСО. Тоді акумуляцію тепла варто здійснювати в інших будівельних конструкціях.

Показник теплосасвоєння для всієї підлоги (паркет без повітряного прошарку) становить $A_{\text{під}} \cdot Y_{\text{під}} = 233,64 \text{ Вт/К}$.

Аналогічно підлозі, стеля також являє собою багатошарову конструкцію. Її роль буде відігравати тильна частина міжповерхового перекриття.

Оскільки вже 1-ий шар стелі має показник теплової масивності більший за 1, тобто $D_1 = 2,579 > 1$, то відповідно до наведених вище міркувань, коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні стелі співпадає з коефіцієнтом теплосасвоєння перекриття $Y_{\text{ст}} = 56,10,83 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Показник теплосасвоєння стелі становить $A_{\text{ст}} \cdot Y_{\text{ст}} = 506,838 \text{ Вт/К}$.

Внутрішні перегородки площею $A_{\text{в.п.}} = 41,4 \text{ м}^2$ виготовлено з порожнистої цегли та оштукатурено з обох боків.

Шар різних коливань завершується в цегляній стіні, захоплює вісь симетрії, бо в штукатурці $D_1 < 1$, а $D_2 = 0,772 < 1$. Отже, визначаємо $Y_{\text{в.п.}}$, зважаючи, що на осі симетрії перегородки $Y_3 = 0$:

$$Y_2 = (R_2 s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2 Y_3) = (0,125 / 2 + 0,64 \cdot 7,91^2) / (1 + 0) = 6,1102;$$

$$Y_{\text{в.п.}} = Y_1 = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2) = (0,022 \cdot 9,32 + 6,1102) / (1 + 0,022 \cdot 6,1102) = 7,06 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Як варіант, було розраховано показник теплосасвоєння поверхні для гіпсової внутрішньої стіни ($Y_2 = 0$), яка часто використовується для перегородок. Одержано:

$$Y_{\text{в.п.}} = Y_1 = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2) = 0,075 \cdot 8,64^2 = 2,40 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

У випадку гіпсових внутрішніх перегородок показник теплосасвоєння в 2,94 рази менший, ніж у випадку перегородок з порожнистої цегли. У такий спосіб, з погляду теплоакумуляції, внутрішні перегородки доцільно виготовляти з цегли, а не з гіпсу.

Показник теплосасвоєння поверхні всіх внутрішніх перегородок для варіанта з оштукатуреної порожнистої цегли:

$$Y_{\text{в.п.}} \cdot A_{\text{в.п.}} = 7,06 \cdot 41,4 = 292,3 \text{ Вт/К}$$

Зараз, нехтуючи впливом усіх інших поверхонь, можна визначити сумарне теплосасвоєння у приміщенні. Результати подано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Сумарне теплосасвоєння огорожувальних конструкцій приміщення вітальні

Параметр	Зовнішня стіна	Вікна	Підлога	Стеля	Внутрішні перегородки	Сумарне теплосасвоєння, Вт/К
<i>i</i>	1	2	3	4	5	$P_{\text{прим}} = P_{\text{огор}} + P_{\text{вент}}$
$Y_i A_i$	187,49	21,58	233,64	506,84	292,28	1241,83
%	15,10	1,74	18,81	40,81	23,54	100
$A_i, \text{ м}^2$	21,70	24,50	46,80	46,80	41,40	181,20

Подальші обчислення проводимо з урахуванням коефіцієнта переривчастості Ω , отриманого, виходячи із значення $z_n / T = 0,333$, розрахункового повітрообміну, значення

показника інтенсивності теплообміну на поверхнях у приміщенні при $\alpha_{\text{сєр}}=3,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\Lambda_{\text{прим}}=3,8\cdot 172=653,6 \text{ Вт}/\text{К}$ та розрахункових тепловтрат приміщення, рівних $Q=Q_{\text{сєр}}=2464,3 \text{ Вт}$. Спочатку розглянемо підлогу як нетеплоємний опалювальний прилад, коли коефіцієнт нерівномірності теплопередачі M дорівнює:

$$M=(z_{\text{п}}+z_{\text{н}})/2z_{\text{п}}=((16+8)/(2\cdot 8))=1,5,$$

та амплітуда коливань температури приміщення при $Q_{\text{мак}}=2MQ_{\text{сєр}}$ становить [4, 5]:

$$A_{\text{п}}=0,9\cdot Q_{\text{мак}}/P_{\text{прим}}=1,8\cdot M\cdot Q_{\text{сєр}}/((1/(\Omega/Y_{\text{прим}}+1/\Lambda_{\text{прим}}))+L_{\text{ср}})=$$

$$=0,9\cdot 2464,279\cdot \text{М}/(1/(0,84/1122,95+1/653,6)+56)=2217,85\cdot \text{М}/(439,00083+56)=5,43 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

де $L_{\text{ср}}$ – теплопоглинання у приміщенні в результаті вентиляційного повітрообміну.

Оскільки розрахована амплітуда коливань є більшою, ніж прийнята величина коливань температури $\pm 2,5 \text{ }^{\circ}\text{С}$, то прийнятний режим при *нетеплоємних* опалювальних приладах переривчастого опалення недопустимий. Для поліпшення ситуації необхідно скористатися теплоємним опалювальним приладом, яким є гріюча підлога і яка, власне кажучи, є низькотемпературним опалювальним приладом із коефіцієнтом нерівномірності теплопередачі $M=0,2-0,5$. Для точнішого визначення M необхідним є проведення спеціальних фізичних або розрахункових експериментів. Спочатку, на основі літературних даних [4, 5, 114, 120], візьмемо, що використовуваний при панельно-променевому опаленні опалювальний прилад належить до класу теплоємних. У цьому випадку, при використанні ЕКСО ТА, амплітуда коливань температури приміщення становить:

$$A_{\text{п}}=0,9Q_{\text{мак}}/P_{\text{прим}}=1,8\cdot M\cdot Q_{\text{сєр}}/((1/(\Omega/Y_{\text{прим}}+1/\Lambda_{\text{прим}}))+L_{\text{ср}})=$$

$$=0,9\cdot 2464,279\text{М}/(1/(0,84/1122,95+1/653,6)+56)=$$

$$=4,44805\text{М}=4,44805(0,2+0,5)=0,89+2,22 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

Позаяк отримана амплітуда коливань є меншою за прийнятну величину коливань температури $\pm 2,5 \text{ }^{\circ}\text{С}$, то прийнятний режим при теплоємних опалювальних приладах переривчастої дії є допустимим.

3.4. Результати застосування комп'ютерних технологій моделювання теплового стану приміщень з ЕТА-обігрівом

При розробці енергоощадної технології ЕТА-обігріву вперше було застосовано комп'ютерні технології моделювання теплового стану приміщень [65]. Далі розглядаються деякі найбільш важливі завдання.

3.4.1. Товщина шару різких коливань у добовому циклі переривчастого опалення

Із розв'язанням цього завдання визначається товщина акумуляційного шару, яка забезпечує можливість підтримки цілодобової розрахункової температури внутрішнього повітря. Якщо ШРК є малим, то його теплоємності може бути недостатньо для покриття тепловтрат упродовж інтервалу часу, коли нагрівальні кабелі вимкнено. І навпаки, надлишкова товщина («неактивна теплоємність») спричиняє підвищення матеріаловитрат. Можливості аналітичних рішень обмежені. Скористаємося комп'ютерною моделлю, реалізованою на обчислювальному пакеті ANSYS¹, аби одержати результати при меншій кількості припу-

¹ Основні розрахунки за комп'ютерними технологіями моделювання теплового стану проведено у відділі моделювання процесів тепломасобміну в об'єктах енергетики та теплотехнологій ІТФ НАН України. Автори широко вдячні д.т.н., професору П.Г. Круковському, к.т.н. О.Ю. Тадлі та багатьом іншим співробітникам вказаного відділу за співпрацю в дослідженні чисельними методами теплообміну у приміщеннях та будівельних конструкціях, обладнаних ЕКСО.

шень. Визначимо ШРК як поперечний розмір шару, у якому вплив теплотехнічних властивостей на величину поглинутого тепла становить 95 % загального теплового впливу [120, 123]. На рис. 3.12 наведено у графічному вигляді типові результати розрахунків поширення температурних хвиль для випадку такої конструкції, яка має нормативний термічний опір і складається з двох шарів – конструктивного в одну цеглу товщиною 280 мм і зовнішнього теплозахисного зі стіродуру товщиною 0,06 м в умовах дії добового циклу переривчастого теплового навантаження при температурі ззовні мінус 22 °С.

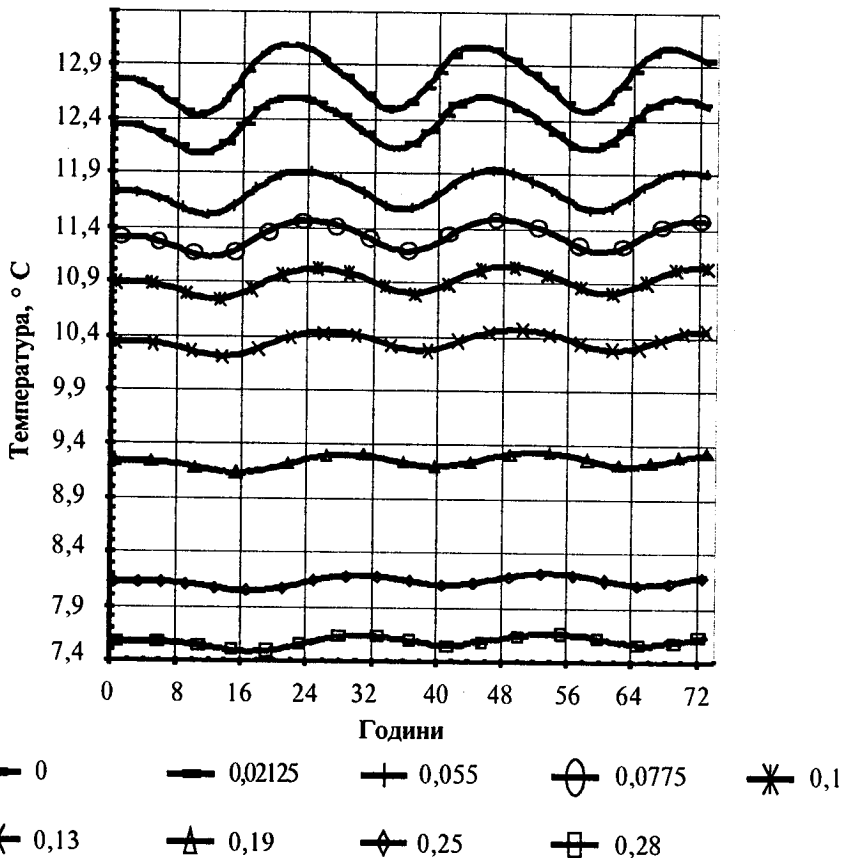


Рис. 3.12. Графіки температурних коливань у зовнішньому огороженні на глибині (згори донизу) 0; 0,02125; 0,055; 0,0775; 0,1; 0,13; 0,19; 0,25; 0,28 м від внутрішньої поверхні стіни

Система обігріву має такі параметри:

- термічний опір стінки зовнішнього огороження 2,3 Вт/(м²·К);
- кількість шарів у стінці зовнішнього огороження 2 шт.;
- коефіцієнт теплопровідності 1-го шару стіни (цегла) $\lambda_1=0,645$ Вт/(м·К);
- коефіцієнт теплопровідності 2-го шару стінки (стіродур) $\lambda_2=0,033$ Вт/(м·К);
- коефіцієнт теплопоглинання 1-го шару стінки (цегла) $s_{24}=8,362$ Вт/(м²·К);
- товщина ШРК за аналітичною моделлю $\partial_{\text{анал}}=\lambda/s=0,0771$ м;
- величина тепловиділення 60 Вт/м²;
- крок укладання кабелю 0,16 м;

- час «зарядження» 8 год.;
- товщина теплоаккумуляційного шару з важкого бетону 0,1 м.

Для визначення величини ШПК відповідно до зазначених умов на ANSYS-моделі було проведено дослідження температури для 17-ти точок усередині внутрішньої стіни.

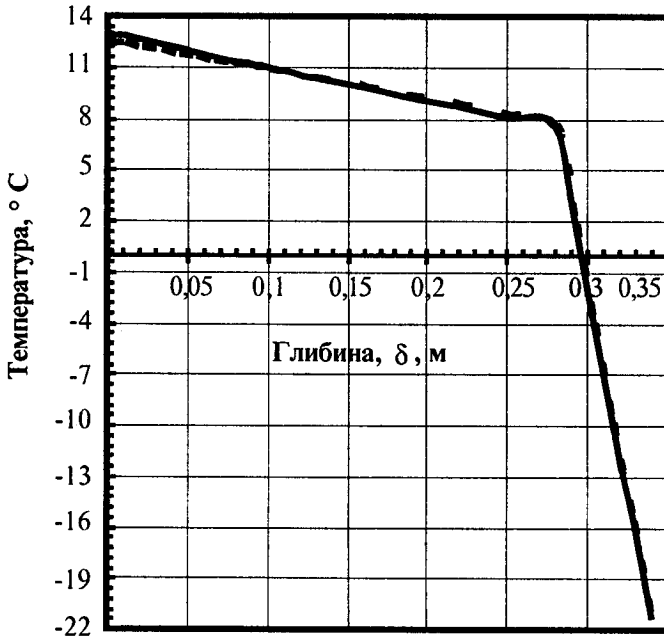


Рис. 3.13. Графік розподілу температури по перерізу двошарової стінки з цегли і стіродуру з підсумковим термічним опором $R=2,3$ ($m^2 \cdot K/Wt$) (максимум і мінімум температурних хвиль)

Таблиця 3.8

Максимум t_{max}^{δ} , мінімум t_{min}^{δ} і амплітуда коливань A_Q температури в добовому циклі обігріву залежно від заглиблення у стінку (рис. 3.13)

Параметри	Заглиблення нагрівального кабелю у стінку, δ , м								
	0	0,02125	0,055	0,0775	0,1	0,13	0,19	0,25	0,28
t_{max}^{δ} , °C	13,06	12,60	11,93	11,49	11,05	10,48	9,37	8,27	7,72
t_{min}^{δ} , °C	12,48	12,12	11,57	11,19	10,81	10,29	9,24	8,16	7,61
A_Q , °C	0,579	0,476	0,355	0,293	0,242	0,190	0,132	0,115	0,112

Для 9-ти точок результати наведено на рис. 3.13, де нанесено часовий хід температури у кожній відповідній точці (0; 0,02125; 0,055; 0,0775; 0,1; 0,13; 0,19; 0,25; 0,28 м) стінки з інтервалом у 30 хвилин упродовж 74-х годин. Чисельні значення амплітуд максимумів і мінімумів температурних хвиль наведено у табл. 3.8. Залежність амплітуди коливань від глибини залягання точки розрахунку наведено на рис. 3.14. Вона

з середньоквадратичним відхиленням (СКВ) 0,9999 у поліноміальному наближенні має такий вигляд:

$$A_Q = 34,294\delta_{\text{ШРК}}^4 - 40,816\delta_{\text{ШРК}}^3 + 20,989\delta_{\text{ШРК}}^2 - 5,0898\delta_{\text{ШРК}} + 0,5775.$$

Із цих розрахунків нестаціонарного теплового стану системи «нагрівальний кабель – підлога – приміщення – зовнішнє огороження (стінка) – зовнішнє середовище» можна одержати товщину ШРК. Амплітуда коливань температури на поверхні огороження (стовпчик 1, $\delta=0$, табл. 3.8.): $A_Q/2=0,579/2=0,2895 \approx 0,29$. Із графіка на рис. 3.13 одержуємо, що цій величині відповідає $\delta_{\text{ANSYS}}=0,0775$ м ($A_Q/2=0,2926$). Тобто, числові значення товщини ШРК, отримані аналітичним ($\delta_{\text{анал}}=A_Q=0,0771$ м) і розрахунковим, чисельним ($\delta_{\text{ANSYS}}=0,0775$ м), шляхами, збіглися. Отже, результати моделювання підтверджують уявлення про практично однако-ву теплостійкість товстої конструкції і конструкції, у якій з такого ж матеріалу виготовлено лише внутрішню частину на товщину ШРК.

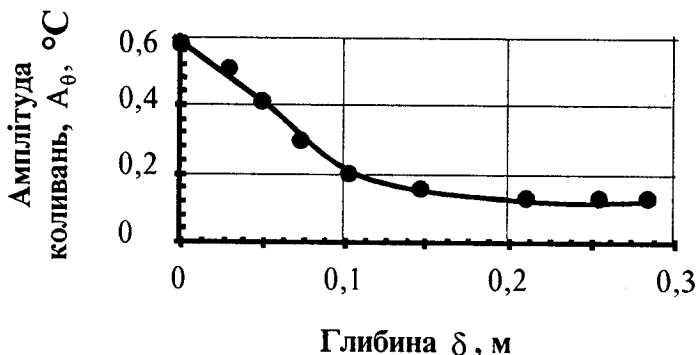


Рис. 3.14. Графік амплітуди температурних коливань за перерізом двошарової стінки з цегли і стіродуру з підсумковим термічним опором $R=2,3$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$)

На величину коефіцієнта теплосасвоєння внутрішньої поверхні огороження впливають тільки теплофізичні властивості матеріалів огороження, розташовані у його ШРК. Уся ж інша частина огороження, що лежить за межами ШРК, на коефіцієнт теплопоглинання його внутрішньої поверхні практично не впливає. Одержані дані чисельного аналізу підтверджують відоме з теорії теплостійкості положення про доцільність розробки й упровадження багатошарових огорожень.

3.4.2. Властивості основних матеріалів і конструкцій при використанні технології ЕТА-обігріву

Відповідно до висновків теорії теплотривкості раціональна схема розташування конструктивних шарів зовнішніх огорожень передбачає розташування шару різних коливань у щільних матеріалах із великим теплопоглинанням з боку внутрішньої частини приміщення. У зовнішній частині застосовуються легкі пористі матеріали з низьким теплопоглинанням (рис. 3.15) і з високим термічним опором. Така конструктивна схема забезпечує максимальну теплостійкість огорожень приміщень у холодний період року не лише щодо зовнішніх термічних збурювань, а й при використанні ЕКСО ТА. У цьому випадку температурний режим внутрішньої

частини огорожувальної конструкції з матеріалу з великим теплопоглинанням буде близьким до температурних умов внутрішнього повітря, а коливання температури всередині приміщення будуть найменшими.

При використанні технології ЕТА-обігріву обмеження на тип матеріалу, які обумовлюються особливостями контактного теплообміну, послаблюються. У випадку грючої підлоги тепловий потік від ступні ноги (приблизно 32 °С) до лицьової поверхні підлоги (22 - 28 °С) за рахунок зменшення температурного напору між ступнею і підлогою також значно зменшується, і у фізіологічному відношенні лицьові шари з керамічної плитки, паркету, ковроліну, як показує досвід, виглядають еквівалентними. Проте з точки зору забезпечення технологічних режимів, які задовольняють критерії відповідності технології ЕТА-обігріву санітарно-гігієнічним (окрім контактних) і експлуатаційним нормам, це питання потребує доопрацювання. З метою одержання практичних висновків його доцільно вивчити за допомогою комп'ютерної моделі.

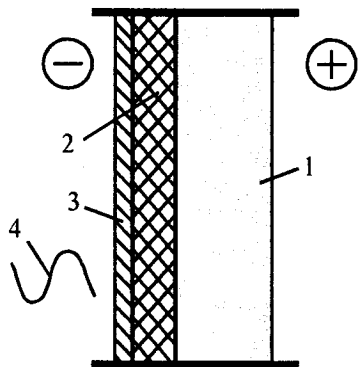


Рис. 3.15. Раціональний порядок розташування матеріалів у зовнішніх огорожувальних конструкціях на об'єктах з ЕККО ТА:

- 1 – внутрішня частина зі щільних матеріалів з великим теплопоглинанням (бетону, цегли, тощо);
- 2 – конструктивний шар із матеріалів з малим теплопоглинанням (наприклад, пінополістирол);
- 3 – фасадний шар з повітряним прошарком;
- 4 – періодичні впливи навколишнього середовища із зовнішньої сторони огородження

Для дослідження впливу матеріалу покриття лицьової поверхні на тепловий стан приміщення з технологією ЕТА-обігріву було розраховано 3 варіанти з різним покриттям підлоги (паркет, керамічна плитка, ковролін) та однаковими іншими умовами:

- | | |
|--|------------------------|
| – товщина зовнішньої стіни: 1 цеглина | 0,28 м; |
| – теплоізоляція (стіродур) | 0,06 м; |
| – величина тепловиділення | 60 Вт/м ² ; |
| – температура на зовні приміщення | -22 °С; |
| – крок укладання кабелю | 0,16 м; |
| – товщина теплоаккумуляційного шару з важкого бетону | 0,1 м; |
| – час зарядження підлоги | 8 год. |

Розрахункові дані наведено у табл. 3.9 (згруповані та усереднені значення) та у графічному вигляді на рис. 3.16 – 3.18, на яких наведено термограми зовнішнього повітря t_3 , жили нагрівального кабелю t_k , лицьової поверхні підлоги (середніх у поперечному напрямку) t_n та інтенсивності теплового потоку у бік приміщення Q_n . Інтервал «спостережень» – три доби. У табл. 3.9 наведено середні, мінімальні і максимальні дані; амплітуда добового коливання температур зовнішнього повітря t_3 , жили нагрівального кабелю t_k , лицьової поверхні підлоги (середніх у поперечному напрямку) t_n та інтенсивності теплового потоку від підлоги у бік приміщення Q_n та коефіцієнта нерівномірності $M=(A_{\max}-A_{\min})/[(A_{\max}+A_{\min})/2]$ відповідної шуканої змінної A_i . Першому, другому, третьому, четвертому (табл. 3.10) критеріям (3.2.4)

відповідають усі три варіанти, але п'ятому критерію – тільки 3-ій варіант із покриттям підлоги ковроліном; варіанти 1 і 2 з покриттям паркетом і плиткою не відповідають цьому критерію.

Таблиця 3.9

Згруповані результати розрахунків теплового стану приміщення і підлоги при використанні технології ЕТА-обігріву

Параметри	Значення шуканої змінної A_i (рис. 3.16 – 3.18)				
	середні	максимальні	Мінімальні	амплітуда $A_{\rho}/2$	M
Варіант 1, $t_k=66\text{ }^\circ\text{C}$					
$t_z, \text{ }^\circ\text{C}$	16,73	17,74	15,63	1,06	0,06
$\tau_n, \text{ }^\circ\text{C}$	26,55	30,83	22,69	4,07	0,15
$Q_n, \text{ Вт/м}^2$	51,30	70,68	35,64	17,52	0,34
Варіант 2, $t_k=65\text{ }^\circ\text{C}$					
$t_z, \text{ }^\circ\text{C}$	16,82	17,94	15,62	1,16	0,07
$\tau_n, \text{ }^\circ\text{C}$	26,72	31,57	22,40	4,58	0,17
$Q_n, \text{ Вт/м}^2$	51,93	73,65	34,37	19,64	0,38
Варіант 3, $t_k=69\text{ }^\circ\text{C}$					
$t_z, \text{ }^\circ\text{C}$	16,56	17,42	15,61	0,90	0,05
$\tau_n, \text{ }^\circ\text{C}$	26,18	29,90	22,70	3,60	0,14
$Q_n, \text{ Вт/м}^2$	50,23	66,86	36,16	15,35	0,31

Таким чином, з точки зору відповідності одночасно усім п'яти критеріям (3.24), кращим покриттям для підлоги є ковролін чи інший матеріал з високим термічним опором. У підлозі з кабельним опаленням виготовлення внутрішньої частини конструкції зі щільних матеріалів забезпечує велику акумуляцію тепла у нічному інтервалі «зарядження». Внаслідок того, що наприкінці нічного інтервалу «зарядження» теплонадходження багаторазово перевищують поточні тепловтрати, настає дискомфорт теплового стану опалюваного приміщення. Як свідчать результати моделювання, у цьому випадку доцільно підвищити теплоізоляційні властивості лицьового шару, за рахунок чого підлозі, як опалювальному приладу, надаються термостатичні властивості. При цьому лицьовий шар доцільно виготовити з матеріалу з малим теплопоглинанням, що забезпечить необхідний рівень санітарно-гігієнічних вимог у частині контактного теплообміну організму людини з поверхнею підлоги в теплий період року, коли система обігріву виключається. У результаті цього загальна акумуляція тепла внаслідок відносно невеликої, порівняно з акумуляційним шаром, товщини лицьового шару зміниться ненабагато.

Таблиця 3.10

Результати розрахунків критеріїв (3.38 – 3.40) та їх перевірка

№ п/п	Матеріал лицьового покриття	$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\delta, \text{ м}$	Числові значення критеріїв					
				$t_k, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta\tau_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$P_{\text{гг}}, \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{год}$			
1	паркет	0,20	0,015	66,27	<70	0,38	<1	5,87	>4
2	плитка керамічна	1,05	0,012	65,24	<70	0,15	<1	9,74	>4
3	ковролін	0,10	0,012	69,49	<70	0,46	<1	2,09	<4

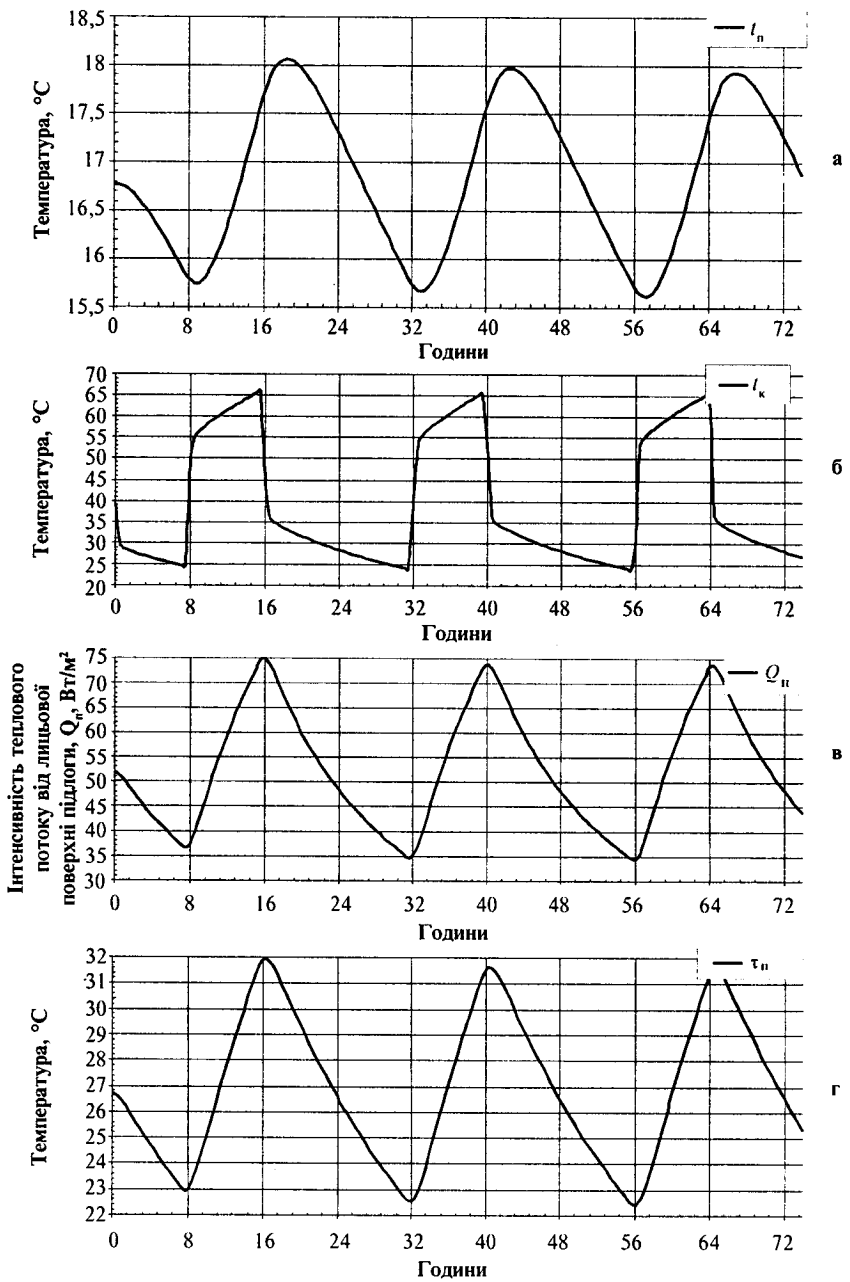


Рис. 3.16. Розрахунки теплового стану приміщення і підлоги при використанні ЕТА-обігріву за варіантом 1 (табл. 3.9):
а – температура внутрішнього повітря; б – температура зсиди кабелю;
в – інтенсивність теплового потоку від підлоги у бік приміщення;
г – температура лицьової поверхні підлоги.

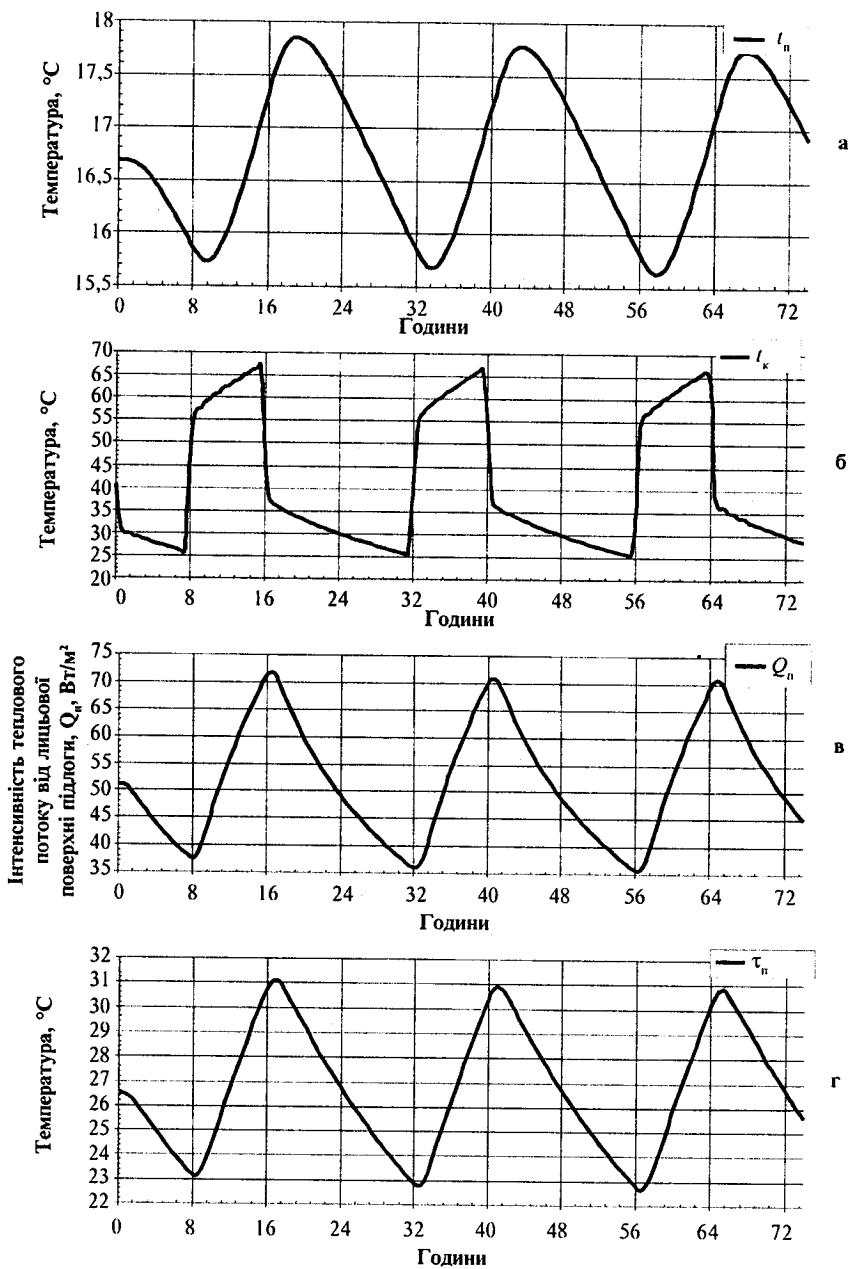


Рис. 3.17. Розрахунки теплового стану приміщення і підлоги при використанні ЕТА-обігріву за варіантом 2 (табл. 3.9):

- а – температура внутрішнього повітря; б – температура жили кабелю;
- в – інтенсивність теплового потоку від підлоги у бік приміщення;
- г – температура лицьової поверхні підлоги.

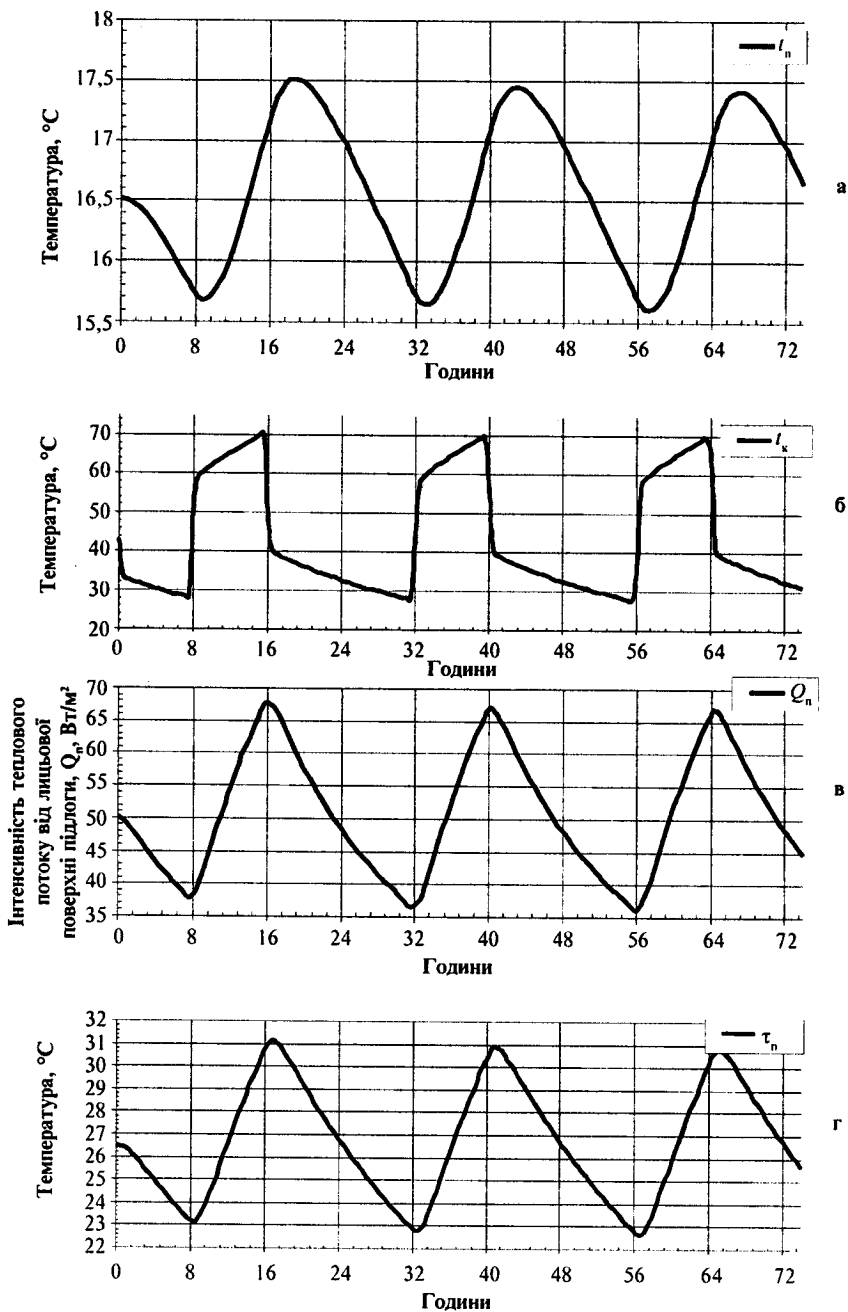


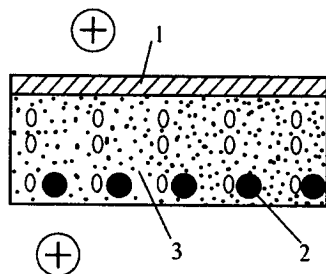
Рис. 3.18. Розрахунки теплового стану приміщення і підлоги при використанні ЕТА-обігріву за варіантом 3 (табл. 3.9):

- а – температура внутрішнього повітря; б – температура жили кабелю;
 в – інтенсивність теплового потоку від підлоги у бік приміщення;
 г – температура лицьової поверхні підлоги.

Найбільш ефективну конструкційну схему підлоги з кабельним опаленням, коли над шаром важкого конструктивного матеріалу з великим теплосасвоєнням розташовується лицьовий шар із підвищеними теплоізоляційними властивостями, наведено на рис. 3.19. За інших рівних умов таке утеплення краще виготовити з легких, але з високою питомою теплоємністю, матеріалів (наприклад, деревинно-волокнистих плит).

Рис. 3.19. Спрощена схема розташування шарів у підлозі з ЕТА-обігрівом:

- 1 – лицьовий шар з підвищеними теплоізоляційними властивостями;*
- 2 – нагрівальні кабелі;*
- 3 – конструктивний шар з матеріалу з великим теплосасвоєнням*



Зі сказаного вище випливає, що нормативні режими і параметри ЕТА-технології як системи обігріву періодичної дії можуть бути забезпечені без підключення додаткових пристроїв обігріву, шляхом одного лише доцільного підбору матеріалів конструктивних шарів підлоги, внутрішніх і зовнішніх огорожень, а також раціонального розміщення конструктивних шарів підлоги з різними теплофізичними властивостями. Цей результат уперше було одержано у ряді праць [61, 62, 65]. Мінімізація коливань температури усередині приміщення при технології ЕТА-обігріву як специфічна задача підвищення теплотривкості приміщення в холодний період року забезпечується за інших рівних умов:

- утепленням зовнішньої поверхні огорожень легкими теплоізоляційними матеріалами з малим теплопоглинанням;
- вибором матеріалів із великим теплопоглинанням для звернених у приміщення конструктивних шарів конструкцій зовнішніх і внутрішніх огорожень та підлоги;
- підвищенням теплоізоляційних властивостей лицьового шару підлоги для досягнення ефекту термостатування підлоги з нагрівальними кабелями.

3.4.3. Вплив кроків і глибини закладання кабелів на тепловий стан грілової підлоги

Тепловий стан підлоги з умонтованими нагрівальними кабелями і саме приміщення повинні забезпечити підтримку розрахункової температури у приміщенні з урахуванням комплексу умов і критеріїв (3.36 – 3.40). Проте одночасна відповідність усім критеріям є більш складною справою, ніж єдиному критерію. Для визначення відповідних режимів і параметрів необхідно провести трудомісткі чисельні дослідження. При дослідженні впливу кроку і глибини закладання нагрівальних кабелів на параметри технології ЕТА-обігріву використовувалися уніфіковані умови: температура зовнішнього середовища $t_3 = -15$ °С (розрахункова температура зовнішнього повітря для Керчі, Сімферополя, Феодосії); теплове навантаження $q^+ = 55$ Вт/м². Лицьовим шаром слугував паркет. Товщина акумулюючого шару варіювалася.

Серед конструктивних параметрів технології кабельного електробігріву найважливішими є крок і глибина закладання нагрівальних кабелів. Крок закладання нагрівальних кабелів визначає функціональні та економічні показники. При малому кроці різ-

ко підвищуються капітальні витрати. При занадто великому кроці якість опалення не відповідає всьому комплексу критеріїв ЕТА-обігріву. Для визначення впливу кроку і глибини закладання кабелів на тепловий режим лицьової поверхні підлоги при кожному значенні товщини акумуляційного шару $\delta_{ак}=0,03; 0,065; 0,1$ м було проведено по п'ять варіантів розрахунку. Крок закладання кабелю змінювався через 0,1 м (від 0,1 до 0,5 м). Визначалися середні, максимальні і мінімальні значення при циклічних змінах температури на поверхні підлоги над віссю кабелю $\tau_{п}^в$ і в нейтральному перетині (по середині між суміжними осями кабелів) $\tau_{п}^н$, повітря у приміщенні $t_{пн}$; теплового потоку на поверхні підлоги $Q_{п}$, а також максимальної температури жили кабелю t_k^{max} , коефіцієнта нерівномірності M .

Результати розрахунків наведено в табл. 3.11 – 3.13, а також на графіках рис. 3.20., 3.21., де зображено узагальнені результати дослідження залежності перепаду температур і градієнта (інтенсивності зміни температури) поперек закладки нагрівальних кабелів від кроку їх укладання.

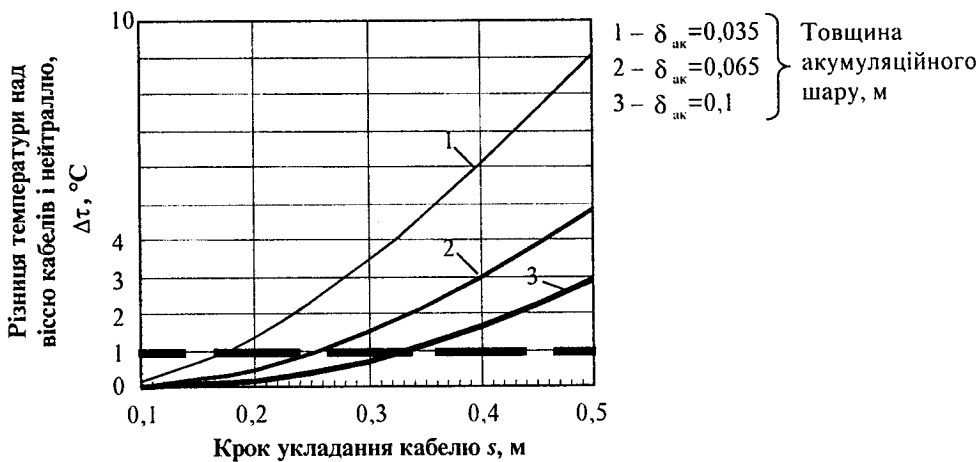


Рис. 3.20. Графіки залежності максимальної різниці температури впоперек закладки нагрівальних кабелів від кроку їх укладання та товщини акумуляційного шару (пунктир – гранично допустиме значення нерівномірності $\Delta\tau \leq 1$ °C)

Залежності на рис. 3.20 мають поліноміальний вигляд, а саме для $\delta_{ак} 0,035; 0,065$ та 0,1 м з СКВ 0,9995:

$$\Delta\tau_{0,035} = 29,243s^2 + 4,9343s - 0,6876;$$

$$\Delta\tau_{0,065} = 24,479s^2 - 2,4961s - 0,004;$$

$$\Delta\tau_{0,1} = 19,321s^2 - 4,2919s + 0,2364.$$

Висновки з таблиць варіантів 1 – 5.

Варіант 1. Варіант відповідає всьому комплексу вимог технології ЕТА-обігріву, за винятком максимальної температури поверхні підлоги над віссю кабелю $\tau_{п}^в = 31,8$ °C, при різниці $\tau_{п}^{сер.в} - \tau_{п}^{сер.н} = 0,02$ °C, а шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{п}^{сер.в} - \tau_{п}^{сер.н}) / s/2 = 0,1$ °C/м.

Параметри ЕТА-обігріву при товщині акумуляційного шару 0,035 м

Параметри	Одиниця виміру	Номери варіантів розрахунків				
		1	2	3	4	5
s	М	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$t_{\text{п}}^{\text{ср}}$	°С	17,658	17,658	17,644	17,640	17,637
$t_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	19,141	19,141	19,967	20,094	20,173
$t_{\text{п}}^{\text{min}}$	°С	16,097	16,097	15,482	15,390	15,336
$t_{\text{п}} \pm \Delta/2$	°С	1,522	1,522	2,243	2,352	2,419
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср}}$	°С	26,640	26,740	26,996	27,429	27,925
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	34,888	35,345	36,168	37,485	38,979
$\tau_{\text{п}}^{\text{min}}$	°С	20,246	20,029	19,938	19,889	19,858
$\tau_{\text{п}} \pm \Delta/2$	°С	7,321	7,658	8,115	8,798	9,560
$t_{\text{k}}^{\text{max}}$	°С	54,954	73,219	93,834	116,00	138,179
$Q_{\text{п}}^{\text{ср}}$	Вт/м ²	46,806	46,460	41,418	39,123	41,348
$Q_{\text{п}}^{\text{max}}$	Вт/м ²	85,543	81,370	66,116	59,488	66,399
$Q_{\text{п}}^{\text{min}}$	Вт/м ²	20,093	21,369	21,359	21,219	21,347
$Q_{\text{п}} \pm \Delta/2$	Вт/м ²	32,725	30,001	22,378	19,135	22,526
M по $Q_{\text{п}}$		0,699	0,646	0,540	0,489	0,545
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}}$	°С	26,722	27,408	28,707	30,479	32,436
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}$	°С	26,557	26,072	25,284	24,379	23,413
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	35,116	37,261	41,168	46,412	51,992

Варіант 2. Середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 0,588 °С. За іншими параметрами варіант відповідає комплексу вимог технології ЕТА-обігріву: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}} = 0,144$ °С, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}) / s / 2 = 0,36$ °С/м.

Варіант 3. Температура на жилі кабелю перевищила граничне значення на 89,960 – –80=9,960 °С, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 0,662 °С. Середнє значення температури повітря відповідає нормі: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}} = 1,454$ °С, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}) / s / 2 = 2,423$ °С/м.

Варіант 4. Температура на жилі кабелю перевищила граничне значення на 110,31 – 80=30,331 °С, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 0,27 °С. Середнє значення температури повітря відповідає нормі: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}} = 2,988$ °С, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}) / s / 2 = 3,735$ °С/м.

Варіант 5. Температура на жилі кабелю перевищила граничне значення на 130,667 – 80=50,667 °С, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 1,038 °С. Середнє значення температури повітря відповідає нормі: мінімальне значення

трохи менше за нормативне значення: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}} = 4,84 \text{ } ^\circ\text{C}$, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}) / s / 2 = 4,84 \text{ } ^\circ\text{C/м}$.

Таблиця 3.12

Параметри технології ЕТА-обігріву при товщині акумуляційного шару 0,065 м

Параметри	Одиниця виміру	Номери варіантів розрахунків				
		6	7	8	9	10
s	м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$t_{\text{п}}^{\text{ср}}$	$^\circ\text{C}$	17,620	17,613	17,610	17,608	17,607
$t_{\text{п}}^{\text{max}}$	$^\circ\text{C}$	18,589	18,950	19,104	19,186	19,227
$t_{\text{п}}^{\text{min}}$	$^\circ\text{C}$	16,548	16,242	16,118	16,058	16,026
$t_{\text{п}} \pm \Delta/2$	$^\circ\text{C}$	1,021	1,354	1,493	1,564	1,600
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср}}$	$^\circ\text{C}$	26,565	26,588	26,662	26,827	27,038
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	$^\circ\text{C}$	31,817	31,961	32,150	32,650	33,283
$\tau_{\text{п}}^{\text{min}}$	$^\circ\text{C}$	21,985	21,868	21,838	21,845	21,860
$\tau_{\text{п}} \pm \Delta/2$	$^\circ\text{C}$	4,916	5,047	5,156	5,403	5,711
$t_{\text{k}}^{\text{max}}$	$^\circ\text{C}$	53,099	70,756	89,960	110,331	130,667
$Q_{\text{п}}^{\text{ср}}$	Вт/м ²	46,814	46,442	44,758	45,149	41,067
$Q_{\text{п}}^{\text{max}}$	Вт/м ²	72,545	69,418	63,880	64,415	54,494
$Q_{\text{п}}^{\text{min}}$	Вт/м ²	27,390	28,375	28,556	28,789	28,341
$Q_{\text{п}} \pm \Delta/2$	Вт/м ²	22,578	20,521	17,662	17,813	13,076
M по $Q_{\text{п}}$		0,482	0,442	0,395	0,395	0,318
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср.в}}$	$^\circ\text{C}$	26,575	26,796	27,389	28,311	29,458
$\tau_{\text{п}}^{\text{ср.н}}$	$^\circ\text{C}$	26,555	26,379	25,935	25,343	24,618
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	$^\circ\text{C}$	31,831	32,505	34,295	37,035	40,279

Із проведених досліджень випливає, що при товщині акумуляційного шару 0,035 м гранично допустима різниця температури у 1 $^\circ\text{C}$ досягається при кроці укладання кабелю 0,175 м (рис. 3.20). Модифікований критерій (3.40) не відповідає жодному із варіантів 1 – 9, і ні за яких режимних та конструктивних параметрів не вдається досягти необхідних санітарно-гігієнічних умов при малій товщині акумуляційного шару (табл. 3.11). Параметри технології ЕТА-обігріву при товщині акумуляційного шару 0,065 м наведено у табл. 3.12 (варіанти 6-10). Звідси гранично-допустима різниця температур у 1 $^\circ\text{C}$ досягається при кроці укладання кабелю 0,26 м (рис. 3.20.) Модифікований критерій (3.40) не відповідає жодному із варіантів. Як і раніше, при жодних режимних і конструктивних параметрах не вдається досягти необхідних санітарно-гігієнічних умов.

Дані при товщині акумуляційного шару 100 мм містяться у табл. 3.13 (варіанти 11–15).

Варіант 11. Відповідає всьому комплексу вимог технології ЕТА-обігріву, за винятком температури поверхні підлоги над віссю кабелю $\tau_{\text{п}}^{\text{max}} = 30,127 \text{ } ^\circ\text{C}$, при цьому різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}} = 0,005 \text{ } ^\circ\text{C}$, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}) / s / 2 = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C/м}$.

Варіант 12. Середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 0,491 °С. При інших параметрах варіант задовольняє комплекс вимог технології ЕТА-обігріву: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}} = 0,144 \text{ } ^\circ\text{C}$, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}) / s / 2 = 0,36 \text{ } ^\circ\text{C/м}$.

Таблиця 3.13

Параметри технології ЕТА-обігріву при товщині акумуляційного шару 0,1 м

Параметри	Одиниця виміру	Номери варіантів розрахунків				
		11	12	13	14	15
s	м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$t_{\text{п}}^{\text{сер}}$	°С	17,576	17,572	17,570	17,569	17,568
$t_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	18,273	18,523	18,628	18,684	18,713
$t_{\text{п}}^{\text{min}}$	°С	16,787	16,563	16,472	16,431	16,410
$t_{\text{п}} \pm \Delta/2$	°С	0,743	0,980	1,078	1,127	1,152
$\tau_{\text{п}}^{\text{сер}}$	°С	26,471	26,491	26,519	26,591	26,695
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	30,133	30,240	30,313	30,477	30,744
$\tau_{\text{п}}^{\text{min}}$	°С	23,081	23,013	22,990	22,989	22,994
$\tau_{\text{п}} \pm \Delta/2$	°С	3,526	3,614	3,662	3,744	3,875
$\tau_{\text{k}}^{\text{max}}$	°С	52,719	70,320	89,181	108,909	129,141
$Q_{\text{п}}^{\text{сер}}$	Вт/м ²	46,569	46,497	45,937	44,153	43,314
$Q_{\text{п}}^{\text{max}}$	Вт/м ²	64,570	62,982	60,764	56,081	53,999
$Q_{\text{п}}^{\text{min}}$	Вт/м ²	31,765	32,695	33,027	32,928	32,916
$Q_{\text{п}} \pm \Delta/2$	Вт/м ²	16,403	15,143	13,869	11,576	10,541
M по $Q_{\text{п}}$		0,352	0,326	0,302	0,262	0,243
$\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}}$	°С	26,474	26,563	26,859	27,404	28,152
$\tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}$	°С	26,469	26,419	26,178	25,777	25,238
$\tau_{\text{п}}^{\text{max}}$	°С	30,127	30,372	31,173	32,693	34,789

При подальшому збільшенні кроків температура на жилі кабелю перевищила граничне значення на $89,181 - 80 = 9,181 \text{ } ^\circ\text{C}$, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на 0,519 °С. Середнє значення температури повітря відповідає нормі: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}} = 0,619 \text{ } ^\circ\text{C}$, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}) / s / 2 = 1,135 \text{ } ^\circ\text{C/м}$.

Варіант 14. Температура на жилі перевищила граничне значення на $108,909 - 80 = 28,909$ °С, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на $0,591$ °С. Середнє значення температури повітря в нормі: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}} = 1,627$ °С, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}) / s / 2 = 2,0337$ °С/м.

Варіант 15. Температура на жилі кабелю перевищила граничне значення на $129,141 - 80 = 49,141$ °С, середня температура поверхні підлоги перевищила норму на $0,695$ °С. Середнє значення температури повітря відповідає нормі, а мінімальне значення трохи менше за нормативне значення: різниця $\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}} = 2,914$ °С, шуканий градієнт дорівнює $(\tau_{\text{п}}^{\text{сер.в}} - \tau_{\text{п}}^{\text{сер.н}}) / s / 2 = 2,914$ °С/м.

Дослідження доводять, що при товщині акумуляційного шару $0,1$ м:

- граничнодопустима різниця температури у 1 °С досягається при кроці укладання кабелю $0,335$ м (рис. 3.20.), що задовольняє варіанти 11, 12 і 13;
- модифікований критерій (3.40.) задовольняють варіанти 11, 12 і 13; при цьому варіант 13 не відповідає критерію (3.38.) $t_{\text{к}}^{\text{max}} = 89,181 > 70$ °С;
- увесь комплекс нормованих технологічних критеріїв (3.36.) – (3.40.) задовольняють варіанти 11, 12.

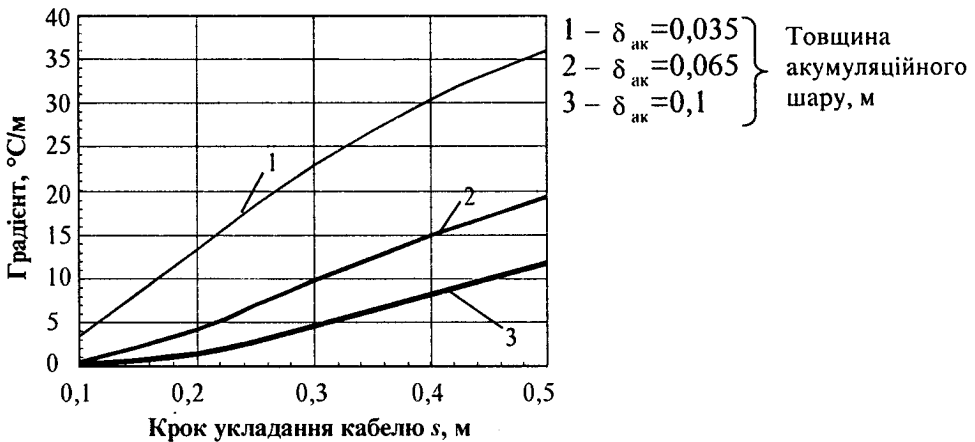


Рис. 3.21. Графіки залежності градієнта температури впоперек закладки нагрівальних кабелів від кроку їх укладання і товщини акумуляційного шару

На рис. 3.21 зображено узагальнені результати дослідження залежності градієнта впоперек закладки кабелів від кроку їх укладання.

3.4.4. Визначення коефіцієнтів M-нерівномірності гріючої підлоги періодичної дії

Саме на використанні коефіцієнта M засновується метод, найбільш відомий для теплофізичних розрахунків теплового стану приміщень із періодичним опаленням [114]. До останнього часу значення M теплоемних приладів опалення визначалося експериментальним шляхом у певних лабораторних умовах за існуючими методиками. Але підлога із вмонтованим нагрівальним кабелем є специфічною системою опалення, яку важко змоделювати

в лабораторних умовах. Сучасні комп'ютерні технології моделювання теплового стану будівельних приміщень дозволяють за результатами розрахунків визначати значення коефіцієнта M гриучої підлоги як опалювального приладу періодичної дії.

У подальших розрахунках використовувалася описана у 3.2.3. комп'ютерна модель. Методика визначення M включає розв'язання в нестационарній постановці задач теплообміну в системі «нагрівальний кабель – підлога – повітря – приміщення – сусідні приміщення – огорожувальні конструкції – зовнішнє середовище» при певних спектрах початкових та граничних умов і певних інтервалах змін незалежних змінних та параметрів (інтенсивність тепловиділення, глибина, крок закладання нагрівального кабелю, товщина характерних шарів підлоги, геометрія огорожень, кліматологічні характеристики, тощо). Потім проводиться узагальнення одержаних результатів шляхом побудови функцій $M=F(t, \text{ГФ}, \text{НУ}, \text{ГУ}, \text{ТФХ}, \text{КТМП} \dots)$ у табличних або графічних виглядах. Оскільки число сполучень аргументів задачі є великим, то доцільно визначати найбільш важливі спектри змінних.

Використання розробленої методики демонструється на розв'язанні ряду інженерних задач, таких як дослідження залежності коефіцієнта нерівномірності тепловіддачі опалювального приладу M від товщини акумуляційного шару підлоги при різних товщинах стін і при різних тривалостях «зарядження». Графік залежності M від товщини акумуляційного шару при різній товщині стін зображено на рис. 3.22. У конструкції підлоги шар теплоізоляції відсутній, потужність тепловиділення – 60 Вт/м^2 . Як видно з графіка, товщина огорожувальних конструкцій мало впливає на величину M .

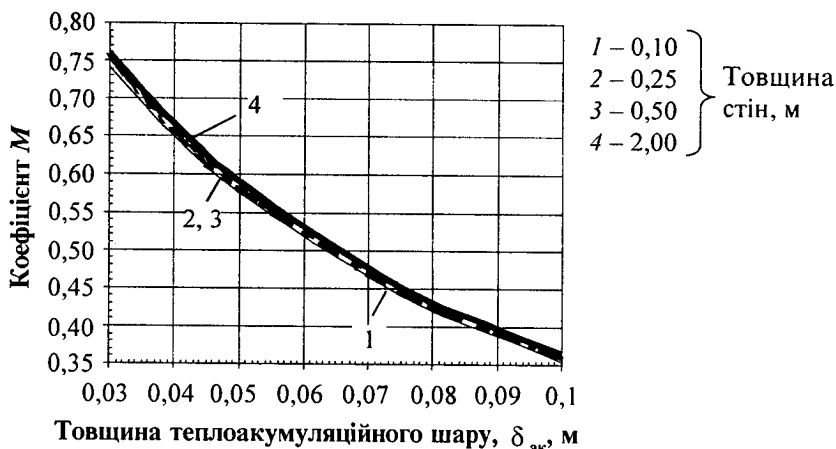


Рис. 3.22. Графік залежності коефіцієнта M від товщини акумуляційного шару підлоги при різних товщинах стін

Одержані результатами підтверджують і пояснюють емпіричний факт високої теплостійкості будинків з ЕКСО ТА у випадках вимушеної перерви в електропостачанні. Знання M дає змогу скористатися формулами для визначення амплітуди відхилення коливальних від середнього значення температури повітря приміщення A_0 при періодичному опаленні.

Підсумуємо деякі результати дослідження теплофізичних засад ЕТА-обігріву як споживача регулятора нового типу. *Принциповим є позитивний висновок про саму можливість, навіть в умовах найхолоднішого дня (-25°C для Києва), забезпечити за до-*

помогою електротеплоакумуляційного кабельного обігріву з використанням електроенергії виключно в години нічного «провалу» графіка навантажень ОЕС України задані параметри мікроклімату. Цей висновок підтверджений більш детальними розрахунками як за допомогою комп'ютерних технологій моделювання теплового стану приміщень з ЕТА-обігрівом [66, 67], так і експериментально [124].

Результати дослідження залежності коефіцієнта M від товщини акумуляційного шару підлоги при різних тривалостях «зарядження», зображено на рис. 3.23 (для 7, 8, 10, 12 годин «зарядження» підлоги при $t_3 = -22^\circ\text{C}$ і при $t_3 = -15^\circ\text{C}$), мають такий вигляд, відповідно до СКВ 0,9996:

$$M_7 = -1,2268 \ln(\delta_{\text{ак}}) - 1,5289;$$

$$M_8 = -1,1222 \ln(\delta_{\text{ак}}) - 1,3676;$$

$$M_{10} = -0,9513 \ln(\delta_{\text{ак}}) - 1,1277;$$

$$M_{12} = -0,8048 \ln(\delta_{\text{ак}}) - 0,9415.$$

Також при розрахунках ЕТА-обігріву особливу увагу варто приділяти аналізу впливу різних факторів і параметрів на динаміку процесу, у тому числі, від чого більше залежить теплостійкість приміщення при ЕКСО: від поліпшення теплоізоляційних властивостей зовнішніх стін чи від теплоакумуляції у внутрішніх конструкціях. Також одержано, що на базі теорії теплостійкості при проектуванні внутрішніх перегородок (вибір конструкції і матеріалу) слід виходити з умови забезпечення максимальних теплоакумуляційних властивостей сумарного показника теплоінерції ΣD та показника теплопоглинання – цих огорожень. При цьому рекомендується замінити звичайні масивні конструкції огорожень, включаючи підлогу, більш легкими, але з підвищеним прогрівом внутрішніх шарів.

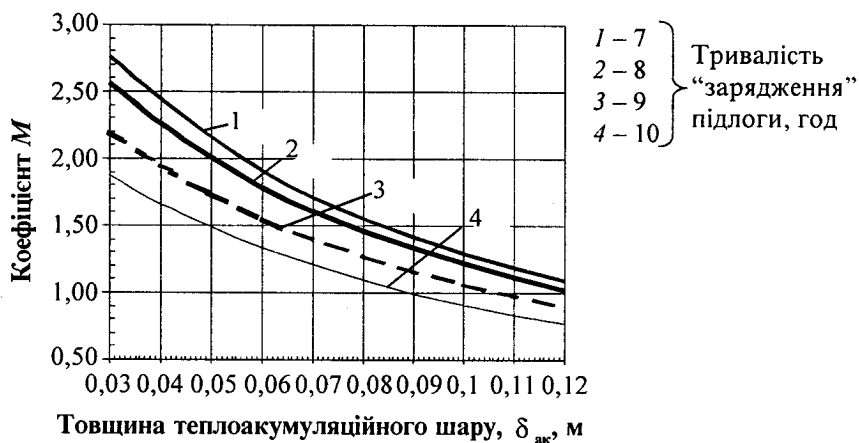


Рис. 3.23. Графік залежності коефіцієнта M від товщини акумуляційного шару підлоги при різних тривалостях її «зарядження»

За допомогою викладеного спрощеного (на базі теорії теплостійкості) теплофізичного підходу до проблематики ЕТА-обігріву було виявлено основні параметри, від яких залежить динаміка процесу опалення приміщення з урахуванням теплоакумуляційних властивостей будівельних огорожень, одержано основні уявлення про динаміку процесу «нагрівання-охолодження». Але найбільш детальні та точні розрахунки

можна одержати лише з використанням чисельних методів. Вони дозволяють визначити температурні поля з урахуванням нелінійних теплофізичних властивостей, нестационарних початкових і граничних умов, реальної геометрії приміщень та умов закладення грюючих кабелів.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що нормовані технологічні критерії (3.2.4) та нормована середньодобова амплітуда коливань температури повітря у приміщенні досягаються при товщині бетонного акумуляційного шару 0,1 м. Зауважимо, що ця товщина близька до товщини шару різких коливань бетонного масиву, на поверхні якого амплітуда коливань температури загасає в 2 рази. Подальше гасіння температурної хвилі на шляху до внутрішньої поверхні бетонного шару відбувається повільно, у результаті чого максимальна температура цієї поверхні зменшується, асимптотично наближаючись, але не досягаючи $+28^{\circ}\text{C}$ у всьому розглянутому діапазоні товщин, а ще більше потовщення підлоги навряд чи є доцільним. Звідси висновок, що одним потовщенням бетонного шару одержати нормовану максимальну температуру підлоги не вдається. Потім недоодержана невелика кількість тепла поповнюється застосуванням як в нічний, так і в денний час додаткових «пікових» опалювальних приладів [76]. Оскільки період із низькими температурами повітря в Україні є нетривалий, то такий підхід видається цілком слушним.

Тобто з теплофізичної точки зору в кліматичних умовах України ЕТА-обігрів є реальною альтернативою центральному опаленню будь-якого житлового приміщення. При цьому, хоча вимоги до акумуляції тепла в конструкції підлоги і санітарно-гігієнічні вимоги до підлоги суперечать одна одній, тим не менше за допомогою теорії теплостійкості можна знайти їх раціональне сполучення.

Одержані результати значною мірою також відносяться до будь-якого виду тепло-акумуляційного обігріву, у тому числі такого, що здійснюється за допомогою тепло-акумуляційних електронпечей або теплонасосних установок. Але варто пам'ятати, що, при інших рівних техніко-економічних властивостях, тільки ЕТА-обігрів грюючою підлогою забезпечує одночасно найбільш фізіологічний для людини вид опалення, відомий як променево-панельне опалення.

Глава 4. ЕКОНОМІЧНІ, НОРМАТИВНІ ТА ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КАБЕЛЬНОГО ЕТА-ОБІГРІВУ

Розширення масштабів використання електричної енергії для теплозабезпечення та ГВП повинне мати належне техніко-економічне, нормативне та технічне обґрунтування. Частина техніко-економічних та інших аспектів використання та впровадження електрокабельних систем опалення, у тому числі тих, які виникають при реконструкції споруд масових серій 60-70-х років, уже розглядалася вище [14, 15]. У [3, 60, 63] було показано, що в Україні акумуляційний електрообігрів можна розглядати як альтернативу спалювання природного газу в системах теплопостачання. ЕТА-обігрів може стати одним із прийнятних засобів підвищення енергоефективності об'єктів ЖКК та АПК. Розглянемо нові дані щодо подальшої поглибленої електрифікації ЖКК та АПК.

4.1. Технічно-економічні основи впровадження кабельного ЕТА-обігріву

Зараз особливо актуальними стають питання економічної доцільності електроопалення. Детальні міркування щодо економічного аспекту та енергоефективності впровадження ЕКСО у ЖКК України містяться у [59, 69, 74]. Коли йдеться про джоулеве, або резистивне, електроопалення, єдиною його негативною властивістю, звичайно, вважається майже подвійні (від 267 до 369 г.п. порівняно з 140+221 г.п. [32]) витрати палива на виробництво 1 кВт•год теплової енергії. У більшості країн ціна на електричну енергію у два – п'ять разів перевищує ціну на природний газ. Зрозуміло, що вказане співвідношення, або індекс тарифної вартості електричної енергії $i_{\text{ееПГ}}$, зазвичай перевищує відповідне співвідношення тарифів на теплову енергію і природний газ¹. За аналогією останнє співвідношення також можна назвати тарифним індексом, але стосовно теплової енергії $i_{\text{теПГ}}$ та електроенергії $i_{\text{ееПГ}} \geq i_{\text{теПГ}}$. Із цього випливає, що заміна природного газу (найбільш дешевого первинного енергоносія) на електроенергію у технологіях теплопостачання є економічно недоцільною. Але при цьому не враховується, що за комфортністю, зручністю споживання та регулювання, економічністю, екологічністю в місці споживання 1 кВт•год теплової енергії, одержаної шляхом трансформації електричної енергії у променево-конвективних системах опалення, набагато перевищує властивості тієї ж 1 кВт•год теплової енергії, одержаної з теплоцентралі. Тому за комплексом більш якісних споживчих характеристик і параметрів реальна споживча якість 1 кВт•год «електричної» теплової енергії повинна бути набагато вищою. Дійсне її кількісне значення встановиться в умовах вільного доступу до обох видів опалення на базі дії механізму попиту-пропозиції. Тобто реальні ціни на електроопалення утворюються лише після установлення збалансованого попиту-пропозиції на послуги електрообігріву. Але дію цього механізму поки що заблоковано відсутністю як вільних процесів ціноутворення на енергоринку (наприклад, замість відпускних цін працюють тарифи), так і інформації у споживачів, у тому числі у населення, про якість та інші властивості електроопалення (домінують стереотипи старої, доринкової економіки, про недоцільність електроопалення у побутовій сфері). Підрахуємо вартості теплової, електричної та

¹ За даними Інституту загальної енергетики НАН України.

джоулевої теплової енергії та їх співвідношення, а також співвідношення вартостей електроопалення та традиційного опалення шляхом аналізу різноманітних існуючих вартісних показників опалення та його паливних складових.

Співвідношення вартості 1 кВт*год теплової, 1 кВт*год електричної та 1 кВт*год джоулевої теплової енергії. У табл. 4.1 наведено дані про вартість паливної складової енергії (ПСЕ) та їх зіставлення з тарифами і цінами на теплову та електричну енергію. У розрахунках передбачено, що витрати первинних енергоресурсів (ПЕР) на виробництво теплової і електричної енергії складають, за середніми даними, 0,15 та 0,267 кг у.п./кВт*год. Вважається, що джоулева трансформація характеризується 100 % ефективністю, паливна складова у процесах вироблення теплової енергії з природного газу та рідкого палива дорівнює 0,8; з вугілля – 0,6. Джерелом даних про вартість 1 кВт*год електроенергії є існуючі тарифи для певної категорії споживачів електроенергії – населення. Вартість ПЕР визначено за даними, що містяться в літературі і розглядаються в інтервалі від мінімального значення до середнього.

Таблиця 4.1

Вартість паливної складової енергії (ПСЕ) та тарифи на теплову та електричну енергію (вартість ПЕР станом на червень 2005 р.)

Найменування постачальника енергії або ПЕР	ПСЕ з ПДВ, грн./кВт*год		Вартість електроенергії, грн./кВт*год
	теплова	електрична	
1. НЕК УЕ, для населення, що проживає у будинках, обладнаних кухонними електроплитами, електроопалювальними установками (у т.ч. у сільській місцевості)		0,12	0,12
2. НЕК УЕ, ставка при експорті до РФ		0,0707	0,0707
3. НЕК УЕ, ставка при експорті до Молдови		0,1104	0,1104
4. НЕК УЕ, середня експортна ставка для Румунії, Угорщини, Польщі, Словаччини		0,1272	0,1272
5. НЕК УЕ, пільговий інтервал		0,04	0,04
6. Газ природний (метан), при ціні 331 грн. за 1000 м ³ (або 249 грн. за 1 т.у.п.; калорійний еквівалент 1,327)	0,0374	0,0665	0,0831*
7. Газ природний (метан), при ціні 344 грн. за 1 т.у.п.	0,0516	0,0917	0,1147*
8. КиївЕнерго, для ЖЕКів	0,0561		
9. КиївЕнерго, для бюджетних споживачів	0,0668		
10. Вугілля (305 грн. за 1 т.у.п. або 183 грн./т бурого українського вугілля, калорійний еквівалент 0,6)	0,0458	0,0813	0,136*
11. Дизпаливо ДП (3210 грн. за 1 т.у.п. або 3,85 грн./л)	0,4815	0,8561	1,070*
12. Уран (при ціні придбання 46 грн. за 1 т.у.п.) за [87, 88]	0,0069	0,0123	0,025

Примітка. *Значення коефіцієнта, який враховує частку паливної складової у вартості 1 кВт*год прийнято: для вугілля 0,6; для природного газу та дизпалива 0,8.

З урахуванням відомостей про собівартість електричної енергії, яка виробляється на АЕС (2,5 коп./кВт*год), та даних про ціну придбання ядерного пального (1,23 коп./кВт*год) можна прийти до висновку, що значення відповідного для атомної енергетики коефіцієнта, що враховує частку паливної складової у вартості 1 кВт*год, складає ≈0,5. При цьому необхідно враховувати, що до цього часу відсутнє загально-

прийняте співвідношення витрат ядерного пального і виробленої на АЕС електроенергії. Поняття так званої «умовно-первинної ядерної енергії», що міститься у тепловиділяючій збірці (одиниця обліку ядерного пального) зазнає критики [87, 88]. Але при повній відсутності викидів NO_x , SO_2 , золи, CO , CO_2 ціна придбання урану дорівнює 46 грн. за 1 т.у.п. у той час, як 1 т.у.п. з природного газу у 2005 р. коштувала 344 грн., а 1 т.у.п. з вугілля – 305 грн. [87, 88].

Дані табл. 4.1 ілюструють існування певного паритету цін на вартість 1 кВт•год теплової (рядки 6, 7, 10), 1 кВт•год електричної та 1 кВт•год джоулевої теплової енергії (рядок 1).

Ще недавно в Україні впродовж минулого десятиріччя індекс $i_{\text{сепГ}}$ (співвідношення між вартістю 1 кВт•год електричної (0,12 грн./кВт) енергії та вартістю паливної складової – природного газу (50 \$/1000 м³) – при одержанні 1 кВт•год теплової енергії) складав 5:1. Співвідношення 5:1 швидше було результатом дії неринкових засобів керування енергоринком. У країні з розвинутою ядерною енергетикою індекс $i_{\text{сепГ}}$ повинен бути меншим, аніж у будь-якій іншій країні з дефіцитом вуглецево-водневих ПЕР. Для України очікується, що це співвідношення з часом зменшиться з 5:1 до 2:1. Це буде можливим лише за умови суттєвої зміни тарифної політики щодо співвідношення вартостей електроенергії для різних категорій її споживачів. Законом України «Про електроенергетику» (ВВР, 1998, № 1, ст.1, зі змінами, внесеними згідно із Законами) електрична енергія, «що виробляється на об'єктах електроенергетики» визначається «товарною продукцією, призначеною для купівлі-продажу». Найхарактернішою особливістю електроенергії як товару є одночасність виготовлення і споживання електроенергії. Через ці особливі споживчі властивості та фізико-технічні характеристик практично неможливе її складування, повернення, що загострює питання енергоефективності, регулювання та регламентації використання електроенергії як товару.

Але до сьогодні норма «електроенергія – це товар» більше декларується, ніж виконується. Виходячи з політичних міркувань, в Україні штучно підтримується ситуація так званого перехресного субсидіювання населення промисловими споживачами електроенергії. У більшості розвинених країн, навпаки, населення платить більше, ніж промисловці, що ілюструє табл. 4.2¹ [96], у якій наведено дані зі співвідношення вартостей електроенергії для побутових і промислових споживачів країн Європи. Варто також враховувати, що в цілому електрична енергія є особливим видом товару з обмеженою здатністю саморегулювання відношення попиту/пропозиції. При підвищенні ціни електроенергії обсяги її споживання майже не падають, а при зниженні вартості електроенергії, навпаки, стрімкого зростання попиту не спостерігається. На стимулювання ефективного використання енергоресурсів більш активний вплив має вартість ПЕР.

До речі, в Україні вказане вище співвідношення цін на електричну енергію може бути меншим, ніж у два рази і теоретично, граничне співвідношення цін на електричну енергію і природний газ в Україні може сягнути 1:1. Причиною цього є висока (50 %) частка АЕС у балансі виробництва електроенергії, внаслідок чого на виробництво 1 кВт•год електроенергії витрачається значно менша кількість теплоспоживання у вуглецево-водневих ПЕР (природного газу, нафти і т.п.). За деякими даними, собівартість електроенергії на АЕС донедавна складала 2,5 коп./кВт•год, а вартість електроенергії, що експортується до Росії – 7,5 коп./кВт•год. Тому більш реальне співвідношення цін на електричну енергію і природний газ в Україні починається

¹ У колишньому СРСР ціни на електроенергію для побутових споживачів також були помітно вищі, ніж для промислових.

з $i_{\text{сепг}} \in [1,5;1]$. У цілому, як переконаємося далі, аналіз підтверджує економічну доцільність електроопалення у певних інтервалах потужностей ОЕС. Розглянемо це питання детальніше.

Таблиця 4.2

Ціна (цент/кВт•год) електроенергії на оптовому ринку [96]

№ п/п	Країна	Споживачі		Співвідношення
		побутові	промислові	
1	2	3	4	5
1.	Албанія	2,86	3,96	0,72
2.	Болгарія	3,20	4,19	0,76
3.	Україна	2,15	2,62	0,82
4.	Естонія	3,71	3,80	0,98
5.	Латвія	4,84	4,84	1,00
6.	Молдова	5,18	4,97	1,04
7.	Литва	5,34	4,57	1,17
8.	Угорщина	6,24	5,21	1,20
9.	Вірменія	3,69	3,04	1,21
10.	Чехія	5,96	4,68	1,27
11.	Польща	6,81	4,96	1,37
12.	Румунія	4,81	3,57	1,35
13.	Словаччина	6,28	4,35	1,44
14.	Грузія	3,71	2,12	1,75
15.	Велика Британія	10,10	4,96	2,04
16.	Німеччина	16,67	7,90	2,11
17.	Іспанія	14,33	5,58	2,57
18.	Голландія	16,10	5,75	2,80
19.	Франція	10,17	3,58	2,84
20.	Швеція	10,26	3,42	3,00

Для подальших прогнозних розрахунків виходимо з того, що після лібералізації енергоринку в Україні вартість електроенергії для побутових споживачів буде в півтора рази більшою, ніж для промислових споживачів. При цьому ціна природного газу в розглядуваний період не підвищиться, курс долара суттєво не зміниться, а співвідношення вартості теплової енергії і паливної складової в умовах центрального теплопостачання змінюється від 1,5 до 4. При таких припущеннях співвідношення вартості 1 кВт•год теплової енергії, одержаної трансформацією електричної енергії, і 1 кВт•год теплової енергії, придбаної із системи центрального теплопостачання, змінюється від 2 до 0,75. Якщо будуть задіяні пільгові тарифи на електричну енергію (з тарифними коефіцієнтом ≥ 2 у нічний мінімум енергетичної системи), то використання електроопалення буде доцільним у будь-якому випадку.

Усе це вказує на вартісні перспективи резистивного електроопалення у майбутньому в разі економічної лібералізації вітчизняного енергоринку, навіть при частково технічно обумовлених подвійних витратах органічного палива на виробництво 1 кВт•год електричної енергії порівняно з витратами палива на виробництво 1 кВт•год теплової енергії. Крім того, електроопалення можна віднести до категорії промислового споживання з установленням спеціального тарифу. Але його запровадження гальму-

вала відсутність у той час масових засобів надійного контролю використання та обліку електричної енергії, призначеної саме для опалення. Зараз багатозонний, у тому числі з функцією передоплати, облік електроенергії в Україні не є проблемою. Це тільки технічне питання, яке вже вирішене.

Співвідношення вартостей традиційного (на базі СЦТ) хатнього опалення та електрообігріву. Спершу проведемо аналіз контрольних (нормативних) показників річного споживання теплової енергії для систем опалення житлових і громадських будівель (за СНиП 2.04.05.91*У, Додаток 25 обов'язковий [97]). У табл. 4.3 містяться результати розрахунку граничної вартості послуги опалення приміщення загальною площею 50 м², яка розрахована за вказаними граничними нормами опалення.

Таблиця 4.3

Вартість (тепл./рік) електроопалення у житловому багатопверховому будинку, виходячи з контрольних показників питомого теплоспоживання і тарифу 12 коп./кВт•год

№ п/п	1	Кількість поверхів	Кліматичні зони України			
			1	2	3	4
2	3	4	5	6	7	
1	Одноквартирний житловий будинок	1	1283,33	1200,00	1050,00	833,33
2	Одноквартирний житловий будинок	2	1166,67	1083,33	933,33	750,00
3	Одноквартирний житловий будинок	1	1083,33	983,33	866,67	683,33
4	Двоквартирний житловий будинок	2	983,33	900,00	783,33	633,33
5	Секційний житловий будинок РУПЖБС*	3	833,33	750,00	666,67	516,67
6	Секційний житловий будинок РУПЖБС	4	783,33	716,67	633,33	483,33
7	Секційний житловий будинок РУПЖБС	5	750,00	683,33	600,00	450,00
8	Секційний житловий будинок РУПЖБС	9 по 10	683,33	633,33	566,67	416,67
9	Секційний житловий будинок РУПЖБС	12 по 16	750,00	683,33	600,00	483,33
10	Секційний житловий будинок РУПЖБС	>16	816,67	750,00	666,67	516,67
11	ТЖБСРО	5	783,33	716,67	633,33	516,67
12	ТЖБСРО	9 по 10	716,67	666,67	566,67	450,00
13	ТЖБСРО	12 по 16	783,33	716,67	650,00	516,67
13	ТЖБСРО	>16	833,33	783,33	683,33	533,33
14	ТЖБС2з	5	783,33	750,00	666,67	533,33
15	ТЖБС2з	9 по 10	750,00	683,33	600,00	483,33
16	ТЖБС2з	12 по 16	816,67	750,00	666,67	533,33
17	ТЖБС2з	>16	866,67	816,67	716,67	566,67
18	ОсЖД	12 по 16	850,00	800,00	683,33	550,00
19	ОсЖД	>16	933,33	866,67	783,33	600,00
20	ОсЖД СК	12 по 16	833,33	783,33	683,33	566,67
21	ОсЖД СК	>16	900,00	833,33	750,00	600,00

* Умовні позначення: СЖД – секційний житловий будинок; РУПЖБС – рядова, кутова, поворотна житлова блок-секція; ТЖБСРО – торцева житлова блок-секція з рядовим закінченням; ТЖБС2з – торцева житлова блок-секція з двома торцями; ОсЖД – односекційний житловий будинок; ОсЖД СК – односекційний житловий будинок складної конфігурації у плані.

Було використано звичайний (12 коп./кВт•год) тариф на електроенергію для будинків, обладнаних електроплитами. Наприклад, електроопалення прямої дії (без використання ЕТА-модифікації ЕКСО) квартири з рядових житлових блок-секцій у секційному

будинку (табл. 4.3, рядок 9) коштує до 750 грн. на рік. Для порівняння були використано дані з оплати (щомісячно 41,2 грн.) центрального опалення квартири площею 50 м² у 16-поверховому будинку, розташованому у м. Київ (1 кліматична зона). За 1 рік оплата центрального опалення складає 494,4 грн. Ця величина (750,0 грн.) перевищує вартість звичайного опалення (494,4 грн.) лише на 50 %. З урахуванням комфортності електроопалення, його енергоощадності, можна стверджувати, що електроопалення навіть при діючих тарифах у 2005 – 2006 рр., є економічно привабливим у випадку, коли будівлю збудовано і експлуатують згідно з нормативними вимогами. Картина кардинально змінюється, якщо використати ЕТА-модифікацію опалення і до сплати послуг електроопалення застосувати діючі пільгові тарифи. Якщо використати нічний тариф (4 коп./кВт*год), то побачимо, що електроопалення є *удвічі* дешевшим за центральне водяне опалення при одночасно вищій якості послуги.

Аналогічною є ситуація і з гарячим водопостачанням. Наприклад, у Києві у випадку встановлення квартирної лічильника тариф централізованого гарячого водопостачання складає 3,72 грн./м³ і, щонайменше, є утричі дешевшим, коли гаряча вода сплачується за колективним планом рахунків. При використанні електроекотла вартість гарячої води при тарифі 0,12 грн./кВт*год становить 8,37 грн./м³ (при розрахункових температурах гарячої і холодної води, відповідно 65 і 5 °С [98]) або 5,51 грн./м³ (при розрахункових температурах гарячої і холодної води, відповідно 55 і 15,5 °С). Гаряча вода у централізованих системах гарячого водопостачання у 2,25 - 1,28 разів дешевше, ніж від індивідуальних водонагрівачів. При пільгових тарифах на електроенергію (0,04 грн. кВт*год), навпаки, гаряча вода від індивідуальних акумуляційних електроводонагрівачів буде у 2,02 - 1,33 разів дешевшою, ніж у централізованих системах гарячого водопостачання і складає 2,79 та 2,02 грн./м³ (відповідно, при розрахункових температурах гарячої і холодної води, 55 і 15,5 °С).

Порівняння ЕТА-обігріву з традиційною системою опалення. На прикладі реального будівельного проекту було проведено порівняння ЕТА-обігріву з традиційною – центральною водяною системою опалення. Одним із таких проектів є висотний монолітно-каркасний (ВМК) житловий комплекс по вул. Булаховського, 2 у Києві, рис. 3.11. Його попередниками були будинки на вул. Анрі Барбюса, 16а; вул. Княжий Затон, 3. Помешкання на вул. Булаховського, 2 запропоновано споруджувати за експериментальним проектом як будинок підвищеної комфортності. У цей комплекс входить ВМК будинок баштового типу з площею квартир 14 945 м². Основне приміщення квартири – вітальня – характеризується високим (50 %) коефіцієнтом скління. У проекті використано новий підхід до опалення будинку: запропоновано електроопалення. Сумарні розрахункові витрати електроенергії для задоволення потреб у тепловій енергії – 2 170 кВт, у тому числі на опалення – 1 050 кВт; вентиляцію – 720 кВт; гаряче водопостачання – 400 кВт. Теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будинку наведено у табл. 3.4.

Установлено, що за рахунок використання сучасних теплозберігаючих будівельних технологій в огорожувальних конструкціях та сучасних ЕТА-технологій опалення досягається ефект енергозбереження, а рівні екологічності, комфорту тощо, порівняно з традиційним опаленням, є набагато вищими. Капітальні витрати на влаштування обох видів опалення практично однакові (у цінах травня 2005 р. ЕТА-опалення на 1,28 % дорожче). За експлуатаційними витратами (за умови встановлення багатозонних тарифів на електроенергію та обліку її споживання) ЕТА-опалення дешевше на 492,38 тис. грн./рік. Припускається використання комбінованих (два варіанти) систем опалення, коли тільки частина потреб у теплоті задовольняється за рахунок традиційної системи

опалення. У 1-му варіанті традиційним шляхом опалюється тільки частина поверхів, а решта – ЕТА-опаленням. У 2-му варіанті обидві системи опалення охоплюють увесь будинок і працюють спільно. При цьому ЕТА-опалення нагріває приміщення до показників комфортного мікроклімату.

Зараз нараховується сотні житлових об'єктів типу котеджів, які обігріваються кабельними нагрівальними системами. Крім того, розроблено декілька технічних проектів із проектною та кошторисною документацією для основних категорій об'єктів упровадження: адміністративну будівлю, фельдшерсько-акушерський пункт, загальноосвітню школу, малоповерховий житловий будинок (МПЖБ). Ці об'єкти, разом із вказаними вище проектами ВМКБ, формують основний типаж сучасних і перспективних об'єктів упровадження електрообігріву в ЖКК та АПК України, у яких передбачено стовідсоткове електричне опалення (на базі ЕТА-технології) та гаряче водозабезпечення з використанням електроенергії для підігріву виключно у години нічного мінімуму.

Звертаючись до досвіду СНД, варто згадати, що в Єкатеринбурзі побудовано багатопверховий будинок з електроопаленням прямої дії за допомогою конвекторів. У Петрозаводську цілий квартал у центрі міста опалюється виключно електрообігрівом. Позитивним є досвід у будівництві помешкань з електроопаленням в Астані (Казахстан). У Хмельницькій області більше двох десятків сільських шкіл та інших об'єктів державної сфери обігріваються виключно за допомогою акумуляційних систем електрообігріву. В останньому випадку у більшості шкіл електроопалення є утричі дешевшим від попереднього – водяного з котлами на твердому паливі (вугіллі).

Тарифи. Кінцеве співвідношення усіх витрат на виробництво, транспортування, соціальні та подібні складові у вартості 1 кВт•год «електричної» теплової енергії і 1 кВт•год теплової енергії, одержаної шляхом прямого спалювання, знаходить своє виявлення у тарифах на обидва види енергії. Що стосується тарифів на електроенергію, то НКРЕ України Постановою від 19.07.2005 № 529 для кожного періоду (нічний, денний, напівпіковий, піковий) та всіх сезонів встановлено тарифні коефіцієнти та тривалість періодів (табл. 2.2, 2.3).

За даними табл. 2.2, 2.3 кратність нічного та пікового тарифів дорівнює $1,8 : 0,25 = 7,2$. Наведені тарифи можуть використовуватися при сплаті послуг за електроопалення. Але самих тарифів не достатньо для впровадження систем електрообігріву. До існуючих організаційних засад застосування в Україні електричної енергії для обігріву необхідно залучити ще багато додаткових. Потрібно додати багато інших нормативних актів, регламентів (наприклад, відносно категорійності споживачів) щодо електрообігріву. Варто найближчим часом провести роботу з упорядкування та створення своєрідного Корпусу актів акумуляційного електрообігріву. Необхідною є розробка «Методики визначення енергоефективності електрообігріву». Зараз в Україні існує багато типів приладів багатозонного дистанційного обліку, які легко програмуються під будь-яку тарифну систему, як уже діючу диференційовану за часом, так і іншу, будь-якої складності. Справа навіть не в лічильниках, а в програмному забезпеченні. Тобто зараз немає перешкод для обліку спеціального тарифу на електроопалення, у тому числі з функцією передоплати, якщо буде визначено доцільним створення нової системи спеціальних тарифів на електричну енергію, дія якої поширювалася б виключно на електроопалення. Таким чином, оскільки електроенергетика України характеризується, з одного боку, профіцитом виробництва електричної енергії, а з іншого боку, – одночасним дефіцитом маневрових потужностей, то потужність електронагріву оцінюється лише різницею між вечірнім зимовим максимумом та нічним навантаженням ОЕС і складає 5 – 6 тис. МВт [77, 79]. Зараз, при ціні на природний газ

\$ 130 – 230 за 1 тис. м³, починає діяти фактор доцільності витіснення природного газу з систем теплопостачання і заміни його електротеплопостачанням. Реструктуризація споживання природного газу та електричної енергії буде проходити тим інтенсивніше, чим менше співвідношення цін на електричну енергію та на вуглеводневі палива. Саме в Україні завдяки їй ≈50 % частки електроенергії, що виробляються на АЕС, складаються економічні умови, які сприяють розвитку багатьох видів електроопалення – акумулюючі печі вітчизняного виробництва, системи кабельного обігрівання прямої та акумуляційної дії, акумуляційні бойлери, проточні електроводонагрівачі, теплові насоси, системи кавітаційного нагріву тощо.

Таким чином, сьогодні вартість електроопалення наближається до фактичної вартості послуг з існуючої зараз системи теплопостачання. Цей факт необхідно мати на увазі при спробах упорядкування тарифної політики у сфері електроопалення з урахуванням особливостей енергобалансу України. Але ціни на ПЕР, особливо на природний газ і, відповідно, на теплову та електричну енергію, які наведено у табл. 4.1, уже стали історією. З 1 січня 2006 р., згідно з угодою між РФ і Україною від 4 січня 2006 р., ціна на природний газ на кордоні Росія-Україна становить у 1 півріччі 2006 р. \$ 130–150 за 1 тис. м³ з відвертою перспективою їх подальшого підвищення. Очікується, що згодом ця ціна досягне європейського рівня, який зараз характеризується такими показниками: ціна 1000 м³ природного газу складає \$ 250 – 350 для промислових споживачів і \$ 500–600 – для побутових. Ціна за 1 кВт•год електричної енергії теж зростає, але не у такій пропорції. Прогнозується, що після лібералізації енергетичного ринку, вступу України до СОТ, співвідношення тарифів і цін на первинні енергоносії та електричну енергію буде перебувати в інтервалі 1,5 – 2. У табл. 4.4 та рис. 4.2 наведено оцінки даних щодо динаміки цін на природний газ (теплота згорання 38,9 МДж/м³=10,81 кВт•год), вартостей послуг з опалення у ЖКК України на період 2005 – 2030 рр.

Таблиця 4.4

Прогноз динаміки цін на природний газ та вартостей послуг з опалення у ЖКК України на період 2006-2030 рр.

Вартість енергоносіїв (теплова та електричної енергії)	Одиниця виміру	Рік						
		2005	2006	2010	2015	2020	2025	2030
ПС по ПГ	\$/1000 м ³	50	230	275	331,25	387,5	443,75	500
ПС по ПГ	\$/м ³	0,05	0,23	0,275	0,3312	0,3875	0,4437	0,5
ПС по ПГ	грн./кВт•год	0,0231	0,1064	0,1272	0,1533	0,1793	0,2053	0,2314
ТЕ (ЖКГ, населення)	грн./кВт•год	0,0464	0,2134	0,2550	0,3070	0,3590	0,4109	0,4627
ЕЕ, $i_{\text{еелПГ}}=4$	грн./кВт•год	0,12	0,5469	0,6298	0,7222	0,8023	0,8701	0,9254
ЕЕ, $i_{\text{еелПГ}}=3$	грн./кВт•год	0,12	0,5427	0,6043	0,6609	0,6948	0,7058	0,6941
ЕЕ, $i_{\text{еелПГ}}=2$	грн./кВт•год	0,12	0,5384	0,5789	0,5996	0,5872	0,5415	0,4627
ЕЕ, $i_{\text{еелПГ}}=1,5$	грн./кВт•год	0,12	0,5363	0,5662	0,5690	0,5334	0,4594	0,3470
ЕЕ, $i_{\text{еелПГ}}=1$	грн./кВт•год	0,12	0,5342	0,5534	0,5383	0,4796	0,3773	0,2314

Умовні позначення: ПГ – природний газ; ПС – паливна складова; ТЕ – теплова енергія; ЕЕ – електрична енергія у ЖКК (для населення, у квартирах, обладнаних електроплитами).

Взяті у цих розрахунках величини, їх фактичне значення та припущення наведено в табл. 4.5. Ще однією змінною у подібних прогнозних задачах є курс гривні. Але його надійні прогнози невідомі. Тому в першому наближенні беремо, що курс гривні до до-

лара незмінній і складає приблизно 5. Також невідомим є сценарій зростання цін на природний газ. Для варіантних розрахунків можна прийняти, що темп зростання ціни на природний газ у середньому на період до 2030 р. буде складати 10 %. Розрахунки для зменшення невизначеності ведуться з використанням безрозмірних величин $i_{\text{сепГ}}$, $i_{\text{тепГ}}$.

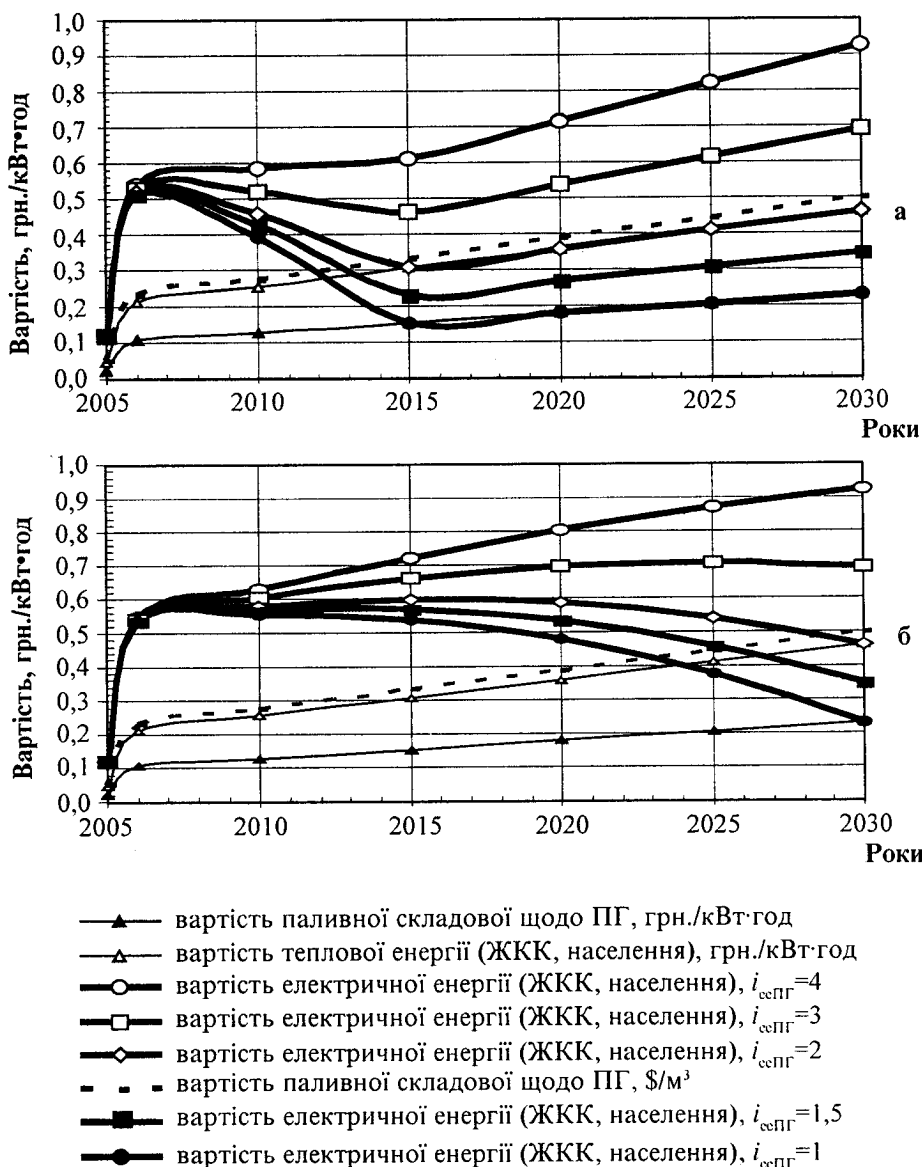


Рисунок 4.1. Динаміка цін на природний газ, вартість паливної складової послуг теплопостачання та електроопалення у період 2005-2030 рр.: а – $i_{\text{сепГ}}$ сягає свого граничного значення у 2015 р.; б – $i_{\text{сепГ}}$ сягає свого граничного значення у 2030 р.

**Усереднені показники (станом на 2005 р., якщо не вказано інше)
вартостей послуг електро- і тепlopостачання**

Показники	Одиниця виміру		
	грн.	грн./Гкал	грн./кВт·год
Ціна ПГ у 2005 р. (на кордоні РФ-Україна)	250		
Ціна ПГ у 2030 р. (на кордоні РФ-Україна), прогноз	2500		
Ціна 1 кВт·год теплоти згоряння ПГ у 2005 р.	0,0231		
Ціна 1 кВт·год теплоти згоряння ПГ у 2030 р.	0,2314		
Тарифи на теплову енергію, ЖКК, населення		54	0,0464
Те ж саме, для промислових підприємств		80	0,0687
Електрична, населення з електроплитами		139,67	0,12

Прогнозується, що значення індексу $i_{\text{сепГ}}$ (співвідношення тарифів (цін) за 1 кВт·год електричної енергії і природний газ) у 2030 р. перебуває в інтервалі $i_{\text{сепГ}} \in [1; 4]$, а ціна природного газу відносно його ціни у 2005 р. підвищиться у 10 разів і досягне свого граничного значення у 2030 р. (рис. 4.1, а) і 2015 р. (рис. 4.1, б).

Потреба у пилотній зоні об'єктів з акумуляційним електрообігрівом. В обґрунтуванні доцільності акумуляційного електрообігріву, як і будь-якої новітньої технології, останнє слово належить практиці використання. До недавнього часу в розробці акумуляційного електрообігріву головна увага приділялася технологічним, нормативним питанням та відповідній технічній базі електрокабельних систем обігріву. Але варто зауважити, що всі розрахунки технічно-економічної ефективності того чи іншого виду опалення виходять із ряду припущень, які або не є загальноприйнятими, або носять тимчасовий характер. Дуже важливим для одержання об'єктивних результатів порівняльного аналізу усіх видів затрат є вибір базисного варіанту. Мірою правильності розрахунків повинні стати результати практичної паралельної експлуатації нової і традиційної системи опалення у реальних та однакових умовах і безперервний їх моніторинг за певними критеріями і показниками. Іншими словами, необхідним є проведення природних експериментів з електроопалення і гарячого водopостачання спочатку в окремому багатоповерховому будинку або його частині, а потім – у масштабі мікрорайону. При цьому частина житлових будинків (однотипних з будинками, у яких застосовується експериментальне електроопалення) повинна бути обладнаною традиційною системою опалення. Звернемо увагу й на те, що сучасний будинок повинен бути обладнаним, якщо не інтелектуальними («цифровими») системами, то хоча б автоматичним регулюванням, спроможним, у тому числі, розподіляти добовий енергоресурс системи енергопостачання. Якщо ввімкнено багато побутових електроприладів, то потужність приладів електроопалення має бути зниженою. Тим більше, що електрична енергія, яка споживається побутовими електроприладами, врешті-решт електронікою, перетворюється на теплову з додатковим відповідним опалювальним ефектом.

Для України найбільш поширеними і досить суворими кліматичними умовами є умови першої кліматичної зони. Тому доцільно здійснити пилотний проект, наприклад, у м. Київ, який розташовується у першій кліматичній зоні. До того ж, Київ володіє дуже великим (найбільшим серед мегаполісів України) потенціалом «надлишкової» енергії у години нічного мінімуму навантаження електромережі. За даними Мінпаливенерго (табл. 4.6), у зимовий режимний день 21.12.2005 р. різниця між денним максимумом та нічним мінімумом становить у Києві 0,76 ГВт, в Україні – 6,65 ГВт. Ця величина відповідає можливості опалити (з розрахунку 6 кВт/помешкання) у Києві

126,5 тис. помешкань, а в цілому в Україні – більше, ніж 1,1 млн. помешкань. Але відповідні рішення про більш-менш масову забудову можливо буде прийняти лише після практичних випробувань спочатку обмеженої дослідної кількості будівель. На підставі одержаного досвіду можна прийняти кінцеве рішення про реалізацію конкретних рекомендацій щодо широкомасштабного впровадження ЕТА-технології.

Таблиця 4.7

Екстремальні значення добових графіків навантаження (МВт) у 8 регіонах України, ранжованим за величиною ΔP у зимовий режимний день 2005 р., та оцінка кількості помешкань, які можуть бути обладнані ЕТА-обігрівом

Область, регіон	Україна	м. Київ	Регіон						
			Донецький	Харківський	Дніпропетровський	Одеський	Луганський	Київський	Запорізький
Код		8	4	22	3	15	12	9	7
Максимум	27613	1583	3999	1357	3925	1154	1794	862	1851
Середнє	24470	1248	3753	1131	3742	943	1624	714	1729
Мінімум	20967	824	3423	815	3456	717	1462	543	1548
ΔP , МВт	6646	759	576	542	469	437	332	320	303
Кількість осель, тис.	1107	126,5	96,0	90,3	78,2	72,8	55,3	53,3	50,5

Сферу використання ЕТА-технології складають об'єкти цивільного будівництва, у тому числі громадські будинки та споруди, будинки та споруди навчальних закладів та дитячих дошкільних закладів, заклади охорони здоров'я, житлові будинки тощо. Особливо широко ЕТА-технології можуть застосовуватися у негазифікованих селах України, кількість яких за останніми даними оцінюється до 20 000 (або близько 70 % їх загальної кількості). Крім кількох десятків тисяч шкіл, у цих селах розміщено близько 17 тис. фельдшерсько-акушерських пунктів (ФАП), 19 тис. бібліотек. Обсяги державного, комунального та колективного житлового фонду у негазифікованих селах сягають майже 21 млн. м². За різними оцінками, потенціал упровадження технології електроопалення, який обмежується різницею між вечірнім зимовим максимумом і нічним навантаженням графіка енергосистеми України, складає 5÷6 млн. кВт та дозволяє електрифікувати опалення більше ніж 1 млн. осель [70] (при середній установленій поквартирній потужності традиційних електроустановок ≈ 6 кВт [14]).

Комплектування об'єктів житла та соціальної сфери кухонними електроплитами, системами кондиціонування, електрокалориферами давно є поширеною практикою інженерного обладнання сучасних будівель. Середня установлена поквартирна потужність традиційних електроустановок сягає 6 кВт. Потужність системи опалення у середньоопалювальних умовах першої кліматичної зони для 3-кімнатної квартири, наприклад, площею 120 м² зі зведеним опором теплопередачі зовнішніх огорожень приблизно 2,8-3 (м²·К)/Вт не перевищує 4 кВт [61, 62, 65]. Таким чином, якщо наступним кроком електрифікації побуту вважати перехід до електричних систем опалювання (з ура-

уванням оцінки коефіцієнта одночасності $K_{од}$ ($K_{од} \in [0,41; 0,52]$) при кількості житла (квартир) від 100 до 400), за умови блокування одночасної роботи електроплити та іншого електрообладнання, встановлена потужність електроприймачів на вході у житло не буде перевищувати 10 кВт [16]. Це відкриває перспективи широкого використання електричної енергії для забезпечення загальних житлових потреб не тільки у нових будинках, а й у спорудах існуючої забудови. Реальне навантаження на електроопалення не перевищить 6 кВт. Але справжню величину можна одержати тільки у ході повномасштабного багаторічного експерименту в природних умовах.

Таким чином, масштабному розповсюдженню ЕТА-опалення перешкоджає відсутність досвіду створення та експлуатації реального («у цеглі») житлового будинку, в якому в системному вигляді було б, частково або повністю, здійснено та опрацьовано ЕТА-принцип опалення. До того ж, у життєвому циклі будь-якої нової технології, за стандартами ISO 9000 (управління якістю продукції), після технічно-економічного аналізу, розробки і підготовки необхідних технологічних процесів і обладнання передбачається етап проведення випробувань [99, 100]. Але до цього комплексу випробувань, для забезпечення повномасштабного експерименту на об'єкті, на якому застосовано нову технологію (у даному випадку – з ЕТА-обігрівом), обов'язково повинна враховуватися його пробна багаторічна експлуатація. Вона надасть відповідь не тільки на питання щодо зручності, комфортності, надійності, відповідності цієї технології нормативно-технічним вимогам, а і на питання характеру її зворотної дії на ОЕС. Оскільки ЕТА-технологія знаходиться на стику теплоенергетики та електроенергетики, то подальше її впровадження повинно рухатися з двох зустрічних напрямів: будівельного й електро-, теплоенергетичного. Обидва напрямки руху повинні зустрітися у реальному будівельному проекті енергоефективного будинку.

Розміщення експериментальної системи електроопалення в окремому багатоповерховому будинку дозволить відпрацювати схеми зовнішніх та внутрішньобудинкових електричних мереж, визначитися з обладнанням та окремими схемотехнічними рішеннями. Реальні значення показників енергоефективності (наприклад, зниження енергоспоживання за рахунок автоматичного регулювання температури) можуть бути визначеними лише при синхронному порівняльному моніторингу обох альтернативних систем опалення в однакових умовах та в будинках однакової серії. Дослідна експлуатація має також урахувати різні варіанти комбінованих систем опалення (водяні + електричні прилади доведення внутрішньої температури; водяне + ЕТА; ЕТА + теплові насоси тощо).

Таким чином, зараз бракує фактичних даних щодо ефективності вказаних систем електроопалення як у порівнянні між собою, так і з традиційними системами. Покищо відсутні відповідні експериментальні енергоефективні будівельні проекти у масштабі житлового комплексу або окремого будинку. Також фактично відсутня широко масштабна програма з економії енергії, яка передбачала б формування конкурентної ситуації на ринку теплогенеруючого обладнання.

Результатами енергомоніторингу об'єктів пілотної зони має бути:

- визначення ступеня раціонального використання у проекті ПЕР та уникнення необґрунтованих витрат на проведення енергозберігаючих заходів;
- ефективність запропонованої ЕТА-технології як енергозберігаючого заходу та поширення подібного менеджменту з енергозбереження;
- встановлення обґрунтованого мікротериторіального розподілу обсягів споживання електроенергії;

- визначення відповідності фактичних питомих витрат ПЕР нормам питомих витрат;
- надання висновків щодо ефективності використання ПЕР у разі поширення на цих споживачів дії засобу енергозбереження, що пропонується.

Реалізувати відповідне маневрове електричне навантаження споживачів можна вже зараз за допомогою новітньої технології електротеплоакумуляційного електроопалення. Визначальною рисою цієї пропозиції є те, що вона майже не потребує централізованих капітальних вкладень чи якихось значних інвестувань. Основні витрати, у тому числі установа індивідуальних місць обліку спожитої енергії, візьмуть на себе самі споживачі електроенергії. З боку енергогенеруючих компаній, а також НКРЕ, необхідно установити такі диференційовані за часом тарифи на електроенергію, які, з одного боку, створюють економічну зацікавленість споживачів у розповсюдженні електротеплоакумуляційного опалення, з їх використанням, здебільшого, у нічні години і недоцільності експлуатації у години максимального навантаження енергосистеми. З іншого боку, ця система спеціальних тарифів (сумарний – за години піку, напівпіку, нічного «провалу» графіка навантаження ОЕС) повинна компенсувати втрати генеруючих компаній на установа і експлуатацію маневрових потужностей та втрату прибутку внаслідок переносу споживання електроенергії на години пільгових ставок.

4.2. Нормативні основи впровадження енергоощадної технології кабельного ЕТА-обігріву

Одним із важливих механізмів упровадження новітньої технології акумуляційного електрообігріву є відповідний подальший розвиток енергетичного законодавства України. Діюче законодавство щодо ПЕК (точніше, численні підзаконні акти та відомчі, галузеві нормативні документи) зараз забезпечує лише принципові засади впровадження ЕТА-обігріву. Наприклад, у СНиП 2.04.05-91*У існує положення, що при теплових втратах, менших за 30 Вт/м^2 , електроопалення може використовуватися без будь-яких обмежень. Але численні розробки останніх років у галузі електроопалення ще не знайшли гідного відображення в енергетичному праві України. До енергетичного права України, у тому числі до закону про оптовий ринок електроенергії, обов'язково повинна увійти норма цивільного права щодо вільного використання електроенергії як ресурсу. Подібна норма вже існує в Російській Федерації (див. нижче). Наступним кроком має стати проведення роботи щодо відповідності європейського права стосовно електроенергетики. Відповідно до практики, яка існує в ЄС-25 (передовий національний нормативний документ, державний стандарт, що набуває загальноєвропейського значення), не виключено, що українське законодавство у цій галузі буде прийнято ЄС у якості європейського стандарту. Оформлення законодавчого та нормативно-правового забезпечення можливе лише на основі низки технічних документів, присвячених суто технічним питанням.

Таким чином, важливими нормами майбутнього енергетичного права України мають стати норми відносно ЕТА-обігріву. Це буде сприяти подоланню перешкод впровадження ЕТА-обігріву, які мають не технічний, технологічний або технічно-економічний характер, а соціально-економічний, управлінський. Вони можуть відноситися до законодавчого врегулювання стратегії розвитку електроенергетики і потребують координованих зусиль Мінпаливенерго, Національної Академії наук, Комітету Верховної Ради України з питань паливно-енергетичного комплексу, ядерної політики та ядерної безпеки, ОЕП «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку електроенергетики», Науково-технічної спілки енергетиків та електротех-

ників України, Мінрегіонбуду України. Вони також можуть мати суб'єктивний характер, охоплювати адміністративні, фінансові (прозорість ціноутворення), соціальні, юридичні, навчальні, тренінгові і подібні питання. Важливим питанням, яке ще спеціально не розглядалося, залишається питання впорядкування тарифної політики щодо ЕТА-технологій. Іншим міжвідомчим питанням є організація природних масштабних порівняльних випробувань ЕТА-технології на реальному об'єкті типу сучасного багатопверхового будинку (пілотний будинок) з безперервним енергетичним моніторингом упродовж декількох опалювальних періодів у реальних кліматичних умовах.

Таким чином, виявляється, що розглянутий вище вартісний аспект (доцільність та обґрунтованість електрообігріву) є важливою, але не єдиною, умовою впровадження електроопалення. Велике значення для широкого впровадження електротеплоакумуляційної технології в Україні, має існування та стан відповідної нормативної бази. На сьогодні її практично завершено, і вона включає:

- закони України: «Про теплопостачання», «Про електроенергетику», «Про енергозбереження», «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику», (щодо встановлення спеціального тарифу на електричну енергію – «зелений тариф»); «Про ратифікацію Договору до Енергетичної хартії та Протоколу до Енергетичної хартії з питань енергетичної ефективності і суміжних екологічних аспектів» тощо;
- ДБН В.2.5-23-2003 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [94];
- ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення» [76];
- СНиП 2.04.05-91*У «Опалення, вентиляція і кондиціонування»;
- СанПіН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань»;
- СНиП 2.01.01-82. «Строительная климатология и геофизика»;
- ДБН В.2.6-31-2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель».

Найбільш важливим для ЕТА-технології є спеціально розроблений ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення», який регламентує порядок розроблення теплотехнічних розрахунків, монтажу та експлуатації устаткування. При цьому усі питання було узгоджено з МОЗ України, Мінпаливоенерго, МВС, Держнаглядохоронпраці, Держкоменергозбереження тощо.

Діючий в Україні порядок застосування тарифів на електричну енергію, що використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання, було розглянуто в п. 2.3.1. Але цей порядок не має підтримки у частині зобов'язального права Цивільного кодексу (ЦК) України. Саме ЦК регламентують правила і юридичні норми майнових відносин суб'єктів громадянських правовідносин за принципом рівності всіх учасників відносин до народного господарства. Натомість, із початком дії з 1996 р. частини другої Цивільного кодексу Росії у РФ було відмінено усі підзаконні акти, норми, інструкції, що йому суперечать. Стаття 541 Цивільного кодексу РФ передбачає можливість використання електричної енергії для побутових потреб у кількості, необхідній для задоволення потреб громадянина. Нормою зазначеної ст. 541 ЦК РФ встановлено, що дозвіл на використання електроенергії для опалення не потрібен, а «Інструкція о порядке согласования применения электродеталей и других нагревательных приборов» втратила силу як така, що не узгоджується з відповідним положенням нового ЦК РФ. Розпорядження будь-яких організацій, у тому числі Обл.-енерго, місцевих органів енергонагляду про обмеження постачання електроенергії для жи-

тлових квартир зараз є неправомірними. Департамент Російського державного енергетичного нагляду «Держенергонагляд» інформує про це регіональні підрозділи а також проектні та будівельні організації за їх запитом [101]. Побудова електричних мереж і розрахункові навантаження всередині квартир житлових будинків приймаються за СП 31-110-2003 (аналогом СП 31-110-2003 в Україні є ДБН В. 2.5-23-2003). Подавати додаткові розрахунки і обґрунтування не потрібно. Спосіб здійснення обігріву, рівень оснащення пристроїв обігріву приладами автоматики вирішує проектна організація відповідно до завдання замовника. Їх обслуговування є обов'язковим.

З початком дії ЦК РФ [102]¹ (точніше, з виникненням першого прецеденту невідомого оскарження обов'язковості положень ЦК у сфері економічного обігу, збережених на ринковій відносині і широкую комерціалізацію громадянсько-правових відносин) відкрилася нова ера у використанні електроенергії для опалення. Наприклад, в Єкатеринбурзі побудовано багатоповерховий будинок з електроопаленням прямої дії за допомогою конвекторів.

Технічну базу електротеплоакумуляційної технології створюють високоякісні вітчизняні вироби, а саме:

- спеціальні нагрівальні кабельні секції різних типів та параметрів;
- різноманітні електричні теплоакумуляційні вироби, у тому числі теплоакумуляційні печі (ТАП);
- технологічне оснащення, необхідні матеріали та технологічні прийоми їх застосування;
- засоби автоматики, у тому числі різноманітні терморегулятори;
- засоби багатозонного обліку спожитої електроенергії (аж до лічильників із передплатою) з дистанційною передачею показників.

4.3. Технічні основи впровадження енергоощадної технології кабельного ЕТА-обігріву

Успіх широкомасштабного впровадження будь-якої технології зрештою залежить від стану її технічної бази. Під технічною базою технології ЕТА-обігріву маються на увазі різноманітні комплектуючі, технічні засоби для монтажу, управління і контролю режиму обігріву, обліку, перевірки технічного стану тощо. Іншими словами, обов'язковою умовою масового поширення будь-якої технології є наявність надійної, доступної технічної бази задо-

¹ Україна не має такого розвинутого кодексу. Можливо, українські правники бажали б якомога швидше позбутися ЦК УРСР. Із виступу до Науково-практичного коментаря до ЦК, ч.1, 2005 р., керівника творчого колективу, що розробив цей ЦК [103]:

«Варто спеціально наголосити на тому, що концептуально ЦК розроблявся на основі природно-правових теорій, згідно з якими закони держави не регулюють відносини, а лише здебільшого прагнуть наблизитися (збігтися) до конфігурації правовизначення, що походив безпосередньо від «Космосу», «Бога», «Розуму» чи «Логосу».

Однак автори вважають, що на жаль, порівняно, наприклад, з ЦК РФ, новий ЦК України [104] у частині зобов'язального права має помітно примітивізований характер. Здається, що перелік окремих видів зобов'язань не відповідає складності сучасних економічних відносин. Так, повністю відсутні зобов'язання відносно «Енергопостачання». Як наслідок, створилося правове розрідження у цієї важливої галузі економічного обігу, що має життєве значення для кожного громадянина та водночас стратегічну важливість для держави. Це розрідження заповнюється застарілими, навіть «мертвими» правилами або нормами, які доречні лише для країни з відсталою економікою. Розглянута вище у п. 3.2.1. «Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України» має рекомендаційний, без чіткої часової позиції, характер і ніяким чином не може замінити правовий акт. Не установлені вектори законодавства при розробці та використанні громадянсько-правових норм у вказаній галузі економіки, які були б орієнтовані на здійснення учасниками майнових відносин (за принципом рівності учасників громадянських правовідносин) у народному господарстві.

вільної якості. Якщо ця база буде вітчизняного виробництва, то привабливість технології зросте не тільки через здешевлення, але і внаслідок створення додаткових робочих місць із виробництва продукції саме в Україні, за рахунок чого створюються також умови для збільшення експортного потенціалу країни.

Найбільш важливими комплектуючими складовими ЕКСО є системи автоматичного управління режимом обігріву, в тому числі різноманітні терморегулятори та нагрівальні кабелі, які вже мають вітчизняні аналоги.

4.3.1. Схематехнічна реалізація технології кабельного ЕТА-обігріву

Необхідною складовою частиною ЕКСО ТА є пристрої автоматичного управління для зміни теплопередачі від поверхні гріючої панелі до повітряного середовища приміщення. Зміна теплопередачі здійснюється терморегуляторами, що розраховані на широкий діапазон робочої температури та різноманітні умови експлуатації. Системи можуть комплектуватися як за допомогою простих і дешевих електронних терморегуляторів, так і за допомогою складних, із програмним управлінням, що можуть забезпечити надійну та економну роботу гріючої панелі.

На практиці знаходять застосування наступні способи реалізації ЕКСО ТА:

- централізований двоступеневий;
- централізований одноступеневий;
- локальний двоступеневий;
- локальний одноступеневий.

Розглянемо різні способи на прикладі реалізації ЕКСО ТА багатоквартирного житлового будинку.

У кожній квартирі будинку реалізується двоступенева ЕКСО ТА з наступним розподілом потужностей: перший ступінь потужністю близько 70 % від розрахункової укладається в підлозі в нижніх частинах теплоакумулюючого шару, друга – близько 30 % укладається у верхніх частинах цього шару (ближче до лицьового шару підлоги) (рис. 4.2).

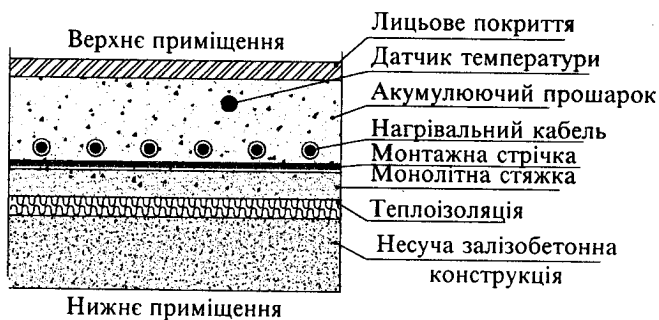


Рис. 4.2. Типова конструкція гріючої підлоги з ЕКСО ТА

При такій структурі ЕКСО ТА перша ступінь керується погодостатом (термостат з датчиком температури зовнішнього повітря), а друга – терморегулятором з датчиком температури повітря, і/або підлоги, які встановлено в кожному приміщенні. Різниця між способами полягає в тому, що в першому може встановлюватися один централізований погодостат на будинок, а в другому і третьому – індивідуальні погодостати на кожен квартиру або групу квартир.

При управлінні погодостатом двоступеневими ЕКСО ТА у процесі нагріву будівлі в період пільгового тарифу беруть участь обидві ступені. При остиганні будівлі перший ступінь не допускає зниження температури повітря у приміщенні нижче температури випадання роси (тобто 8 – 12 °С у кліматичних умовах Києва при тепловтратах в приміщенні 100 – 120 Вт/м²) навіть за умови переходу на ручне керування. При досягненні температури випадання роси регулятори локального регулювання, що встановлені в кожному приміщенні із датчиками температури повітря і/або температури підлоги, включають тільки другий ступінь, яким можна керувати незалежно від погодостату і забезпечувати комфортні параметри повітря у приміщенні.

Другий спосіб реалізується частіше в комбінації з традиційними видами опалення (водяне, повітряне і т. п.).

Локальне двоступеневе ЕКСО ТА реалізують для простих споруд, що належать одному власнику (наприклад, замський будинок). Цей спосіб знаходить широке використання при реконструкції об'єктів та укладці кабелю в підлозі або стінах.¹

Локальне одноступеневе ЕКСО ТА виконується на 100 % розрахункової потужності та керується одним погодостатом. Відповідно до [76]. якщо *двоступеневі способи реалізації ЕКСО ТА бажано доповнювати «пиковими» приладами догріву* (електроконвектор, тепловентилятор, тощо), то *одноступеневий спосіб реалізації ЕКСО ТА доповнювати «пиковими» приладами догріву обов'язково*.

Умонтована в підлогу одноступенева система ЕКСО є акумулюючою при товщині теплоакумулюючого шару 7 – 10 см; при товщині шару до 5 см отримуємо систему прямиї дії, так звану «теплу підлогу».

У різних державах мають перевагу ті або інші способи реалізації ЕКСО ТА залежно від типу об'єкта, форми управління власністю та за традицією.

4.3.2. Централізоване автоматичне управління кабельним ЕТА-обігрівом

Схеми управління ЕКСО ТА, що реалізовані на базі погодостату, забезпечують найбільш ефективне, гнучке, автоматичне та економне управління системами акумуляції тепла будь-якої конфігурації.

Погодостати являють собою серію електронних приладів управління і передбачені для економії електроенергії та управління ЕКСО в період пільгового тарифу залежно від температури зовнішнього повітря і кількості тепла, що накопичено в конструкції підлоги.² У результаті споживається лише необхідна кількість електроенергії.

Погодостат складається із двох частин: головного блоку та допоміжного. У деяких типах погодостатів число допоміжних блоків може сягати до 400, тобто є можливість контролювати одночасно до 400 окремих приміщень.

Головний блок погодостату комплектується двома датчиками температури: один датчик контролює температуру зовнішнього повітря, другий – температуру конструкції підлоги тестового приміщення³.

¹ У стінах монтаж ЕКСО ТА використовується частіше при реконструкції офісних та громадських будівель, ЗОШ, ФАП, тощо, де передбачається відсутність людей у години дії нічного пільгового тарифу.

² За матеріалами вітчизняних та закордонних фірм.

³ Тестове приміщення в багатоповерхових будинках частіше обирається за такими ознаками: середній поверх, кутова кімната з найбільшим засклінням. В індивідуальних будинках – найбільша кутова кімната із найбільшим засклінням.

На основі безперервної зміни зовнішньої температури повітря погодостат розраховує середнє значення зовнішньої температури за попередню годину та за останні 24 години, а також, за необхідності, робить поправку на різкі зміни погодних умов (типові для весни та осені). Завдяки цим поправкам погодостат прогнозує температуру зовнішнього повітря на добу вперед.

Другий датчик температури головного блоку погодостату вимірює кількість тепла, що залишилося в конструкції підлоги тестового приміщення, що при отриманні зовнішнього сигналу (наприклад, від таймера) дозволяє головному блоку реєструвати періоди пільгового тарифу та розраховувати тривалість «зарядки».

Зовнішня температура повітря та кількість тепла, що залишилася в підлозі тестового приміщення, які постійно вимірюються головним блоком погодостату, є двома параметрами для регулювання періодом «зарядки». Головний блок погодостата використовує цю інформацію для статистичних обчислень та вироблення управляючого сигналу, що передається допоміжним блокам, які безперервно вимірюють температуру в конструкції підлоги приміщення, де вони встановлені, з метою обчислення необхідного рівня «зарядки». Крім того, допоміжні блоки володіють можливістю обмеження допустимої температури в конструкції підлоги.

Головний блок погодостата працює повністю автоматично за принципом fuzzy logic («нечітка логіка»), тобто не потребує ручного регулювання у процесі експлуатації. Цей принцип використовується для отримання простих відповідей (прийняття рішень) на основі «нечітких» вхідних даних. Такі рішення базуються не на чітких алгоритмах, а на «інтуїції» та «самонавчанні».

Алгоритм функціонування погодостата в схемі централізованого управління ЕКСО ТА наведено на рис. 4.3.

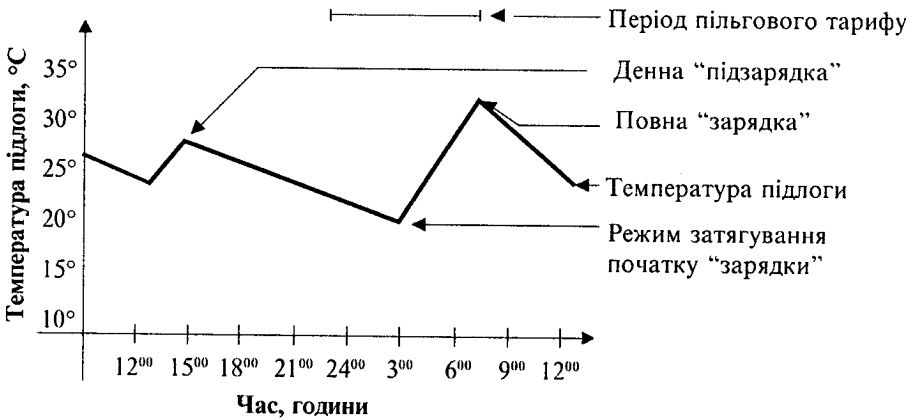


Рис. 4.3. Алгоритм функціонування погодостата в схемі централізованого управління ЕКСО ТА

Залежно від умов експлуатації погодостат виконує такі функції.

1. Постійний період пільгового тарифу.

Після підключення до мережі погодостат починає контролювати температуру зовнішнього повітря та реєструвати період (або періоди) пільгового тарифу. По закінченню 24 годин після підключення погодостат починає «зарядку» підлоги та вимір темпе-

ратури в конструкції підлоги. У міру «накопичення досвіду» погодостат керує процесом обігріву відповідно до отриманих даних. Таким чином, погодостат стає здатним автоматично заряджати конструкцію підлоги найбільш ефективним та економічним способом. Наприклад, якщо регулятор «вивчив», що для «зарядки» підлоги потрібно 4 години при тривалості пільгового періоду 8 годин, то він обирає останні 4 години пільгового періоду для «зарядки» підлоги. Відповідно знижуються витрати на електроенергію. *Якщо періоди пільгового тарифу встановлені в одну й ту ж годину щоденно, то погодостат завжди проводить «зарядку» якомога ближче до кінця пільгового часу (тобто в останні години). Це так званий режим «затягування (уповільнення) зарядки».* «Зарядка» і «розрядка» підлоги контролюється по часу доби та зовнішній температурі повітря у зафіксованому на рис. 4.4–4.6.

2. Змінні періоди пільгового тарифу.

Якщо пільгові тарифи з'являються в будь-які години доби та мають відмінну тривалість у різні дні тижня, чи коли тариф на електроенергію не змінюється протягом доби, режим початку «зарядки» співпадає з початком пільгового періоду та триває, протягом необхідного періоду.

3. Безперервне регулювання.

Безперервне регулювання використовується, коли періоди пільгового тарифу відрізняються кожного дня. При безперервному регулюванні нагрів буде включено одночасно з початком періоду пільгового тарифу, а потім залежно від температури зовнішнього повітря та кількості тепла, накопиченого в підлозі, температура підлоги буде регулюватися протягом усього періоду пільгового тарифу.

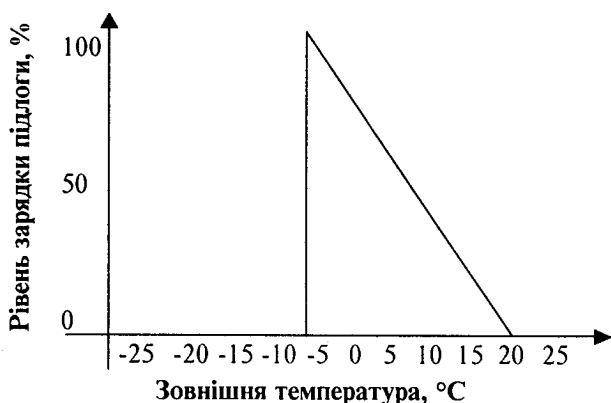


Рис. 4.4. Приклад залежності періоду «зарядки» підлоги від зовнішньої температури: при зовнішній температурі -5°C забезпечується «зарядка» на 100 %; при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ – «зарядка» не здійснюється (0 %)

Повернення у вихідне положення використовується для синхронізації вбудованого у погодостат таймера: після повернення у вихідне положення, починається нічний 11-годинний період, потім – денний 11-годинний період, а 2 години, що залишилися, використовуються для очікування періоду пільгового тарифу, що синхронізує вбудований таймер.

Графіки на рис. 4.5 та 4.6 демонструють, як настройка погодостата впливає на нахил кривої «зарядки». Кут нахилу кривої можна змінювати – чим нижче виставлена розрахункова температура, тим кут нахилу буде пологішим.

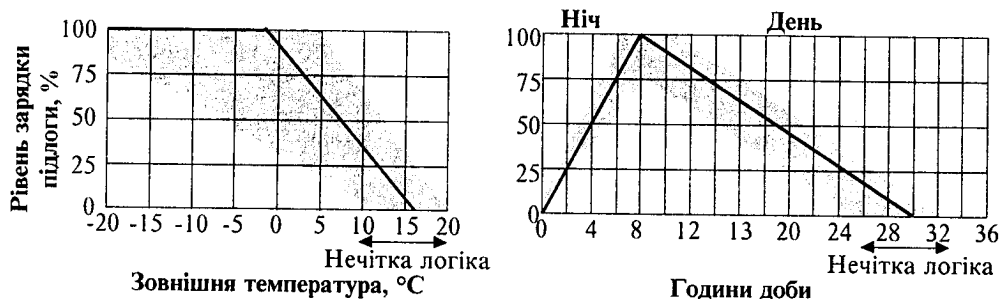


Рис. 4.5. Графіки «зарядки» та «розрядки» підлоги

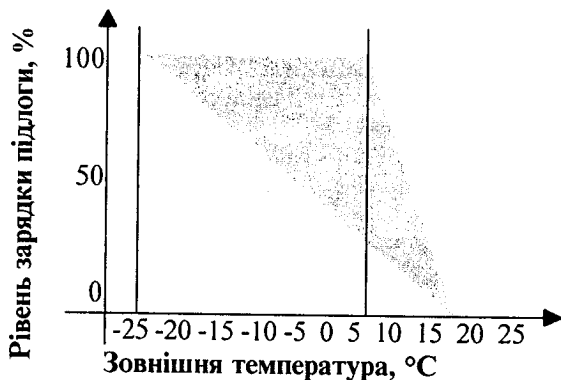


Рис. 4.6. Залежність нахилу кривої «зарядки» від настройки погодостата (сірим виділено діапазон відхилення на $\pm 30\%$ від завдання)

Як правило, при відповідних завданнях погодостат автоматично підтримує обраний рівень теплового комфорту незалежно від погодних умов та пори року в межах $\pm 30\%$.

Можна зробити такі висновки щодо централізованої системи управління, що виконана на базі погодостату:

- забезпечує максимальну економію в експлуатації та споживанні лише необхідної кількості тепла;
- забезпечує постійну комфортну температуру в приміщенні з урахуванням змін погодних умов;
- знижує споживання електроенергії максимально можливим затягненням режиму «зарядки» підлоги у кінці періоду пільгового тарифу;
- працює повністю автоматично за принципом fuzzy logic, тобто не потребує ручного регулювання у процесі експлуатації;
- можуть бути встановлені для управління вже існуючими, вбудованими в підлогу системами акумуляції тепла.

4.3.3. Локальне автоматичне управління кабельним ЕТА-обігрівом

Тепловий розрахунок будь-якої опалювальної системи зводиться до вирішення рівнянь теплового балансу на основі рівнянь стаціонарної теплопровідності. При

цьому обчислюються теплові втрати в даних умовах та потоки тепла від допоміжних джерел (наприклад, від радіаторів централізованого опалення, від системи підлогового обігріву).

Однак при розрахунках кабельних нагрівальних систем часто необхідно знати динаміку нагріву і розповсюдження тепла як уздовж поверхні, так і в глибину підлоги або ґрунту.

Динамічний тепловий розрахунок дозволяє дати відповідь на такі питання:

- за який проміжок часу нагрівається поверхня підлоги (стіни) до заданої температури;
- до якої температури охолоне підлога (стіна), а отже, і приміщення при тимчасовій відсутності електроенергії;
- якою є динаміка виникнення та вирівнювання теплових смуг на підлозі (стіні).

Варто відзначити, що не зважаючи на правильний статистичний тепловий розрахунок (температура у приміщенні буде розрахунковою), виникнення теплової «зебри», тобто чергування на поверхні підлоги гарячих і холодних смуг, можуть визначати як недолік таких систем.

Неабияку роль відіграє частота включення терморегулятора, що керує системою. Неправильний динамічний розрахунок, або його відсутність, може призвести до передчасного виходу з ладу дорогого блоку автоматики. У роботі наводяться результати теплового розрахунку визначення нестационарної тепловіддачі грюючої панелі з переривчастим включенням електричного кабелю для житлового приміщення зі стандартною конструкцією підлоги. У розрахунках враховується динаміка теплових потоків усередині нагрівального кабелю [151].

Як показано на рис. 4.7, розрахунки для чотирьох значень питомої потужності обігріву (1 – 100 Вт/м²; 2 – 131,7 Вт/м²; 3 – 164,7 Вт/м²; 4 – 200 Вт/м²) поверхні Q (Вт/м²), які були реалізовані шляхом використання кабелів із різною потужністю на одиницю довжини $q_{\text{каб}}$ (Вт/м) та зміни відстані між лініями кабелю d (м).

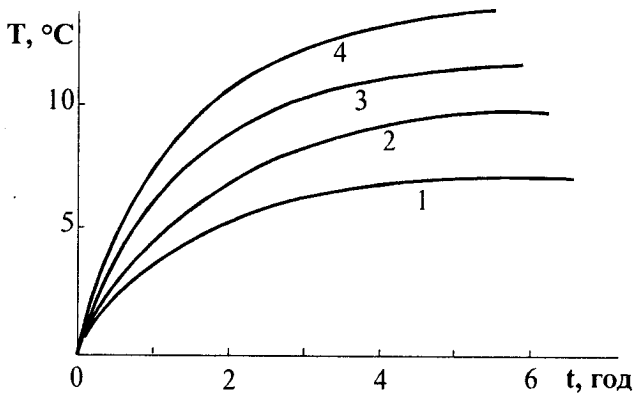


Рис. 4.7. Залежності перевищення температури поверхні підлоги порівняно з температурою зовнішнього середовища в точці над кабелем для таких значень питомої потужності нагрівальних систем: 1 – 100 Вт/м²; 2 – 131,7 Вт/м²; 3 – 164,7 Вт/м²; 4 – 200 Вт/м².

Далі йтиметься про перевищення розрахованих значень температури над температурою навколишнього середовища, прирівнюючи її до нуля. Для точок над лініями кабелю характерною є найвища температура поверхні. При питомій потужності 200 Вт/м^2 (крива 4) перевищення температури майже удвічі більше, ніж для питомої потужності 100 Вт/м^2 (крива 1). Тому достатньо мати дані про тимчасову залежність перевищення температури для одного значення питомої потужності обігріву підлоги заданої конструкції для того, щоб визначити температуру поверхні в будь-який момент для будь-якої потужності гріючої системи.

Вибір температурного режиму в приміщенні здійснюється, як правило, завдяки управлінню гріючою системою з використанням терморегулятора з термодатчиком. Подальший аналіз виконано за умов періодичного включення та відключення гріючого кабелю: у режимі нагріву відключення відбувалося при температурі $T_{\text{відкл}} = T_{\text{рег}} + d_T$, а включення в режимі охолодження – при температурі $T_{\text{вкл}} = T_{\text{рег}} - d_T$, де величина d_T визначає температурний «гистерезис» рівний $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Часові залежності для температури поверхні підлоги над лінією кабелю $T_{\text{лк}}$ (суцільні лінії) та температури $T/2$ точно посередині між лініями кабелю (штрихові лінії) показані на рис. 4.8 для чотирьох значень питомої потужності кабельної системи 100 (а), 131,7 (б), 164,7 (в) та 200 Вт/м^2 (г). Значення температури $T_{\text{рег}} \pm d_T$ спрацювання термодатчика наведено для відповідних пар кривих. Стрілками, що спрямовані донизу, відмічено моменти відключення кабелю, стрілками, що спрямовані вгору, – моменти включення. Величина $DT = T_{\text{лк}} - T_{d/2}$ характеризує так звану теплову «зебру». Після двох годин безперервного нагріву, незважаючи на постійне подальше збільшення температури поверхні підлоги, величина DT залишається незмінною (рис. 4.9).

Друга особливість залежностей рис. 4.8 полягає у тому, що максимальні та мінімальні значення температури при циклічному включенні та виключенні кабелю для заданого значення $T_{\text{рег}}$ не залежать від часу, а амплітуда змін порівняна з величиною температурного «гистерезису».

У режимі охолодження температура між лініями кабелю $T_{d/2}$ за час охолодження в межах одного циклу зменшується на величину $\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4.9). Вирівнювання температури по всій поверхні підлоги (зникнення теплової «зебри») ілюструє рис. 4.9 для потужності $131,7 \text{ Вт/м}^2$. Найбільш ефективно вирівнювання температури починається через 5 – 10 хв. після виключення кабелю (крива 1). Згодом різниця температур $T_{\text{лк}} - T_{d/2}$ зменшується на $\sim 80 \%$ за ~ 20 хв. Характерно, що після включення системи тепла «зебра» практично за такий проміжок часу наближається до значення, близького для випадку безперервної роботи кабелю (крива 2).

Привертає увагу немонотонна залежність тривалості циклу роботи гріючої системи при збільшенні $T_{\text{рег}}$. Зі збільшенням $T_{\text{рег}}$ від 5 до $15 \text{ }^\circ\text{C}$ тривалість циклу спочатку зменшується від ~ 55 до ~ 48 хв., а потім збільшується майже до 2 год. Найбільш точно цей ефект зручно проілюструвати за допомогою залежності тривалості циклу роботи системи від відношення тривалості роботи кабелю за час циклу, до тривалості циклу, тобто відношення використаної потужності кабелю $W_{\text{роб}}$ (що залежить від $T_{\text{рег}}$) до його повної потужності W_{max} (рис. 4.10). Цей результат має пряме відношення до довговічності роботи терморегулятора. З метою забезпечення його максимальної працездатності можна одразу ж зробити один із попередніх висновків: *доцільно або*

істотно підвищувати потужність кабельної системи та використовувати її при необхідності нагріву підлоги до не надто високих температур (область I), або обирати питому потужність, ближчу до мінімальної, та працювати при гранично більших значеннях $T_{рег}$ (область II) [151].

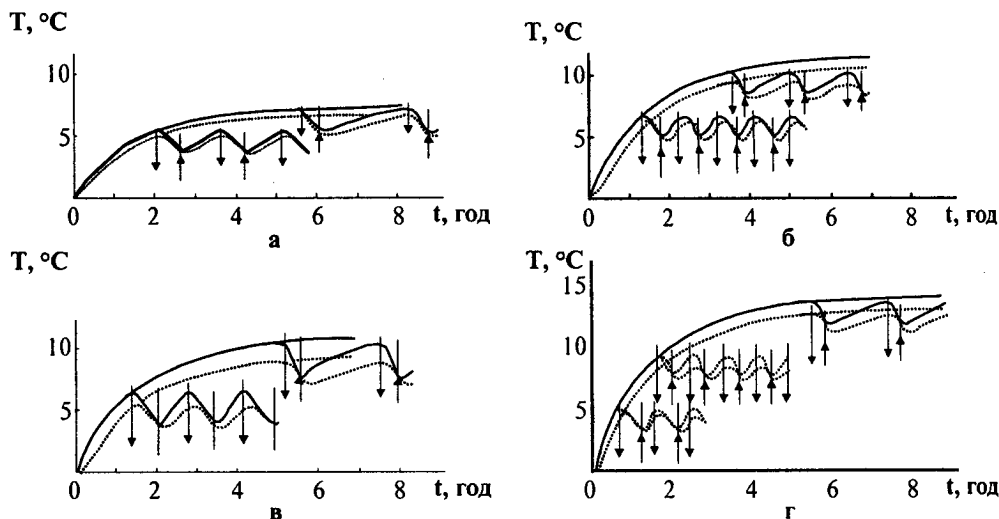


Рис. 4.8. Часові залежності температури поверхні підлоги над лінією кабелю (суцільні лінії) та температури посередені між лініями кабелю (штрихові лінії) для показників питомої потужності кабельної системи 100 (а), 131,7 (б), 164,7 (в) та 200 Вт/м² (г)

Цікаві висновки можна зробити аналізуючи залежність $W_{роб}/W_{max}$ від температури терморегулятора $T_{рег}$ (рис. 4.11). Виявляється, що відношення $W_{роб}/W_{max}$ лінійно залежать від $T_{рег}$ для будь-якого значення питомої потужності грючої системи. Завдяки цьому є можливість оцінити температуру $T_{рег}^M$, при перевищенні якої кабель буде працювати безперервно та забезпечуватиме максимально досяжні значення температури поверхні підлоги. Для обігрівуючих систем 1, 2, 3 та 4 (рис. 4.7) значення $T_{рег}^M$ дорівнює 8,4; 10,7; 13,9 та 16,9 °С.

Використовуючи графіки, зображені на рис. 4.8, можемо встановити залежність максимальної температури на поверхні підлоги над лініями кабелю від $T_{рег}$. Такі залежності також виявляється лінійною (рис. 4.12). Більше того, для постійної відстані між лініями кабелю $d=0,1$ м (системи 1, 3 і 4) спостерігається універсальна залежність $T_{лк}^M$ від питомої потужності системи. При відстані між лініями кабелю $d=0,125$ м (система 2) лінійна залежність зміщена у бік більших значень. Цей результат пояснюється тим, що при збільшенні відстані між кабелем і термодатчиком кабель встигає нагрітися до більш високої температури до моменту відключення системи. Знаючи максимальні значення $T_{рег}^M$ (що відмічені на рис. 4.12 вертикальними стрілками), легко визначити $T_{лк}^M$ підлоги для різних значень $Q_{каб}$. Для $Q_{каб}$, рівних 100;

131,7; 164,7 та 200 Вт/м отримуємо $T_{лк}^m$, що дорівнює 8,3; 11,0; 13,1 та 15,7 °С. Зокрема, при температурі повітря у приміщенні 17 °С питома потужність $Q_{каб.}=131,7$ Вт/м² виявляється достатньою для досягнення гранично рекомендованого значення температури підлоги 28 °С для житлових приміщень, питома потужність $Q_{каб.}=164,7$ Вт/м – для досягнення температури ~ 30 °С, що рекомендована для підлог у ванних кімнатах. Питому потужність 100 Вт/м², очевидно, можна вважати допустимою. Однак треба мати на увазі, що така система має обмежений запас потужності і при зниженні температури в приміщенні може виявитися нездатною, аби забезпечити бажану комфортну температуру.

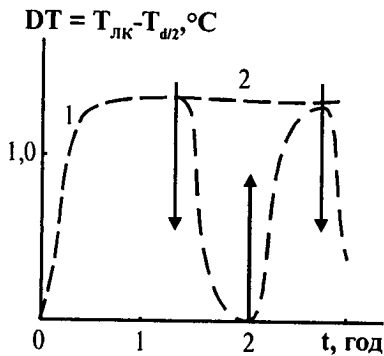


Рис. 4.9. Вирівнювання температури по всій поверхні підлоги (зникнення теплової «збери») для потужності 131,7 Вт/м²

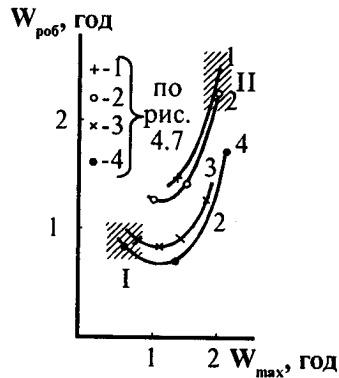


Рис. 4.10. Залежність тривалості циклу роботи системи від відношення використаної потужності кабелю $W_{роб}$ до його повної потужності W_{max}

Для житлових приміщень, особливо при розрахунку і монтажу комфортної системи обігріву («тепла підлога»), недоцільно використовувати нагрівальні кабелі з питомою потужністю більше 18 Вт на один метр довжини. Встановлення більш потужних кабелів неминуче призведе до утворення теплової «збери». Вимір розподілу температури на поверхні підлоги показали, що перепади температури на гарячих та холодних смугах досягають 5-7 °С і створюють відчуття дискомфорту. Рекомендовано при потужності комфортної системи 80 – 100 Вт/м² і товщині грюючої підлоги менше 40 мм використовувати кабель з питомою потужністю 8 – 10 Вт/м, що гарантує відсутність температурних смуг.

Варто наголосити, що температурні смуги виникають тільки при включеному кабелі. Після виключення системи терморегулятором виникає досить швидко (рис. 4.8) вирівнювання температури поверхні підлоги. Тому, якщо так сталося, що «збери» не уникнути, її вплив можна звести до мінімуму за рахунок зміни режиму роботи системи «кабель – регулятор». Режим роботи повинен бути таким, щоб кабель якомога більше знаходився у виключеному стані.

Вимір динаміки нагріву і охолодження підлоги (повітря у приміщенні) засвідчило, що нагрів виникає повільніше (на 20 – 30 %), ніж показує розрахунок. Це пов'язано з тим, що в модельній задачі не враховується вплив конвективних потоків повітря.

Неправильний розрахунок динаміки охолодження системи обігріву може призвести до тяжких наслідків на дуже важливих об'єктах, наприклад, таких як морозильні

камери, де система запобігає промерзанню ґрунту та фундаменту. Характерні періоди динамічних процесів повинні бути розраховані в точній відповідності до часу АВР живильних трансформаторів, що залежить від категорії об'єкту.

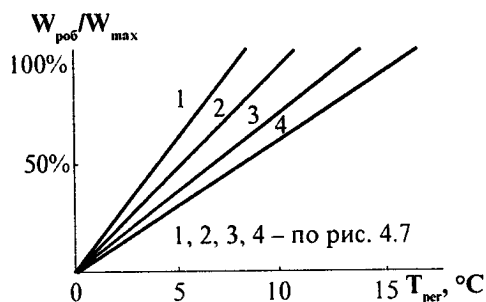


Рис. 4.11. Залежність $W_{роб}/W_{max}$ від температури терморегулятора $T_{пер}$

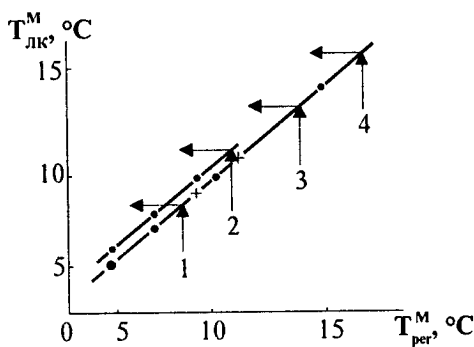


Рис. 4.12. Залежності максимальної температури на поверхні підлоги над лініями кабелю $T_{лк}^M$ від $T_{пер}$

Вибір оптимального режиму роботи терморегулятора, яким визначається його ресурс, не може бути зроблений без динамічного теплового розрахунку навіть найпростішої кабельної системи¹.

Отримані теоретичні результати позитивно підтверджуються експериментальними даними [152], що дозволяють зробити ряд висновків:

- при циклічній роботі системи «кабель – регулятор» максимальна температура поверхні підлоги досягається майже через 10 хв. після відключення регулятора за температурою, що вимірюється датчиком, вмонтованим у підлогу;
- наявність теплової «зебри» значною мірою залежить від питомої потужності нагрівального кабелю, кроку між витками кабелю і товщини стяжки над кабелем;
- при правильно підібраній потужності нагрівального кабелю і режиму роботи терморегулятора економія електроенергії досягає 50 %.

4.3.4. Вітчизняні нагрівальні кабелі як основа технології ЕКСО

Нагрівальні кабелі виробництва ВАТ «Одескабель» (м. Одеса) призначені для використання в усіх випадках, що виникають при будівництві та експлуатації житлових і промислових будівель та споруд. Обігрів підлоги (стін) у будівлях будь-якого типу ні в якому разі не вичерпує можливий діапазон їх використання. Так, наприклад, ці кабелі використовуються для обігріву дахів будинків (захист від намерзання), наземних майданчиків, для обігріву водопровідних та інших труб для перекачки рідини тощо.

¹ Розрахунок і вимір показують, що виникнення теплової «зебри» на відкритих поверхнях і дахах призводить до нерівномірного розтавання снігу та льоду. Такі системи іноді потребують допоміжних засобів щодо вирівнювання теплоти вздовж поверхні в комбінації з підбором оптимального режиму роботи терморегулятора. Різноманітність терморегуляторів забезпечує вирішення зазначеної проблеми.

Широкий діапазон застосування кабелів обумовлений як тривалим досвідом використання їх у всіх регіонах, так і, що важливо, раціональною і недорогою конструкцією самих кабелів.

Надійно відпрацьована конструкція, налагоджений технологічний процес, досвід експлуатації – основа, на якій тримається репутація нагрівальних кабелів ВАТ «Одескабель».

Розглядаючи конструкцію нагрівальних кабелів ВАТ «Одескабель», необхідно відзначити раціоналізм і високу надійність усіх її складових. Наприклад, досить відомий в Україні одножильний екранований кабель з ізоляцією зі зшитого поліетилєну – найбільш стабільного та довговічного електроізолятора, що використовується при виготовленні нагрівальних кабелів; наявність екрана у вигляді мідного обплєтєння, що захищена механічно міцною оболонкою з ПВХ – дозволяє використовувати цей кабель у будь-яких атмосферних умовах, не боячись за його електричну і механічну міцність.

Якість нагрівальних кабелів, що виробляються, забезпечується:

- великим досвідом в галузі виробництва кабельної продукції і його високою позицією серед інших виробників кабельної продукції, оскільки ВАТ «Одеський кабельний завод «Одескабель» входить до групи провідних підприємств з виробництва кабельно-провідникової продукції в країнах СНД;
- кадровою політикою виробника, а саме наявністю високопрофесійного і відповідального штату керівників та фахівців;
- відпрацьованою технологією виготовлення нагрівальних кабелів;
- вибором перевірених якісних матеріалів та їх тотальним вхідним контролем;
- післяопераційним контролем на всіх стадіях виготовлення нагрівального кабелю;
- 100 % контролем основних параметрів нагрівального кабелю під час приймально-здавальних випробувань.

Для виробництва кабелю використовується сучасне високопродуктивне та високоякісне обладнання. На рис. 4.13 наведено загальний вигляд автоматичної лінії на виробничій ділянці для виробництва нагрівальних кабелів. Таке обладнання дозволяє виробляти широку номенклатуру нагрівальних кабелів. Якість кабелів, що виготовляються, підтверджено Сертифікатом відповідності УКРСЕПРО № UA1.032.0116176-06 на кабелі нагрівальні марок КНЛаВЭВ(П), КНЛаВВ(П)-ПЭ, КНСаВЭВ(П), КНСаВВ(П)-ПЭ, КННаВЭВ(П), КННаВВ(П)-ПЭ, КН(Л)пБК.

Також одержано сертифікати відповідності на секції електричні кабельні № РОСС-UA-ME 01-A01817.

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

Одним із основних конструктивних елементів нагрівальних кабелів є ізоляція. При підборі матеріалів для ізоляції було враховано такі вимоги:

- забезпечення тривалої теплостійкості кабелю, тобто максимально тривалого терміну його експлуатації;
- забезпечення працездатності кабелю після короточасних або тривалих дій механічних, кліматичних та інших чинників;
- технологічність переробки (рециклінгу);
- економність виробу.

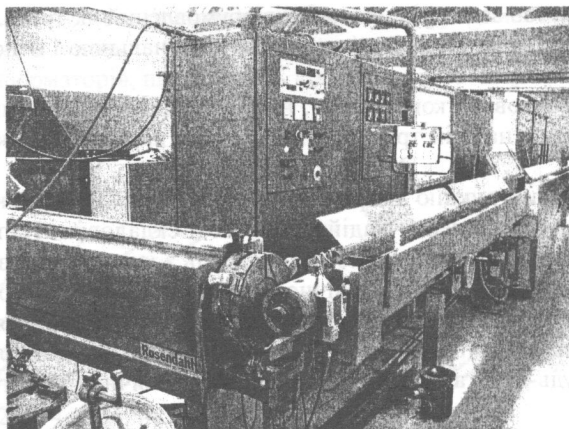


Рис. 4.13. Загальний вигляд автоматичної лінії на виробничій ділянці ВАР «Одескабель» для виробництва нагрівальних кабелів

Для нагрівальних кабелів було підбрано двошарову комбіновану ізоляцію, що дозволяє витримувати робочу температуру 100 °С. А оскільки температура нагрівальної жили не перевищує 80 °С, то така ізоляція дозволяє легше витримувати експлуатаційні перевантаження і збільшити термін експлуатації кабелю. В якості першого шару використовується еластомер типу арнітелю, для якого характерні такі властивості:

- негорючість і висока стійкість при короткочасних пікових високих температурах;
- хімічна стабільність при старінні;
- стабільність властивостей у всьому діапазоні робочих температур;
- відсутність фосфору і галогенів.

Для другого шару ізоляції застосовується ПВХ-105° або ПВХ-120° – пластикат підвищеної теплостійкості, призначений для виготовлення ізоляції та оболонок кабелів і проводів, що працюють в інтервалі температур від -45 до + 105 °С (і навіть + 120 °С). Крім того, матеріали, що використовуються для створення оболонок нагрівальних кабелів, мають стійкість до сонячної радіації (майже у всіх марках кабелів використовуються домішки, які забезпечують стійкість оболонки до ультрафіолетового випромінювання), атмосферних осадків, володіють достатньою механічною міцністю.

Оскільки за вимогами ПУЕ обов'язковою є наявність захисного екрана, то в оболонках другого шару розташовують екран, сплетений з мідного дроту. Екран забезпечує механічний та електричний захист, зменшує розповсюдження електромагнітних полів. Крім того, через велику теплопровідність міді екран дозволяє краще відводити тепло від кабелю. Електричний опір екрану повинен бути меншим за опір мідного дроту з перетином 1,0 мм² і не більшим за 18,1 Ом.

Для ЕКСО розроблено броньований кабель з одного або двох шарів броні. Він знаходить застосування в умовах, де в процесі монтажу та експлуатації можлива дія великих механічних навантажень ударного, згинального, крученого, стискаючого видів. За рахунок теплоємності металу броні, невеликого її термічного опору і підвищеної теплостійкості ізоляції, броньовані кабелі мають підвищену стійкість до теплових перевантажень. Нові кабелі характеризуються підвищеною теплостійкістю, що було досягнуто за рахунок оптимізації характеристик теплоізоляційних матеріалів за їх тепловими властивостями та геометричним розміром. Так, для оболонки, навіть у найгіршому випадку (при

мінімальній теплопровідності використовуваних при їх виготовленні матеріалів), виходячи з поняття критичного діаметра теплової ізоляції $d_{\text{крит}}$ маємо:

$$d_{\text{крит}} = \frac{2\lambda}{\alpha} \geq 0,08 \text{ м,}$$

де λ , α – коефіцієнти теплопровідності і теплопередачі для ПЕ НТ $\lambda \approx 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\alpha \approx 5 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ для горизонтальної орієнтації тепловіддаючої поверхні.

Таким чином, інтенсивність теплового потоку буде зростати при застосуванні у якості ізоляції усіх видів матеріалів, з яких виготовляється зовнішня оболонка та внутрішня ізоляція. Тобто, виконані з полімерів ізоляційні шари, так як і шар бетону, у який замонолічується нагрівальний кабель у підлозі, подібно оребрению, сприяють розсіюванню джоулевої теплоти з жили кабелю. І навпаки, наявність повітряних прошарків або дефектів у вигляді непроклейки, відшарувань, зменшують значення $d_{\text{крит}}$, яке, за такого ж значення інтенсивності теплового потоку, підвищує температуру жили, що негативно відбивається на загальній теплостійкості кабелю. Тому при конструюванні нагрівальних кабелів використовують ізоляційні матеріали з високою теплопровідністю. У розробленій серії кабелів (табл. 4.7, 4.8) було використано зшитий поліетилен, поліпропілен, які характеризуються великими значеннями коефіцієнту теплопровідності $\lambda \approx 0,4\text{--}0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що дозволяє полегшити температурний режим ЕКСО. Далі надано відомості про деякі нагрівальні кабелі вітчизняного виробництва (рис. 4.14).

Таблиця 4.7

**Одножильний екранований нагрівальний кабель, (\varnothing 5... 6 мм)
та кабельні секції торговельної марки «ЕКСОН»**

Марка кабелю	Питомий опір, Ом/м	Секції «ЕКСОН» 18 Вт/м, потужність секції, Вт	Довжина, м	Секції «ЕКСОН» 25 Вт/м, потужність секції, Вт	Довжина, м
КННаВЕВ	80,15	100	6	150	6,3
КННаВЕВ	54,5	100	9	170	6,9
КННаВЕВ	44,08	150	8	250	10
КННаВЕВ	20,99	200	12	360	14,5
КННаВЕВ	10,03	300	17	480	19,4
КНСаВЕВ	5,60	400	23	600	24,3
КНСаВЕВ	3,57	500	29	600	24,3
КНСаВЕВ	2,55	600	34	720	28,8
КНСаВЕВ	1,878	700	40	840	33,6
КНСаВЕВ	1,428	800	45	960	38,5
КНСаВЕВ	1,115	900	51	1100	43,6
КНСаВЕВ	0,909	1000	57	1200	48,2
КНСаВЕВ	0,631	1200	68	1400	57,9
КЛСаВЕВ	0,463	1400	80	1700	67,6
КЛСаВЕВ	0,319	1700	96	2000	81,4
КЛСаВЕВ	0,212	2100	118	2500	99,9
КЛСаВЕВ	0,155	2400	138	2900	116,8
КЛСаВЕВ	0,098	3100	173	3700	146,9
КЛСаВЕВ	0,068	3700	208	4400	176,4
КЛСаВЕВ	0,056	4100	229	4900	194,4
КЛСаВЕВ	0,04	4900	271	5800	230

**Двожильний екранований нагрівальний кабель, (Ø 5...8 мм)
та кабельні секції торговельної марки «ЕКСОН»**

Марка кабелю	Питомий опір, Ом/м	Секції «ЕКСОН» 18 Вт/м, потужність секції, Вт	Довжина, м	Секції «ЕКСОН» 25 Вт/м, потужність секції, Вт	Довжина, м
КНЛаВВ-ПЕ	2·54,5	80	5	100	4,4
КНЛаВВ-ПЕ	2·44,08	900	6	110	4,9
КНЛаВВ-ПЕ	2·20,99	150	8	160	7,1
КНЛаВВ-ПЕ	2·10,03	200	12	250	10,3
КНЛаВВ-ПЕ	2·5,60	300	16	300	13,7
КНЛаВВ-ПЕ	2·3,57	350	20	400	17,2
КНЛаВВ-ПЕ	2·2,55	400	24	450	20,4
КНЛаВВ-ПЕ	2·1,878	450	28	550	23,7
КНЛаВВ-ПЕ	2·1,428	550	32	650	27,2
КНЛаВВ-ПЕ	2·1,115	600	36	700	30,8
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,909	650	40	800	34,2
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,631	800	48	950	41
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,463	900	57	1100	48
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,319	1100	68	1300	58
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,212	1400	84	1600	71
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,155	1600	97	1900	82,6
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,098	2000	124	2300	105,5
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,068	2400	150	2750	127,6
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,056	2700	163	3100	138,7
КНЛаВВ-ПЕ	2·0,04	3200	192	3700	162,6

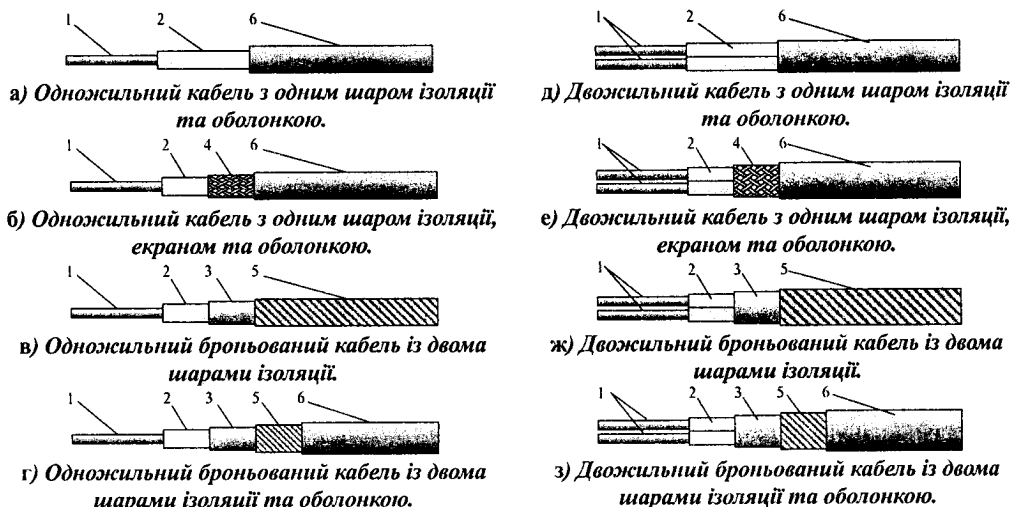


Рис. 4.14. Деякі марки вітчизняних нагрівальних кабелів (ТУ У 31.3-05758730-029-2004), де:
1 – струмовідний провідник; 2 – ізоляція струмовідного провідника; 3 – другий шар ізоляції;
4 – екран; 5 – броня; 6 – загальна оболонка.

У 2004 р. на нагрівальні кабелі ВАТ «Одескабель» було розроблено та запроваджено технічні умови ТУ У 31.3-05758730-029-2004. З 1999 р. на ВАТ «Одескабель» діє система менеджменту якості, яка відповідає вимогам стандартів ISO 9001:2000 та ДСТУ ISO 9001-2001, що забезпечує управління усіма видами діяльності при проектуванні, розробці і виробництві кабельної продукції. Технологічний процес виробництва кабелів відповідає сучасним європейським вимогам до якості виробництва.

Для використання нагрівального кабелю при його монтажі завчасно в майстерні НВП «Елетер» виготовляють нагрівальні секції (або комплекти) торгової марки «ЕКСОН», які відповідають модельному ряду площин, що обігріваються (рис. 4.15 – 4.19, табл. 4.9 – 4.11).

Генеральним представником на Україні ВАТ «Одескабель» та ТОВ «НВП «Елетер» з реалізації нагрівальних секцій «ЕКСОН» є ТОВ «Сучасні кабельні системи» («СКС») у м. Києві.

Таблиця 4.9

**Вибір площі обігріву приміщень кабельними секціями
торговельної марки «ЕКСОН»**

Нагрівальна кабельна секція, «ЕКСОН» 18 Вт/м, потужність секції, Вт	Тип приміщення та рекомендований крок укладки		
	дитяча, ванна, туалет, 12,5 см	офіс, спальня, вітальня, прихожа, коридор, комора, 15 см	підвал, балкон, 10 см
	площа обігріву приміщень, м ²		
1	2	3	4
100	1	1,4	0,9
150	1	1,2	0,8
200	1,5	1,8	1,2
300	2,1	2,6	1,7
400	2,9	3,5	2,3
500	3,6	4,4	2,9
600	4,3	5,1	3,4
700	5	6	4
800	5,6	6,8	4,5
900	6,4	7,7	5,1
1000	7,1	8,6	5,7
1200	8,5	10,2	6,8
1400	10	12	8
1700	12	14,4	9,6
2100	14,8	17,7	11,8
2400	17,3	20,7	13,8
3100	21,6	26	17,3
3700	26	31,2	20,8
4100	28,6	34,4	22,9
4900	34	40,6	27,1

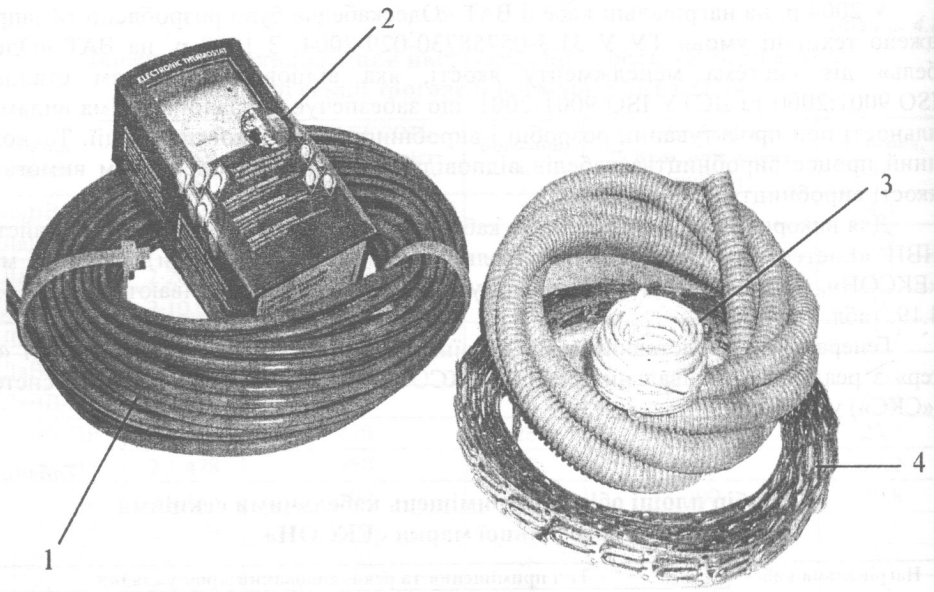


Рис. 4.15. Загальний вигляд нагрівальної секції «ЕКСОН»: 1 – нагрівальна кабельна секція; 2 – терморегулятор; 3 – термодатчик; 4 – монтажна стрічка

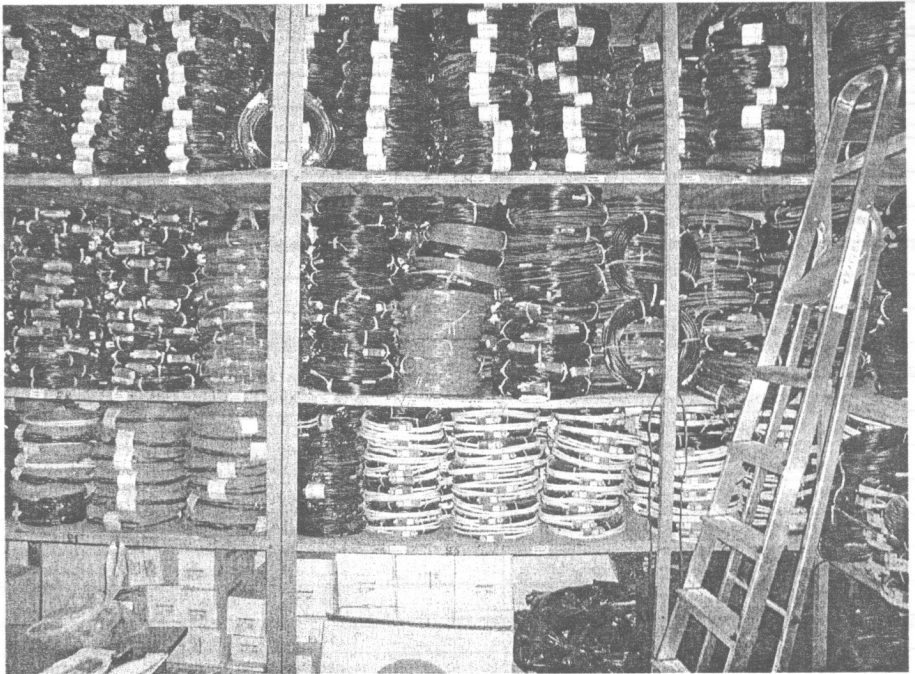


Рис. 4.16. Загальний вигляд складу споживача з нагрівальними секціями «ЕКСОН»

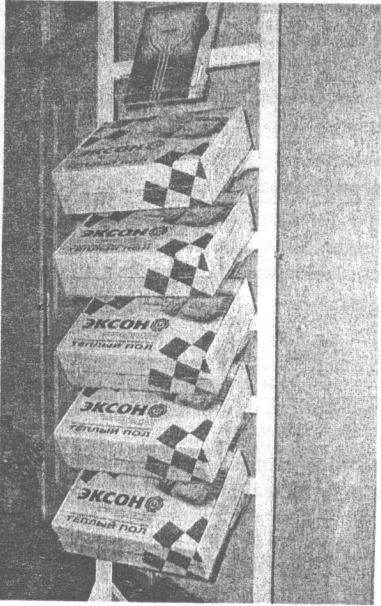


Рис. 4.17. Нагрівальні секції «ЕКСОН» у фірмовій упаковці

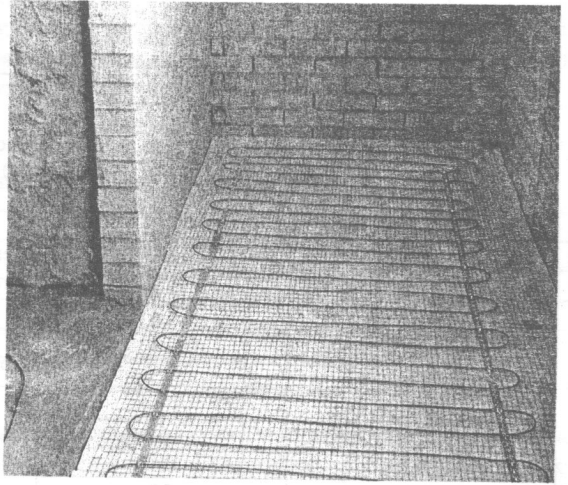


Рис. 4.18. Фрагмент монтажу нагрівальних секцій «ЕКСОН» у житловому приміщенні

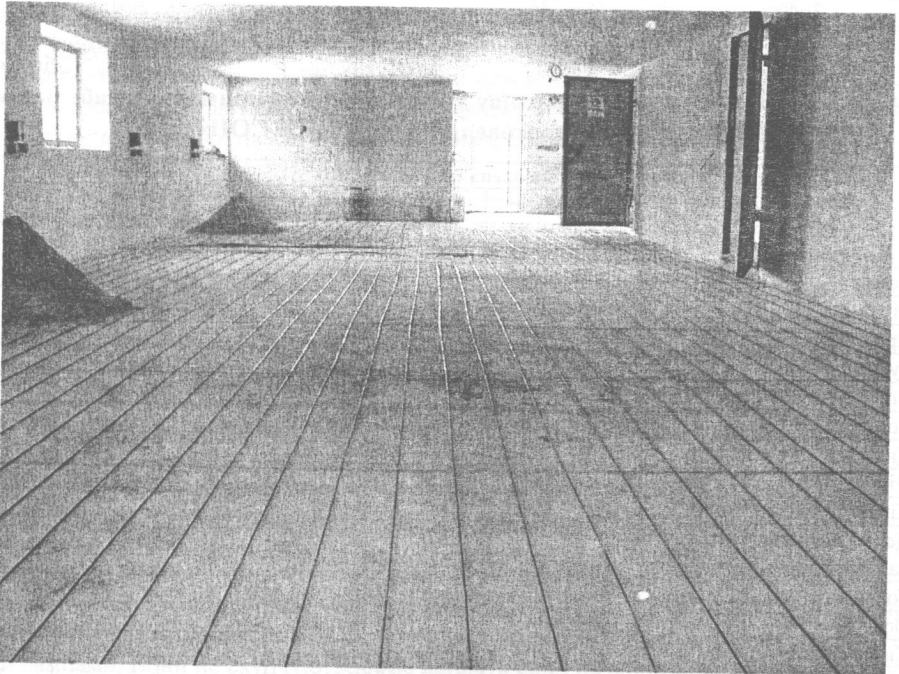


Рис. 4.19. Фрагмент монтажу нагрівальних секцій «ЕКСОН» у промисловому приміщенні

Таблиця 4.10

Вибір площі обігріву приміщень із підлогою з дерев'яним покриттям кабельними секціями торговельної марки «ЕКСОН»

Нагрівальна кабельна секція, 10 Вт/м потужність секції, Вт	Крок укладки 12,5 см	Примітка
	площа обігріву приміщення, м ²	
110	1,38	<p>1. У дерев'яних підлогах, забороняється застосовувати кабель потужністю понад 10 Вт/м;</p> <p>2. На одному квадратному метрі дерев'яної підлоги дозволяється встановлювати потужність не більше 90 Вт/м²;</p> <p>3. Товщина підлогової дошки над кабелем повинна бути не більше 25 мм.</p>
160	5	
230	2,9	
310	3,9	
385	4,8	
455	5,7	
530	6,6	
610	7,6	
690	8,6	
760	9,5	
915	11,4	
1070	13,4	
1290	16,1	
1580	19,8	
1850	23	
2320	29	
2790	35	
3070	38,4	
3640	46	

Таблиця 4.11

Рекомендована потужність обігріву для різних типів приміщень кабельними секціями торговельної марки «ЕКСОН»

Область застосування	Встановлена потужність, Вт		Вибір кабелю		
	середня потужність на м ²	максимальна потужність на м ²	10 Вт/м	18 Вт/м	25 Вт/м
Ванна	100 – 150	200	x	x	
Вітальня	90 – 120	160	x	x	
Прихожа	80 – 120	200	x	x	
Туалет			x	x	
Спальня			x	x	
Коридор			x	x	
Дитяча			x	x	
Підвал	80 – 160	200	x	x	x
Кімната для прання	80 – 100	200	x	x	
Дерев'яна підлога на лагах	60 – 80	90	x		
Тонка підлога	100 – 120	160	x	x	
Офіс	80 – 100	200	x	x	
Система акумуляції тепла		200			x

Застосування нагрівального кабелю і терморегулятора в АПК можна проілюструвати на прикладі електронагрівальної панелі для локального обігріву підлоги ЛЕКСО-3 (табл. 4.12) [65]. Ще в СРСР було розроблено технологію та обладнання для локального обігріву на тваринницьких комплексах за допомогою бетонних панелей із вбудованими нагрівальними кабелями. Поширеними у свій час були панелі ЕППІ-3. Унаслідок того, що панелі типу ЕППІ-3 використовували стару елементну базу, у тому числі були виконані з нагрівальних кабелів примітивної конструкції з використанням застарілих технічних рішень, усі вітчизняні електронагрівальні панелі, виготовлені на початку 90-х років, швидко виходили з ладу.

Таблиця 4.12

Основні параметри «ЛЕКСО-3»

Напруга живлення, В	220
Усталена потужність, Вт	130
Розмір плити, мм	1150×550×35
Вага плити, не перевищує, кг	30
Гарантійний термін, років	5
Строк окупності, років	1,5

Тому в сучасних умовах актуальним завданням в Україні постає розробка енергоефективної нагрівальної панелі для існуючих і перспективних приміщень для новонароджених і сисних поросят та впровадження відповідної технології локального обігріву. У конструкції і схемотехнічних вирішеннях «ЛЕКСО-3» використано терморегулятори і програматори. Довжина нагрівального проводу та електричний опір (потужність) оптимізовані з точки зору одержання найбільш рівномірної тепловіддачі впродовж усього циклу обігріву, який може бути запрограмованим згідно з режимами утримання тварин (рис. 4.20). Над верхнім нагрівальним елементом розміщується металева сітка. Вона не тільки екранує, але й одночасно служить арматурою панелі. На підставі наукових праць відомо, що за рахунок економії електроенергії, навіть без урахування позитивних біологічних ефектів, нова конструкція електронагрівальної панелі з високим рівнем автоматизації окупається за 1,5 року.



Рис. 4.20. Приклад ходу температурної кривої (температура підлоги) для новонароджених поросят і поросят-сосунів

Оскільки обігрів поросят теплою підлогою (знизу) фізіологічно більш корисний, ніж лампами (зверху), то локальний обігрів тварин сприяє їх виживанню та збільшенню приросту живої маси. Крім того, на плитах поросята розміщуються рівномірніше, ніж під навісними лампами. Вони не скупчуються і не лягають один на одного. Усе це зрештою сприяє підвищенню їхнього збереження (на 3–5 % та приросту живої маси (на 3–4 %) [65].

Глава 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ ЛЮДИНИ В ПРИМІЩЕННЯХ З ЕКСО

5.1. Тепловий комфорт у приміщеннях з ЕКСО

Опалювальний прилад повинен компенсувати втрати тепла в приміщенні для створення комфортного мікроклімату. Використання опалювальних приладів тієї чи іншої конструкції та їх установлення у різних місцях приміщення не повинно призводити до перевитрати тепла. Показником, що оцінює ефективну роботу опалювального приладу, є опалювальний ефект, який показує відношення кількості витраченого приладом тепла для створення у приміщенні заданих теплових умов до розрахункових тепловтрат приміщення. У деяких працях [5] автори звертають увагу на те, що найкращий опалювальний ефект мають панельно-променеві прилади, встановлені у верхній зоні приміщення або вбудовані в конструкцію стелі. Опалювальний ефект таких приладів дорівнює 0,9 – 0,95, тобто тепловіддача стельових панелей-випромінювачів може бути навіть дещо нижчою від розрахункових тепловтрат приміщення без погіршення температурних умов всередині приміщення. Опалювальний ефект гріючої підлоги становить близько 1,0, у той час як опалювальний ефект традиційних радіаторів вимірюють величиною 1,04 – 1,06. Крім того, завдяки тепловому випромінюванню з більшої площі при кабельному опаленні комфортні умови в приміщенні можна забезпечити при температурі на 2 – 3 °С нижчій, ніж при використанні традиційних систем опалення [76]. Зниження температури повітря в приміщенні на 2 – 3 °С скорочує споживання тепла на 10 – 15 %.

Однією із санітарно-гігієнічних вимог є підтримування у приміщеннях рівномірної температури повітря. Це можливо при великих поверхнях нагрівання опалювальних приладів. Інша санітарно-гігієнічна вимога – обмеження температури поверхні приладів – обумовлена явищем розкладання і сухої сублимації органічного пилу на нагрітій поверхні, що супроводжується виділенням шкідливих речовин. При панельному опаленні відбувається збільшення частки конвективного теплоперенесення у загальній тепловіддачі тіла людини за рахунок зменшення радіаційної складової завдяки підвищенню самопочуття людини. Виходячи з вищесказаного можна стверджувати, що панельне опалення є найбільш прийнятною системою з економічної і санітарно-гігієнічної точок зору. Низька температура нагріву кабельних панелей дозволяє застосовувати всі сучасні технології генерування тепла, такі як ЕКСО, теплові насоси, тощо.

Термічний стан нагрівальних панелей, окремі поверхні та частини конструкцій мають граничну температуру, після підвищення якої виникають болісні відчуття або загроза втрати робочих характеристик. Крім неприпустимої температури, може виникати загроза надмірного променевого, в основному в ІЧ-частині спектру, випромінювання на мешканця приміщення. Частково це питання було розглянуто в п. 3.2.4., де був розглянутий комплекс критеріїв технології електрокабельних систем опалення. Також у 3.3.2. розглядалася комфортна та шкідлива температура поверхні гріючої підлоги з погляду теорії теплотривкості.

Таким чином, ЕТА-обігрів (у його панельно-променевої модифікації) не тільки зменшує тепловитрати з вентиляційним повітрям, знижує комфортну температуру повітря у приміщенні, а й поліпшує фізіологічну якість обігріву. При цьому забезпечуються нормативні вимоги теплового комфорту для різних вікових груп людей. Реалізу-

ються класичні напрями забезпечення якості повітря: у зоні дихання людей повітря повинно бути прохолодним, а біля ніг – теплим (рис. 5.1 – 5.3) [153]. Забезпечення більш високого теплового комфорту в житловому приміщенні, крім психологічного аспекту, має економічні показники, які оцінюються соціальними результатами, передусім, зниженням захворюваності [153, 156].



Рис. 5.1. Розподіл температури у приміщенні, обладнаному: системою повітряного обігріву (а); системою кабельного обігріву, встановленою у стелю (б); системою кабельного підлогового обігріву (в).

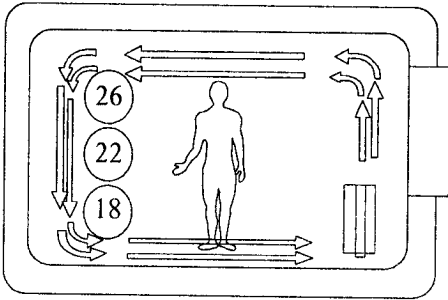


Рис. 5.2. Традиційна система обігріву (конвекційні потоки та нерівномірний розподіл температури повітря за висотою)

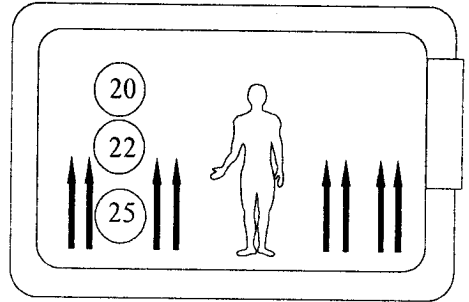


Рис. 5.3. Система обігріву гріючою підлогою (оптимальний розподіл температури повітря за висотою)

Дослідження, проведені в офісних приміщеннях, обладнаних ЕКСО, свідчать про широкі можливості цих систем у плані формування оптимальних і допустимих параметрів мікроклімату в холодний період року для працівників, які виконують роботу різної категорії важкості. Основним кліматоутворюючим фактором при експлуатації ЕКСО є установка температури терморегулятора гріючої підлоги. В нічний час у конструкціях підлоги (стіни) накопичується певна кількість теплової енергії, яка в денний час завдяки променевому, кондуктивному та конвективному механізмам теплообміну забезпечує формування певних умов мікроклімату при відключеному енергопостачанні. У табл. 5.1 представлено параметри мікроклімату, які утворюються при установлених температурах регулятора системи на рівні 17-20-23-26-28-29 °C [156].

Як видно з наведених даних, температура підлоги значною мірою залежить від установленної температури і відрізняється від неї на $3,0 \pm 0,2$ °C. Температура повітря у приміщенні тісно пов'язана з температурою стін, яка формується завдяки променевій і конвективній складовим теплообміну в приміщенні від гріючої підлоги при значенні зовнішньої температури у даний момент часу.

Показники мікроклімату приміщення (площа 24 м², висота 3 м) залежно від установлених температур терморегулятора (експеримент)

Показники мікроклімату	Один. вим.	Установча температура регулятора системи, °С				
		17	20	23	26	28-29
Зовнішня температура	°С	-13	-2	-2	-4...-13	0...-12
Температура підлоги	°С	18,9±0,4	23,7±0,2	26,5±2,1	29,5±0,8	31,2±0,8
Температура стін	°С	16,4±0,2	21,3±0,17	22,9±0,4	23,6±0,8	24,2±0,4
Температура внутрішнього повітря	°С	18,8±0,07	21,4±0,09	22,7±0,15	23,2±0,26	24,9±0,3
Інфрачервоне випромінювання на відстані 0,5 м від підлоги	Вт/м ²	11,2±1,5	12,6±2,4	28,2±1,5	48,1±2,05	58,2±0,2
Відносна вологість	%	45,9±0,6	51,6±0,7	42,9±0,7	42,7±1,0	42,9±1,2

Привертає увагу інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання, генерованих нагрітою підлогою. При установленій температурі, вищій за 28–29 °С, спостерігаються суттєві інтенсивності випромінювання, які досягають 60 Вт/м² і впливають на формування теплового стану людей, що перебувають у цих умовах.

Оцінюючи в цілому умови мікроклімату, які формуються при різних рівнях установленій температурі, слід зауважити, що оптимальні та допустимі умови мікроклімату виникають при установленій температурі 17–26 °С; при температурі вище за 28–29 °С умови мікроклімату визначаються як нагріваючі. Ці оцінки підтверджуються даними щодо характеристик теплового стану робітників цих приміщень, які свідчать про наявність напруження терморегуляторних функцій при температурі 28–29 °С, коли вони оцінювали свій тепловий стан як «тепло», «дуже тепло». При температурі 17 °С в 15% випадків в стані спокою спостерігалось тепловідчуття «прохолодно». Найбільш сприятливий тепловий стан спостерігався в умовах мікроклімату, що створювався при установленій температурі 20–23 °С [156].

Таким чином, використання системи ЕКСО дає можливість створити умови мікроклімату, що відповідають вимогам санітарних норм і правил (ДСН 3.3.6.042-99) при установлених температурах, значно нижчих за вказані в ДБН В.2.5-24-2003, що сприяє економії енергії, яка споживається для обігріву.

5.2. Електробезпека у приміщеннях з ЕКСО

Основним елементом типової системи ЕТА-опалення є розташована в будівельних огороженнях лінійна структура з нагрівального кабелю, по якому в інтервалі зарядки протікає електричний струм напругою 220 В, частотою 50 Гц, погонною щільністю до 30 В/м. Тому виникає завдання забезпечити електробезпеку цього виду побутової техніки. Електробезпека ЕКСО вивчалася у праці [157], в якій було проведено аналіз вимог до засобів захисту від ураження електричним струмом в ЕКСО (за винятком використовуваних у вибухонебезпечних об'єктах). Аналіз ґрунтується на вивченні вітчизняного та закордонного досвіду експлуатації таких установок, а також нормативних документів (НД) інших країн. Основою при виборі засобів захисту від ураження електричним струмом в ЕКСО є вимоги Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), викладені в стандартах МЕК 364 «Електроустановки будівель». Такий висновок базується на тому, що, по-перше, Україна вже давно прийняла ряд стандартів МЕК 364 у якості міждержавних; по-

друге, ці стандарти, увібрали в себе багаторічний світовий досвід у сфері електробезпеки, що дозволяє виявити й уточнити ті із них, які найбільш придатні для таких специфічних електроустановок, як ЕКСО [158].

Відповідно до стандарту МЕК 364-4-41-92 «Електроустановки будівель. Частина 4. Вимоги по забезпеченню безпеки. Захист від ураження електричним струмом», повний автентичний текст якого міститься в ГОСТ 30331.3-95, захист в електроустановках має забезпечуватися використанням засобів, призначених для:¹

- захисту від прямого контакту;
- захисту від непрямого контакту;
- захисту як від прямого, так і від непрямого контактів.

Захист від прямого контакту відповідно до вищезазначеного стандарту здійснюється за допомогою одного із таких засобів:

- ізоляцією струмопровідних частин;
- застосуванням огорожень та оболонки;
- установкою бар'єрів;
- розміщенням поза зоною досяжності.

У цьому ж стандарті докладно розглянуто вимоги до перерахованих засобів захисту від прямого контакту. Однак два останні, з огляду на особливості конструкції та експлуатації ЕКСО, не можуть вважатися прийнятними для цих установок. Такий висновок підтверджується аналізом закордонних НД (німецьких, фінських), що відносяться до ЕКСО.

У зв'язку з тим, що для забезпечення місцевого зрівнювання потенціалів необхідна повна відсутність заземлення частин електроустановки, а також належний контроль цієї відсутності, що, з огляду на специфіку експлуатації ЕКСО важко реалізувати, розглянутий засіб не може вважатися прийнятним. Те саме можна сказати і про використання ізолюючих приміщень, зон і площадок, як засобу захисту від непрямого контакту. Як і при розгляді можливості застосування в якості засобу захисту від прямого контакту встановлення бар'єрів і розміщення поза зоною досяжності, висновок про недоцільність цих двох засобів захисту від непрямого контакту підтверджується аналізом закордонних нормативних документів.

Тому для захисту від непрямого контакту використовують:

- автоматичне відключення живлення;
- устаткування класу II або з рівноцінною ізоляцією;
- ізолюючі (непровідні) приміщення, зони, площадки;
- місцеве зрівнювання потенціалів;
- електричне розділення кіл (захисне розділення).

Засіб захисту від непрямого контакту за допомогою захисного розділення може застосовуватися за умови підключення до вторинної обмотки роздільного трансформатора тільки одного пристрою електронагріву і відсутності підключених до обмотки інших споживачів. Виконання вимог до цього захисного засобу, запропонованих ГОСТ 30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92), дозволяє забезпечити високий рівень захисту від прямого контакту.

Що ж стосується засобу захисту за допомогою використання устаткування класу II або з рівноцінною ізоляцією, то, очевидно, застосовувати її як єдиний засіб від непря-

¹ Визначення термінів, які використовуються у сфері забезпечення електробезпеки, у тому числі тих, що відносяться до засобів захисту від ураження електричним струмом, наведено в ГОСТ 30331.1-95, а також у [157 – 159].

мих контактів до розробки вітчизняних НД, що регламентують вимоги до виготовлення електронагрівальних елементів з такою ізоляцією і їхнього монтажу, не треба.

Поширеною у світовій практиці засобом захисту від непрямого контакту в ЕКСО (і є всі підстави вважати, що такою вона залишиться й у майбутньому) є автоматичне відключення живлення. Цей захисний засіб у більшості випадків здійснюється за допомогою з'єднання обох кінців металевої оболонки електронагрівального елемента з нульовим захисним провідником (мережа з системою заземлення типу TN-S або TN-C-S), або із заземлюючим провідником (мережа з системою заземлення типу TT). На рис. 5.4. наведено схеми підключення ЕКСО до живильної мережі з використанням для захисту. Апарат, що здійснює відключення живлення – пристрій захисного відключення (ПЗВ), керований диференціальним струмом, із вбудованим захистом від надструму.

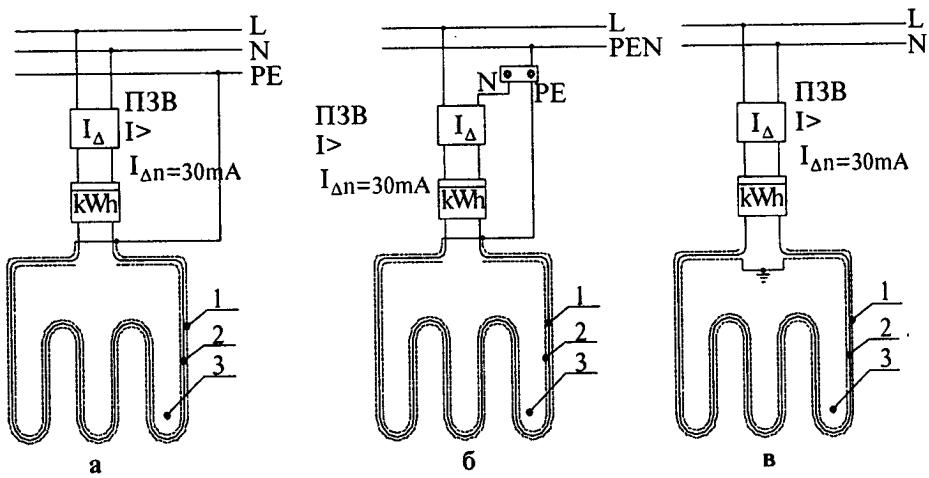


Рис. 5.4. Приклади схем підключення до живильної мережі ЕКСО (датчики та регулятори температури у схемах умовно не показані):

- а** – схема роздільної роботи нульових робочого та захисного провідників для всієї мережі (система заземлення типу TN-S);
 - б** – схема з об'єднанням функцій нульових робочого та захисного провідників у частині мережі (система заземлення типу TN-C-S);
 - в** – схема без захисного провідника із заземленням металевої оболонки (система заземлення типу TT);
- 1 – металева оболонка електронагрівального елемента;
 2 – струмопровідний провідник електронагрівального елемента;
 3 – електронагрівальний елемент.

Живильна мережа із системою заземлення типу TN-S (рис. 5.4, а) порівняно з мережею із системою заземлення типу TN-C-S (рис. 5.4, б) є дорожчою. Однак із погляду забезпечення електробезпечності, вона є ефективнішою. У мережі із системою заземлення TN-C-S у нормальному режимі роботи через нерівномірність розподілу навантажень за фазами трифазної мережі на відкритих провідних частинах, на металевій оболонці практично завжди є деяка напруга відносно землі (хоча, звичайно, і незначна). Ситуація ускладнюється при обриві PEN-провідника, бо відкриті провідні частини всіх електроприймачів, що знаходяться за місцем обриву, отримують значний потенціал щодо землі, аж до рівного фазній напрузі мережі. Особливо небезпечною є така ситуація при використанні електронагрівальних елементів без надійної ізоляції, накладе-

ної на металеву оболонку. Схема живлення електроприймачів, у тому числі й ЕКСО, із застосуванням системи заземлення типу TN-S не має цих недоліків.

Приєднувати до металевої оболонки нульовий робочий провідник N або PEN, тобто використовувати для живлення електронагрівальних елементів ЕКСО систему заземлення типу TN-C не варто, бо при цьому виявляються більшою мірою зазначені вище недоліки системи TN-C-S, а крім того (і це головне), втрачається можливість застосування в якості захисту від непрямого контакту ПЗВ, керованих диференціальним струмом.

У якості захисних апаратів в ЕКСО для схем на рис. 5.4, крім ПЗВ, можуть бути використані автоматичні вимикачі або запобіжники. Однак, на відміну від ПЗВ, ці пристрої не здатні задовольнити вимоги ГОСТ 30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92) у частині забезпечення відключення джерела живлення у встановлений час у випадку ушкодження ізоляції, що сталося не поблизу початку електронагрівального елемента (точки підключення до нього фазного живильного провідника). Більше того, якщо порушення ізоляції відбудеться поблизу кінця електронагрівального елемента (точки підключення до нього нульового робочого провідника) відключення взагалі не відбудеться. Тому застосування захисту від надструму з метою забезпечення електробезпечності може здійснюватися тільки разом із додатковим зрівнюванням потенціалів, виконаним відповідно до ГОСТ 30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92). При цьому захист від надструму повинен забезпечити такий час відключення джерела живлення у випадку порушення ізоляції на початку електронагрівального елемента, який не перевищує зазначеного в ГОСТ 30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92) максимального значення.

У випадку використання ЕКСО з нагрівальним елементом без металевої оболонки, з металевою оболонкою, що не має зовнішнього ізоляційного покриття, або з оболонкою, виготовленою з ізоляційного матеріалу, в якості захисних пристроїв повинні застосовуватися тільки ПЗВ. Ця вимога ставиться також до ЕКСО, що підключають безпосередньо в штепсельну розетку.

З огляду на умови експлуатації ЕКСО в приміщеннях ванних, душових і плавальних басейнів, при відсутності у електронагрівальних елементів, що замонолічено у підлогу, металевої оболонки ці елементи мають бути покриті металевою сіткою з розмірами отворів (осередків), не більшими між 50×50 мм, з'єднаною з додатковою системою зрівнювання потенціалів.

Живлення ЕКСО може також здійснюватися від мережі з ізольованої нейтраллю (мережа із системою заземлення типу TT) (рис. 5.4, в). З огляду на те, що пристрої захисту від надструму (як правило, ПЗВ, які керуються диференціальним струмом), не здатні реагувати на перше замикання (порушення ізоляції), у таких мережах з ЕКСО як захист від непрямого контакту, повинні використовуватися пристрої контролю ізоляції.

Для захисту як від прямого, так і від непрямого контактів у мережі, що живить ЕКСО, може бути застосовано систему наднизької напруги (БННН – англійський аналог «SELV system» або ЗННН – англійський аналог «PELV system»), створену відповідно до вимог ГОСТ 30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92). При цьому можуть використовуватися електронагрівальні елементи без ізоляції струмопровідних частин, огорожень та оболонок, якщо використовується система БННН із номінальною напругою до 25 В змінного струму (діюче значення) або 60 В постійного струму та конструкції, у яких ці частини виготовлено з негорючих матеріалів.

Аналізуючи вищевикладене, а також вітчизняний та закордонний досвід застосування ЕКСО, неважко переконатися, що найпростішим, а тому найпоширенішим способом захисту від прямого контакту в наш час є ізоляція струмопровідних частин електронагрівальних елементів, а захисту від непрямого контакту – використання захисних апа-

ратів ПЗВ, керованих диференціальним струмом. Крім того, використання ПЗВ є ефективним додатковим заходом захисту від прямого контакту та забезпечує досить високий ступінь захисту від виникнення пожеж, обумовлених «старінням» ізоляції. Тому нижче докладно буде розглянуто вимоги, які має задовольняти ПЗВ в ЕКСО [157, 158].

Насамперед відзначимо, що характеристики та параметри ПЗВ мають відповідати вимогам Міжнародного стандарту МЕК 755-83 «Пристрої захисні, керовані диференціальним (залишковим) струмом». Крім того, ПЗВ повинні мати, як правило, вмонтований захист від надструму. Якщо ПЗВ не має такого вмонтованого захисту, то перед ним з боку джерела живлення варто встановити пристрій захисту від надструму, характеристики якого мають відповідати вимогам виготовлювача ПЗВ.

У випадку послідовного встановлення рядів ПЗВ у мережі необхідно забезпечити селективність їх роботи. Ця вимога задовольняється розташуванням ближче до джерела живлення ПЗВ з органом витримки часу (тип S), номінальний диференціальний струм, що відключає, повинен не менш, ніж утричі, перевищувати значення ПЗВ.

До одного ПЗВ можна підключати кілька електронагрівальних елементів. При цьому в колі кожного з них за ПЗВ має встановлюватися автоматичний вимикач.

З огляду на те, що ЕКСО не є джерелом пульсуючої і згладженої постійних складових у диференціальному струмі, у колах електронагрівальних елементів можуть бути встановлені ПЗВ з різними характеристиками в частині їх класифікації за наявністю постійної складової диференціального струму, у тому числі й типу А.

Параметри ПЗВ (номінальна напруга U_n , номінальний струм I_n , номінальний диференціальний струм, що відключає, $I_{\Delta n}$) визначаються за характеристиками електронагрівальних елементів ЕКСО, у колах яких встановлюються ПЗВ. Найбільш складним є вибір номінального диференціального струму, що відключає (методику цього процесу подано нижче). Для вибору номінального диференціального струму ПЗВ, що відключає, необхідно визначити величину струму витoku в електронагрівальних елементах. Це може здійснюватися за допомогою вимірів або розрахунковим шляхом із використанням заводських характеристик електронагрівальних елементів ЕКСО. Розрахункову схему для визначення струму витoku в електронагрівальному елементі зображено на рис. 5.5.

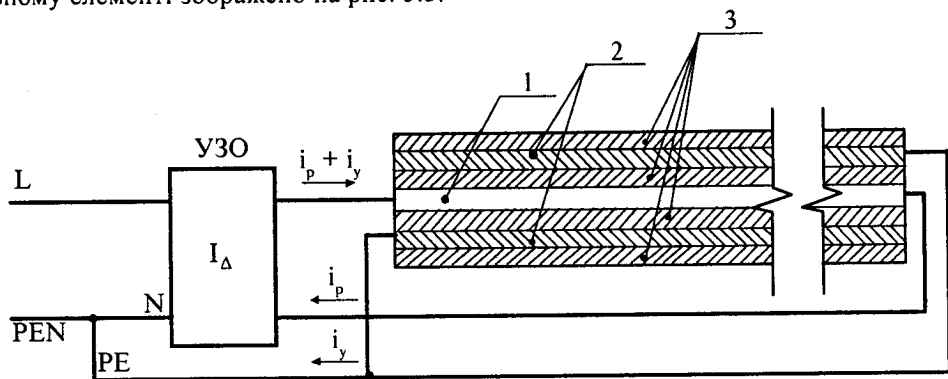


Рис. 5.5. Розрахункова схема для визначення струму витoku в електронагрівальному елементі:

- 1 – струмопровідний провідник; 2 – металева оболонка; 3 – ізоляція;
- i_p – комплексна величина робочого струму електронагрівального елемента;
- i_y – комплексна величина струму витoku

Струм, що протікає в металевій оболонці в нормальному режимі роботи електронагрівального елемента, умовно представлений у вигляді двох незалежних складових – електромагнітної та електричної. Електромагнітна складова струму обумовлена наведенням під впливом струму в струмопровідному провіднику електрорушійної сили, має індуктивний характер і протікає за замкнутим контуром «оболонка-провідник РЕ». Електрична складова, обумовлена наявністю активноемнісної провідності між струмоведучим провідником та оболонкою, струм витoku, здатний викликати відключення ПЗВ.

Визначаючи величину струму витoku в електронагрівальному елементі, можна припустити:

- величина струму витoku значно нижча значення номінального струму електронагрівального елемента;
- спаданням напруги в «холодних» провідниках, тобто у фазному та нульовому робочому провідниках, що з'єднують електронагрівальний елемент із живильною мережею, можна знехтувати.

Правомірність прийняття зазначених припущень є очевидною, бо перше з них відповідає якісно виконаному електронагрівальному елементу, а друге випливає з того, що повний опір «холодних» провідників є значно нижчим за опір електронагрівального елемента.

З урахуванням зроблених припущень розрахункову схему на рис. 5.5 можна подати як схему заміщення звичайної лінії електропередачі, але із закорочуваними вихідними затискачами, що має вигляд, відбитий на рис. 5.6.

Схема на рис. 5.6 ілюструє, що діюче значення струму витoku може визначатися за формулою:

$$I_y = 0,5U_0I\sqrt{g_{0i}^2 + (\omega C_{0i})^2}, \quad (5.1)$$

де ω – кутова частота струму промислової частоти $\omega = 314$ радіан/с.

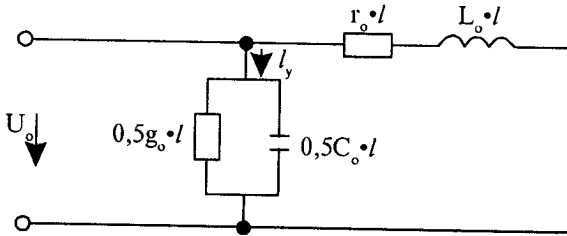


Рис. 5.6. Схема заміщення електронагрівального елемента:

U_0 — номінальна фазна напруга живильної мережі; r_0 і L_0 — погонні активний опір та індуктивність струмопровідного провідника; g_0 і C_0 — погонні активна провідність та ємність між струмоведучим провідником й оболонкою;

l — довжина електронагрівального елемента;

I_y — струм витoku.

Точнішу формулу для визначення I_y можна отримати, розглядаючи електронагрівальний елемент як лінію з рівномірно розподіленими параметрами, а не із зосередженими, як це було зроблено вище. Методику такого розрахунку, подану в [158], можна використовувати для визначення I_y в електронагрівальних елементах дуже великої довжини й у цей час має швидше теоретичне, ніж практичне значення.

При виборі ПЗВ варто врахувати, що значення його номінального диференціального струму, що відключає, повинне бути не менш ніж утричі більшим за величину струму витоку [159]. Крім того, необхідно врахувати можливість перевищення номінального значення напруги в мережі, витікання струму в «холодних» провадах і зношення ізоляції в процесі експлуатації. Тому в ЕКСО можна рекомендувати застосовувати ПЗВ із номінальним диференціальним струмом, що відключає, який перевищує не менш ніж у 4 рази значення струму I_y , одержаного за формулою (5.1). При цьому у випадку підключення до ПЗВ декількох електронагрівальних елементів номінальний диференціальний струм, що відключає ПЗВ, визначається за умови:

$$I_{\Delta n} \geq 2U_0 \sum_{i=1}^n I_i \sqrt{g_{0i}^2 + (\omega C_{0i})^2}, \quad (5.2)$$

де n – кількість електронагрівальних елементів, підключених до ПЗВ.

Із набуттям досвіду експлуатації ЕКСО формула (5.2) може уточнюватися.

Виконання умови (5.2) сприяє уникненню помилкових відключень ПЗВ. Крім цього при виборі номінального диференціального струму, що відключає, повинні бути враховані умови експлуатації та функціонування опалюваного об'єкта, що впливають на електробезпеку ЕКСО. На підставі аналізу закордонних НД вважається за доцільне обмежити $I_{\Delta n}$ ПЗВ до 30 мА у таких випадках:

- ЕКСО змонтовано у вологих приміщеннях або у приміщеннях, де може з'явитися волога (ванни, душові, плавальні басейни, тваринницькі ферми, теплиці тощо);
- ЕКСО використовують для обігріву відкритих просторів, де під час роботи можуть перебувати люди, що не належать до обслуговуючого персоналу (ділянки вулиць і доріг, спортивні майданчики, сходи тощо);
- електронагрівальні елементи ЕКСО доступні для безпосереднього контакту;
- ЕКСО використовують у виробничих приміщеннях із підвищеною пожежною безпекою;
- електронагрівальні елементи ЕКСО не мають металевих оболонок;
- ЕКСО включається в штепсельну мережу за допомогою вилки.

Застосування ПЗВ з $I_{\Delta n}$, що не перевищує 300 мА, видається обґрунтованим у випадках:

- ЕКСО розташовані в сухих приміщеннях, але конструкції, на яких змонтовано електронагрівальні елементи, є електропровідними;
- електронагрівальні елементи ЕКСО вмонтовано в електропровідні матеріали (земля, бетон) і слугують для обігріву об'єкта, розташованого на відкритому просторі, за умови, що електронагрівальні елементи включаються епізодично, і під час їх роботи на території, що обігрівається, не можуть перебувати люди, які не належать до обслуговуючого персоналу (наприклад, обігрів футбольного поля у випадку виконання огороження та розвішування попереджувальних плакатів);
- металеві оболонки електронагрівальних елементів ЕКСО не мають зовнішнього ізоляційного покриття.

Якщо подані вище вимоги до максимального значення $I_{\Delta n}$ (5.2) при використанні електронагрівальних елементів не задовольняються, то потрібно або замінити електронагрівальні елементи на інші, які змогли б забезпечити виконання умови (5.2), або

змінити схему живлення ЕКСО, зменшивши при цьому кількість електронагрівальних елементів, підключених до одного ПЗВ.

Розглянуті принципи забезпечення електробезпеки було застосовано у перших вітчизняних ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення (ЕКСО)». Їх було введено в дію з 1 червня 2004 р., вони поширюються на проектування та монтаж ЕКСО з номінальною напругою до 1000 В, нагрівальні елементи якої замонолічуються безпосередньо в будівельні конструкції як при новому будівництві, так і при реконструкції приміщень, будинків і споруд різного призначення [76]. Фіксується принцип, що електрообладнання ЕКСО має відповідати вимогам ГОСТ 12.1.013 та ГОСТ 12.2.007.0:

- у частини підлоги приміщення з нагрівальним кабелем не варто вмонтовувати проникаючі елементи; якщо нагрівальний кабель вмонтовано в стелю, то проникаючі елементи слід розташовувати в спеціально відведених для кріплення місцях;
- нагрівальний кабель не потрібно укладати в місцях кріплення ванн, раковин, унітазів та іншого обладнання, які монтуються в підлогу;
- нагрівальний кабель не вкладають в огорожувальні будівельні конструкції дна і стін ванн плавальних басейнів.

Проектування та монтаж ЕКСО мають забезпечувати захист від ураження електричним струмом відповідно до вимог ГОСТ 30331.3 щодо захисту від прямого та непрямого контакту, а також доповнень і уточнень, визначених нормами ДБН В.2.5-24-2003:

- для захисту від прямого контакту, використовується ізоляція струмопровідних частин;
- не дозволяється застосовувати бар'єри як захист від прямого контакту;
- для захисту від непрямого контакту варто використовувати автоматичне вимикання живлення, обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією, електричне розділення мереж (захисне розділення);
- не дозволяється використовувати для захисту від непрямого контакту ізолювальні зони (майданчики), а також місцеве зрівнювання потенціалів;
- захист від непрямого контакту шляхом автоматичного вимикання живлення варто застосовувати за умови, якщо нагрівальні кабелі мають металевий екран (оболонку);
- обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією для захисту від непрямого дотику може використовуватися за умови, що всі елементи ЕКСО відповідають вимогам до електрообладнання з подвійною або підсиленою ізоляцією, що вказано в супроводжувальній документації виробника.

Електричне розділення кіл як засіб захисту від непрямого контакту можна використовувати за умови виконання таких вимог:

- усі елементи відокремленої частини схеми електроживлення відповідають вимогам ГОСТ 30331.3-95;
- до вторинної обмотки роздільного трансформатора підключено лише одну нагрівальну секцію;
- приміщення, яке обігривають, за класифікацією ПУЕ є сухим.

Для захисту від прямого та непрямого контакту може використовуватися захист за допомогою систем безпечної наднизької напруги БСНН або ЗСНН із заземленням проводу систем БСНН (ЗСНН), які відповідають вимогам ГОСТ 30331.3-95. При цьому відмова від ізоляції допускається, якщо виконуються такі умови:

- застосовується система БННН із номінальною напругою, що не перевищує 25 В змінного струму або 60 В постійного (випрямленого) струму;

- нагрівальний кабель укладено у негорючий шар будівельної конструкції;
- приміщення, яке обігрівають, за класифікацією ПУЕ є сухим.

Якщо для захисту від непрямого контакту використовують автоматичне вимикання живлення, металеві екрани (оболонки) нагрівальних та живильних кабелів (проводів), металеві труби та короби, в яких прокладають живильні кабелі (проводи), металеві корпуси шаф живлення та інші відкриті провідні частини повинні бути заземленими згідно з типом системи заземлення електричної мережі, яка живить ЕКСО.

Якщо для захисту від непрямого контакту використовується автоматичне вимикання живлення, а живильна електрична мережа має систему заземлення типу TN-C за ГОСТ 30331.2-95, то в шафі живлення варто зробити розділення провідників, що поєднує функції нульового робочого та захисного провідників (PEN-провідник) на нульовий робочий (N) і захисний (PE) провідники. У місці розділення необхідно передбачити окремі шини (затискачі) N та PE-провідників. При цьому PEN-провідник потрібно приєднати до шини (затискача) PE провідника. З'єднання N-провідника та PE-провідника за місцем розділення не допускається.

Як захисні провідники для заземлення металевих оболонок нагрівальних кабелів можуть бути використані окремі жили чи алюмінієві оболонки кабелів (проводів), які живлять нагрівальні секції, металеві труби чи короби для прокладання живильних кабелів (проводів). Використання як захисних провідників для заземлення екранів (оболонок) нагрівальних кабелів окремих спеціально прокладених провідників, а також сторонніх струмопровідних частин (металевих будівельних конструкцій приміщення, труб водопроводу) не рекомендується. Використання як захисних провідників несучих тросів електропроводки, металевих оболонок ізоляційних трубок, металорукавів, броні і свинцевих оболонок кабелів та проводів, а також труб (крім труб водопроводу та для прокладання живильних кабелів або проводів) не допускається.

Захисні провідники та провідники для додаткового зрівнювання потенціалів мають бути позначені жовто-зеленими смугами однакової ширини.

Якщо захисні провідники і фазні провідники, що живлять нагрівальні секції, виготовлено з однакового матеріалу, площа поперечного перерізу захисних провідників повинна бути не меншою:

- за площу перерізу фазних провідників живильних кабелів (проводів), якщо ця площа не перевищує 16 мм^2 ;
- 16 мм^2 , якщо площа перерізу фазних провідників живильних кабелів (проводів) більше 16 мм^2 , але не перевищує 35 мм^2 ;
- половини площі перерізу фазних провідників живильних кабелів (проводів), якщо ця площа перевищує 35 мм^2 .

Якщо матеріал захисних і фазних провідників є різним, то електрична провідність захисних провідників повинна бути такою, як і за умови їх виготовлення з однакових матеріалів. При цьому площа перерізу захисних провідників, які не входять до складу живильних кабелів (проводів), повинна бути не менше $2,5 \text{ мм}^2$, якщо вони мають механічний захист, і 4 мм^2 коли такий захист відсутній.

Контактні з'єднання захисних провідників потрібно виконувати з дотриманням вимог ГОСТ 10434 до контактних з'єднань класу II. З'єднання металевих екранів (оболонок) нагрівальних кабелів із захисними провідниками слід робити на кожному кінці нагрівального кабелю. Забезпечення доступу для перевірки таких з'єднань не вимагається.

Якщо для захисту від непрямого контакту використовують автоматичне вимикання живлення, то для його забезпечення необхідно застосовувати ПЗВ, які керуються диференціальним струмом.

Пристрої захисту від надструму (автоматичні вимикачі, запобіжники) дозволяється застосовувати для забезпечення автоматичного вимикання живлення за таких умов:

- при пошкодженні ізоляції на початку нагрівальної секції (у місці приєднання нагрівального кабелю до фазного провідника живильного кабелю або проводу); забезпечується час вимикання, вказаний у табл. 41А ГОСТ 30331.3;
- нагрівальну секцію укладено в підлогу, лицьове покриття якої є ізолювальним;
- металевий екран (оболонка) нагрівального кабелю має зовнішнє ізолювальне покриття;
- приміщення, в якому укладено нагрівальні кабелі, за класифікацією ПУЕ є сухим.

Номінальний вимикаючий диференціальний струм ПЗВ не повинен перевищувати значення 30 мА, якщо ЕКСО використовують для опалення приміщень, які за класифікацією ПУЕ не є сухими (ванни, душові, роздягальні лазень, обхідні доріжки та роздягальні плавальних басейнів тощо), пожежонебезпечних зон, приміщень дитячих та лікувальних закладів а також приміщень тваринницьких ферм. Застосування ПЗВ із номінальним вимикаючим диференціальним струмом, значення якого перевищує 300 мА, не допускається.

Якщо ЕКСО застосовують у приміщеннях, де згідно з чинними нормативними документами виконується додаткове зрівнювання електричних потенціалів, наприклад, у ванних та душових приміщеннях, а для захисту від непрямого контакту використовують обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією, нагрівальний кабель повинен бути покритий металевою сіткою з розмірами чарунки, не більшими за 50 x 50 мм, та з діаметром дроту, не меншим за 3 мм, яку з'єднують з системою додаткового зрівнювання потенціалів.

Якщо ЕКСО застосовують на тваринницьких фермах, а для захисту від непрямого дотику використовують обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією, нагрівальний кабель повинен бути покритим металевою сіткою з розмірами чарунки не більше 50x50 мм та з діаметром дроту не менше 3 мм, яку з'єднують із захисним провідником електроустановки.

Якщо нагрівальні кабелі укладено в стелю, а для захисту від непрямого контакту використовують обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією, то всі елементи конструкції під несучим перекриттям мають бути виготовленими зі струмонепровідних матеріалів, за винятком елементів для кріплення. Відстань між нагрівальним кабелем і струмопровідним елементом для кріплення повинна бути не менше ніж 30 мм.

5.3. Електромагнітна безпека у приміщеннях з ЕКСО

Фахівцям зрозуміло, що за електро- і пожежною безпекою ЕКСО можна порівняти зі схованою електропроводкою в будинках та приміщеннях. До цієї проводки всі давно звикли, звичайно, за умови кваліфікованого (відповідно до ПУЕ) вибору типу кабелю, терморегуляторів і додаткових пристроїв, а також монтажу. Так, у вологих приміщеннях електробезпеку забезпечать кабелі з підвищеною ізоляцією та із заземленою оболонкою, а в сухих приміщеннях можливе застосування одножильного кабелю, найпоширенішого в Західній Європі. Деякі виробники можуть рекомендувати тільки екрано-

ваний (більш дорогий) вид кабелю. Однак, при виборі кабелю варто виходити із принципу розумної достатності, але незалежно від типу кабелю, варто передбачити в системі надійний пристрій захисного відключення у разі аварійних ситуацій.

Останнім часом поряд з обговоренням питань електробезпеки електричних пристроїв все частіше з'являються публікації про вплив електромагнітних полів, пов'язаних із роботою різних побутових приладів. Причому інформацію, зрозумілу фахівцям з електромагнітної сумісності (ЕМС), людина, яка неознайомена з особливостями проблеми, сприймає з побоюванням. Дійсно, електромагнітне поле впливає на біологічні об'єкти, але в різному частотному діапазоні виявляються неоднакові ефекти. Усі добре знають про лікувальний вплив НВЧ у фізіотерапії. Менш відомою є наявність природних рівнів постійного електричного (до 300 В/м) і магнітного (приблизно 50 мкТл) полів поблизу поверхні Землі, вплив яких на нас є непомітним. Що ж стосується впливу на організм людини низькочастотних електромагнітних полів із частотою 50 Гц із рівнями, характерними для побутових приладів, то, за сучасним даними, говорити про їх вплив немає сенсу. Довжина хвилі такого електромагнітного випромінювання дуже велика (порядку декількох тисяч кілометрів), тому для завдань із характерним масштабом, рівним метру або десяткам метрів, буде справедливим квазістатичне наближення. Це означає, що ми маємо справу з електричним полем та не пов'язаним з ним магнітним полем прямого струму. До цього часу відсутні достовірних даних і щодо віддалених наслідків такого впливу. Дослідження в цьому напрямку ведуться у всіх розвинених країнах, у кожній країні існують санітарні норми допустимих рівнів.

Так, у Росії допустимі значення напруги електричного поля для житлових приміщень, закріплені в санітарних нормах № 2971-84, де верхньою межею становлять максимум 500 В/м. Гігієнічні норми показника індукції магнітного поля в різних країнах значно відрізняються. У Росії поки відсутні діючі норми показника магнітної індукції для житлових приміщень. Санітарні правила та норми «Змінні магнітні поля промислової частоти (50 Гц) у виробничих умовах» (СанПін 2.2.4.723-98) введені в дію у 1999 році: для 8-годинного робочого дня гранично допустимий рівень магнітної індукції при загальному впливі на людину становить 100 мкТл, а при локальному (на частину тіла) – 1000 мкТл. Однак, на думку фахівців Інституту медицини праці Росії та Міжнародного центру ICNIRP, коефіцієнт запасу для населення, порівняно з виробничими нормами, становить 5, тобто допустима норма в житлових приміщеннях – 20 мкТл.

Магнітне поле нагрівального кабелю залежить від величини струму, що протікає по кабелю, тобто фактично від потужності кабелю та від відстані між кабелем і точкою виміру. Для прикладу візьмемо досить потужні нагрівальні секції одножильного кабелю, розраховані на установку в кімнаті середніх розмірів (15 – 20 м²). Потужність кабелю тоді буде десь 2 кВт. Струм у такому випадку буде близьким до 10 А, а величина індукції магнітного поля на відстані 10 см – 20 мкТл; 30 см – 6,7 мкТл; 50 см – 2 мкТл (магнітне поле Землі складає 50 мкТл).

Якщо кабель покладено «змійкою» з напрямком струму, що чередується, то виникає ефект ослаблення магнітного поля на відстанях, порівнянних із кроком укладання, але навіть у найгіршому випадку магнітне поле від кабельної системи є істотно нижчим за наведені значення фонових магнітного поля Землі. Чи шкідливі такі значення для здоров'я та який характер має ця шкода – питання надто суперечливе. Відсутні факти, які б свідчили про шкідливість магнітного поля напругою 10 – 20 мкТл.

Проте в багатьох європейських країнах прийнято досить чіткі норми величини допустимого магнітного поля промислових частот. Найбільш чіткі норми, прийняті

у Швеції, обмежують штучний магнітний фон величиною 0,2 мкТл на відстані 50 см від джерела фона для приміщень із тривалим перебуванням людей. У ці норми легко вписується двожильний нагрівальний кабель. У цій конструкції струм по близько розташованих проводах протікає у протилежних напрямках, і магнітні поля взаємознищуються.

Наведемо оцінки магнітного поля двожильного кабелю за тих самих умов (струм у кабелі 10 А) на відстані: 10 см – 0,4 мкТл; 30 см – 0,04 мкТл; 50 см – 0,008 мкТл (нагадуємо, що магнітне поле Землі становить 50 мкТл).

Таким чином, як двожильний екранований кабель, так і одножильний, не змінює існуючого природного поля Землі у приміщенні, де його встановлено.

Пропоновані споживачу кабельні нагрівальні системи забезпечують виконання вимог санітарних норм. Це підтверджують сертифікати відповідності. Однак, в умовах конкуренції окремі фірми у своїх рекламних повідомленнях часом не тільки дискредитують продукцію конкурентів, але й необгрунтовано заяляють недосвічену людину. У цих умовах Іспитовий центр «ТЕСТ МЭИ» провів незалежні функціональні дослідження кабельних нагрівальних систем провідних фірм-постачальників на Україну кабельної продукції [160].

Результати вимірів зведено в табл. 5.2. Ці дані подано з розрахунку на відстань 10 см від поверхні розміщення кабелю, а при видаленні рівні полів зменшуються обернено пропорційно до відстані.

Таблиця 5.2

Результати вимірів електромагнітних характеристик нагрівальних кабелів [160]

Джерело випромінювання	Модуль напруги		Нормативні відомості щодо E, B (значення відповідно ICNIRIP)
	електричного поля $E, \text{В/м}^2$	магнітної індукції $B, \text{мкТл}$	
Одножильні неекрановані кабелі різних типів	55-200	0,9-1,0	500 В/м, 20 мкТл
Екрановані кабелі різних типів	120-130	0,02-0,03	5000 В/м, 100 мкТл
Телевізор	250-450	1,4	12000 В/м, 20 мкТл
Пральна машина		16,4	
Електророзетки		16,82	

*Максимальні значення напруги електричного поля для нагрівального кабелю припадають на область муфти з'єднання з живильним кабелем.

Дослідження показують, що екран зменшує електричне поле та не впливає на магнітне. Рівні полів залежать від структури кабелю (одножильний чи двожильний, екранований чи ні), сили струму в кабелі, способу його укладання в секції. Кабелі одного класу різних виробників практично не відрізняються за рівнями полів, і (що важливо для споживача) рівні електричних та магнітних полів є нижчими за допустимі норми. *Коефіцієнт запасу для магнітних полів щодо норм становить від 10 до 300 разів.*

5.4. Пожежна безпека у приміщеннях з ЕКСО

Вимоги пожежної безпеки у випадку ЕКСО задовольняються досить легко, оскільки матеріали, з яких вони виготовляються, у принципі є негорючими, вогнестійкими,

стійкими до впливу високих температур. Але, як у будь-якому випадку, пожежну безпеку ЕКСО варто забезпечувати виконанням вимог ДБН В.1.1-7, НАПБ А.01.001 та ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення».

Як правило, ЕКСО використовують нагрівальні секції з номінальним струмом, значення якого не перевищує 16 А. Застосування нагрівальних секцій з номінальним струмом, значення якого перевищує 30 А не допускається.

При укладанні нагрівального кабелю необхідно уникати його безпосереднього контакту з легкозаймистими та горючими матеріалами. У пожежонебезпечних зонах слід забезпечити умови для того, щоб температура нагрітої поверхні будівельних конструкцій, в які укладають нагрівальні кабелі, була нижчою, не менше ніж на 20 %, від температури спалаху горючих речовин, що знаходяться в цій зоні. Температура спалаху більшості горючих речовин, які зустрічаються у побуті (бензин, гас, папір, деревина тощо) набагато вища, ніж гранична температура поверхні нагрівальної панелі (наприклад для підлоги ця гранична температура становить 28 °С).

Особлива увага приділяється пожежній безпеці вітчизняних нагрівальних кабелів. Спеціальні добавки що введені в пластикову ізоляцію, забезпечують самогасіння кабельних нагрівальних секцій торговельної марки «ЕКСОН» при температурі ≈ 750 °С. Нагрівальна жила потужних (30 Вт/м) кабелів для зовнішніх установок покрита шаром кремнійорганіки, що дозволяє віднести їх до класу важкоспалюваних. Значну роль у пожежній безпеці відіграють характеристики міцності кабелів.

Вітчизняні нагрівальні кабелі, які випускаються ВАТ «Одескабель», єдині в Україні, що використовують поверхове бронювання нагрівального кабелю оцинкованими стрічками, що у багато разів збільшує розривні навантаження на кабелі та їх пожежну безпеку.

Глава 6. ТЕХНОЛОГІЯ ВЛАШТУВАННЯ, МОНТАЖ ТА ВИПРОБУВАННЯ ЕКСО

6.1. Нова будівельно-монтажна технологія влаштування ЕТА-обігріву

Масштаби впровадження систем електроопалення значною мірою залежать від якості будівельно-монтажних технологій, які забезпечують практичне використання викладених у книзі принципів ЕТА-обігріву. Одні будівельно-монтажні технології більше підходять для нового будівництва, інші – для житла, що реконструюється. Їх вибір визначається типом споруд (наприклад, приватні помешкання, висотні монолітно-каркасні житлові будинки тощо). Від характеру (наприклад, офісне, громадське, житлове, лікувальне і т.п.) і специфіки експлуатації (наприклад, із короткочасним чи цілодобовим перебуванням людей) приміщень також залежить доцільність того чи іншого засобу влаштування ЕТА технології обігріву. Досить помітне поширення знаходить технологія розміщення нагрівальних кабелів у стінах. Є приклади розташування нагрівальних кабелів у стелі. Але найбільш фізіологічно і технологічно зручним поки що залишається розміщення грюючих елементів у підлозі.

Існує декілька будівельно-монтажних схем укладання кабелю у підлогу. Найбільш розповсюджені схеми укладання нагрівального кабелю були вже розглянуті. Вони пройшли певну еволюцію. Спочатку домінувала тришарова схема укладання кабелю, при якій цементна стяжка виконувала функції утримання кабелю та його оребрення для вирівнювання температурного поля по зовнішній поверхні грюючого шару. Зверху та знизу розміщувалися лицьова та теплоізоляційна панелі. З винаходом акумуляційного обігріву було запропоновано зосередити функції акумулювання у спеціальному шарі з важкого бетону [3, 60, 63, 65, 124, 161].

Згодом було запропоновано модифікацію акумуляційного шару, для зменшення товщини якого у якості наповнювача використовувалися не кам'яний щебінь, а більш щільніші (до 20–25 разів) та теплопровідніші (коефіцієнт теплосасвоєння $S = 0,27\sqrt{\rho\lambda c}$ збільшується приблизно до 8 разів) металеві ошурки. Унаслідок того, що бетон стає електропровідним, можна було позбавитися необхідності використання дорогого нагрівального кабелю. При цьому передбачалося зменшити товщину цементної композиції (бетону) до 10 мм [162].

Але надання бетону електропровідності, на наш погляд, погіршує надійність та ефективність акумуляційної електричної системи опалення, оскільки виготовлення бетону зі стабільними електропровідними властивостями досі залишається невирішеною технічною задачею. Крім того, використання металевих ошурків додатково погіршує стабільність електропровідності (і відповідно виділення теплоти при проходженні електричного струму), оскільки вона в такому випадку стає функцією багатьох нерегульованих факторів, зокрема, виду металу (наприклад, нержавіюча сталь у десятки разів більш резистивна, ніж чорна сталь, а її теплопровідність у декілька разів менша, ніж у звичайної сталі); фракційного складу ошурків; фізико-хімічного стану металу ошурків, наприклад, корозія ошурків із чорної сталі неминуче змінює електропровідність композиції; питомої частки металевих ошурків у складі цементної композиції; тиску, механічних напружень, які реалізується у цій композиції (саме на залежності електричного опору від тиску електропровідних компонентів будується робота таких приладів як когегер, вугільний мікрофон і т.п.).

Загальною рисою відомих розповсюджених будівельно-монтажних схем укладання кабелю є необхідність утворення зовнішнього декоративного шару, оскільки «голий це-

мент» не є гарним оздоблювальним та санітарно-гігієнічним матеріалом. Крім того, для підлоги у приміщеннях, де перебувають люди, потрібні більш зносостійкі поверхні, ніж бетонні. Узагальнений перелік недоліків відомих схем укладання включає:

- низькі робочі, службові характеристики (оздоблювальні, санітарно-гігієнічні властивості) зовнішньої поверхні;
- низьку механічну надійність підлоги внаслідок високої вірогідності пошкодження оболонки нагрівального кабелю і самого кабелю гострими гранями гравію, що є звичайною домішкою бетону, з якого виготовляють акумулюючу панель;
- невизначеність товщини теплоізоляційної панелі; ця товщина зараз обирається методом спроб та помилок, і тому може бути як надмірною (що призводить до надлишкової матеріалоемності підлоги), так і недостатньою (що призводить до підвищених втрат теплоти у навколишнє середовище);
- висока трудомісткість і великі витрати часу їх на монтажі, що зумовлюється тим, що шари підлоги конструктивно виготовляються з різних матеріалів та влаштовуються за допомогою складного і дорогого технологічного процесу, до виконання якого залучаються, крім бетонувальників, ще майстри-фахівці ряду інших різних будівельних спеціальностей – теслярів, плиточників, альфрейщиків, навіть бляхарів.

З метою усунення цих недоліків було запропоновано нову будівельну конструкцію електронагрівальної підлоги і нову монтажну схему укладання нагрівального кабелю [163]. На рис. 6.1. показано переріз підлоги. Електронагрівальна підлога складається з лицьового шару 1 у цементній композиції з домішкою зі спученого вермикуліту; акумулюючого шару 2 у цементній композиції з домішкою руди; нагрівального кабелю 3, укладеного в нагрівальному шарі у цементній композиції 4 з домішкою гравію дрібної фракції; теплоізоляційного шару 5 у цементній композиції з домішкою спученого вермикуліту.

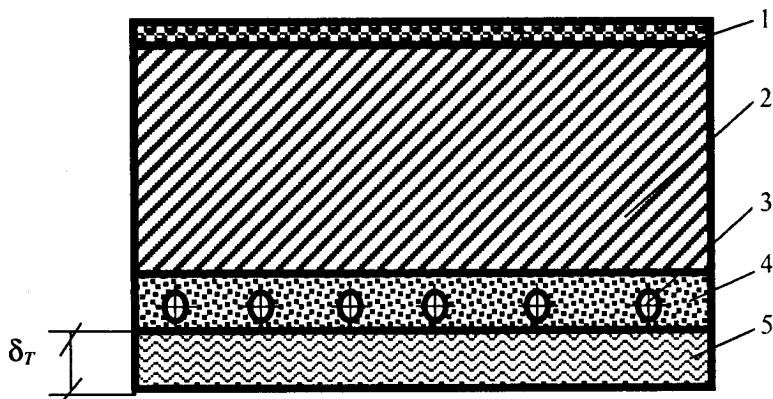


Рис. 6.1. Переріз конструкції електронагрівальної підлоги за [163].

У новій будівельно-монтажній схемі укладання нагрівального кабелю, на відміну від відомих раніше комбінованих конструктивних схем з лицьовою, акумулюючою та теплоізоляційною панелями з нагрівальним кабелем, міститься нагрівальна панель, у яку армують нагрівальний кабель, а усі шари-панелі – лицьова, акумулююча, нагрів-

вальна і теплоізоляційна – виготовляються з суцільної цементної композиції з різними домішками. Для кожного шару розроблена своя рецептура.

Введення у електронагрівальну підлогу нагрівальної панелі, яка армована нагрівальним кабелем, з'єднаним з електромережею, дозволяє забезпечити механічну цілісність кабелю, оскільки нагрівальна панель виготовляється із суміші, яка не містить компоненти, що можуть механічно пошкодити нагрівальний кабель. Також окремий нагрівальний шар, дозволяє не тільки забезпечити механічну цілісність кабелю при влаштуванні електропідлоги, але і одночасно збільшити її акумуляційну здатність.

Введення у електронагрівальну підлогу акумулюючої, нагрівальної та теплоізоляційної панелей у вигляді шарів суцільної наливної цементної композиції із домішками дозволяє знизити трудомісткість і витрати часу на їх монтаж, так як усі три шари конструкції виготовляються на базі одного й того ж цементного розчину шляхом додавання до нього у кожному шарі індивідуального компоненту. При цьому після затвердіння цементної композиції утворюється суцільна конструкція.

Електронагрівальну підлогу створюють знизу вгору таким чином. Спочатку укладають теплоізоляційний шар 5, який виготовлено з цементного розчину у воді з домішкою спученого вермикуліту у кількості 50-80 об'ємних відсотків. Коли спученого вермикуліту взяти менше 50 %, то такий матеріал (вермикулітобетон) буде характеризуватися низькими теплоізоляційними властивостями. А коли спученого вермикуліту взяти більше 80 %, то такий матеріал буде характеризуватися низькою механічною міцністю. Товщину теплоізоляційного шару визначають за формулою:

$$\delta_T = (k_q / (1 - k_q)) \cdot R \cdot \lambda_T, \quad (6.1)$$

де δ_T – товщина теплоізоляційного шару, м;

k_q – коефіцієнт розподілу потужності нагрівального кабелю, що показує, яку частку теплового потоку слід віддавати у напрямку вверх від нагрівального кабелю, звичайно, $k_q = 0,7 \dots 0,95$ (уточнюється з конструктивних міркувань, наприклад, при будівництві житла з опалюваним підвалом $k_q = 0,7$; для неопалюваних підвалів $k_q = 0,95$);

R – термічний опір тієї частини електронагрівальної підлоги, яка розташована над нагрівальним кабелем, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

λ_T – коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплоізоляційного шару, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Потім укладають нагрівальний шар 4. Для надання шару підвищених властивостей теплоакумуляції, щебінь готується з важкого каменю, наприклад, олівіну, олівінового діабазу (або перидоніту), гнейсу або базальту чи інших видів важкого каменю фракції 0,5-1 мм у кількості 30-50 об'ємних відсотків. Ці види каміння характеризуються високим значенням коефіцієнта теплосвоєння, який значно перевищує коефіцієнт теплосвоєння звичайного бетону (табл. 6.1).

Вміст щебеню більше 50 % погіршить механічні властивості бетону, менше 30 % – навпаки, не забезпечить бажаного значення теплосвоєння.

Фракційний склад щебеню вже при значеннях 0,5–1 мм забезпечує цілісність нагрівального кабелю при закладанні його до даного цементного розчину. Тому подальше подрібнення щебеню вже не буде доцільним.

Після того, як буде сформовано нагрівальний шар 4, зверху на нього укладають акумуляційний шар 2. Для його створення беруть суміш із матеріалу, який характеризується високим показником масової щільності, коефіцієнта теплопровідності, теплоємності, питомої щільності та одночасно є недорогим, екологічним і доступним матеріалом. Таким матеріалом, наприклад, є руда мідний колчедан, який характеризується масовою густиною $4000 \text{ кг}/\text{м}^3$, коефіцієнтом теплопровідності $7,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, теплоємності $0,8 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

**Порівняння теплофізичних властивостей і коефіцієнта
теплозасвоєння різних матеріалів для виготовлення електронагрівальної підлоги**

Матеріал	Масова густина	Коефіцієнти		
		теплопро- відності	теплосмності	теплозасвоєння
	ρ	λ	C	$S = 0,27\sqrt{\rho\lambda c}$
	кг/м ³	Вт/(м•К)	кДж/(м ³ •К)	Вт/(м ² •К)
1. Вермикулітобетон	300	0,080	0,840	1,21
2. Вермикулітобетон	400	0,090	0,840	1,48
3. Вермикулітобетон	600	0,140	0,840	2,27
4. Вермикулітобетон	800	0,210	0,840	3,20
5. Паркет дубовий	700	0,174	2,512	4,72
6. Керамзитобетон	900	0,320	1,240	5,10
7. Керамічна плитка	1800	0,814	0,994	10,29
8. Бетон	2400	1,200	0,840	13,26
9. Гнейс, базальт	2800	3,490	0,880	25,01
10. Олівіновий діабаз	3000	4,200	0,920	29,03
11. Олівін	3500	5,1	0,92	34,56
12. Мідний колчедан	4000	7,2	0,780	40,42

Над акумуляційним шаром 2 розташовують лицьовий шар 1 із цементної композиції з домішкою, яку виготовлено зі спученого вермикуліту в кількості 30-50 об'ємних відсотків. При вмісту вермикуліту менш 30 % (масова густина такого вермикулітобетону більше 500 кг/м³) лицьовий шар втрачає високі (типу авантюринового блиску) декоративні властивості. При вмісті більше 50 % (масова густина такого вермикулітобетону менша 400 кг/м³) лицьовий шар втрачає властивість міцності, у тому числі зносостійкість.

При утворенні усіх вказаних цементних композицій замість води використовують водний розчин хлористого магнію MgCl₂ масовою густиною 1200–1300 кг/м³. Використання замість води водного розчину хлористого магнію MgCl₂ забезпечить, по-перше, збільшення теплоакумуляційної властивості, по-друге, можливість проведення бетонувальних робіт при низьких температурах навколишнього середовища, оскільки вказаній масовій густоті відповідає незамерзання хлористого магнію MgCl₂ в інтервалі температур до -15⁰С (що суттєво розширює робочий інтервал температур, при яких можливо виконувати роботи з бетонування підлоги у зимовий період). При цьому розчин хлористого магнію MgCl₂ готують з екологічно чистого і дешевого продукту у вигляді природних відкладень мінералу бішофіту. Україна має великі запаси бішофіту.

Для виготовлення перерахованих композицій застосовується простий і дешевий технологічний процес, до виконання якого залучаються робітники середньої кваліфікації тільки однієї спеціальності – бетонувальники. При використанні запропонованого технічного рішення зникає необхідність у додатковому нагрівачі для підтримання комфортних температур упродовж добового циклу опалення, *тобто створюється конструкція унітарної, а не комбінованої, електронагрівальної підлоги*, яка, як свідчать відповідні розрахунки і практичний досвід, здатна упродовж доби за рахунок накопиченої в акумуляційному та нагрівальному шарах теплової енергії в інтервалі «зарядки», забезпечити нормативний мікроклімат у приміщенні, що опалюється.

Таким чином, за рахунок вибору раціональної величини товщини теплоізоляційної панелі; підвищення робочих характеристик зовнішньої поверхні; підвищення механічної надійності підлоги; зниження трудомісткості монтажу підлоги при спрощенні будівельно-монтажної схеми укладання нагрівального кабелю, одночасно досягається зменшення амплітуди коливань температури повітря у приміщенні при переривчастому опаленні або при перервах енергопостачання; зменшення втрат теплової енергії у напрямку «вниз» від нагрівального кабелю. *Усе це підвищує ефективність роботи, матеріало- та енергоощадність процесу монтажу та експлуатації електронагрівальної підлоги.*

Для створення лицьової, акумуляуючої, нагрівальної і теплоізоляційної панелей можна використати комбінації інших, у тому числі традиційних, матеріалів із відповідними теплофізичними, фізико-механічними та санітарно-гігієнічними властивостями.

Реалізація запропонованої будівельно-монтажної схеми підлоги дозволить підвищити потенціал енергозбереження при впроваджені ЕТА-обігріву.

6.2. Монтаж елементів ЕКСО

Узагальнюючи існуючу нормативну документацію (табл. 6.2) та багаторічний досвід експлуатації ЕКСО, встановлено загальні й спеціальні правила та вимоги щодо монтажу ЕКСО.

Таблиця 6.2

Нормативна документація щодо монтажу та експлуатації ЕКСО

ГОСТ 30331.3-95	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
ДНАОП 0.00-1.21	Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
ДНАОП 0.00-1.32-01	Правила будови електроустановок. Электрообладнання специальных установок.
НАПБ А.01.001	Правила пожежної безпеки в Україні.
НАПБ Б.07.005 (ОНТП 24-86)	Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
ДБН А.2.2-3	Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва.
ДБН В.2.5-23-2003	Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
ДБН В.2.5-24-2003	Електрична кабельна система опалення.
СНиП 2.04.05-91	Отопление, вентиляция, кондиционирование.
ПУЭ	Правила устройства электроустановок (6-ое издание, 1986 г.).
ДБН В.2.6-31-2006	Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.

Загальні положення. Стационарні електричні кабельні системи опалення (обігріву) з теплоакумулюючим ефектом повинні відповідати всім вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Электрообладнання специальных установок (ПБУ)», ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення».

ЕКСО повинні виготовлятися відповідно до вимог ДБН, ПБУ та за робочим проектом, створеними спеціалізованою (сертифікованою) організацією та кресленнями, затвердженими в установленому порядку. При цьому:

- серед видів стаціонарного електричного опалення за погодженням із замовником та електропостачальною організацією рекомендується надавати перевагу

теплоаккумуляційним системам електричного опалення з режимом роботи в години мінімальних навантажень енергосистеми;

- застосовувати електричні опалювальні прилади у приміщеннях категорій А і Б за вибухопожежною небезпекою за НАПБ Б.07.005 (ОНТП 24-86) «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» не дозволяється;
- забороняється застосування нагрівальних приладів із безпосереднім перетворенням електричної енергії у теплову в пожежонебезпечних зонах приміщень складів у будівлях архівів, музеїв, картинних галерей, бібліотек (крім спеціально призначених та обладнаних для цього приміщень), а також у будівлях (приміщеннях) іншого призначення, в яких можливість використання таких приладів обмежується НАПБ А.01.001 «Правила пожежної безпеки в Україні» чи іншими нормативними документами;
- нагрівальні прилади, що призначені для стаціонарних систем електричного опалення з безпосереднім перетворенням електричної енергії в теплову, повинні бути установлені на поверхні з негорючого матеріалу, а відстань від них до горючих матеріалів і будівельних конструкцій, за винятком матеріалів груп горючості Г1 і Г2, має становити не менше ніж 0,25 м, якщо більшу відстань не встановлено будівельними нормами або іншими нормативними документами;
- укладання нагрівальних кабелів в огорожувальні будівельні конструкції рекомендується виконувати рівномірно у вигляді «змійки» з дотриманням паралельності лінії укладання;
- за всією довжиною нагрівальний кабель слід прокладати в середовищі, однорідному за своїми теплопровідними властивостями;
- забороняється прокладати нагрівальні кабелі через температурні шви;
- забороняється під час прокладання кабельних нагрівальних секцій змінювати (скорочувати) довжину нагрівального кабелю;
- відстань між сусідніми трасами нагрівального кабелю в підлозі, стелі або стіні не повинна бути меншою за 25 мм між центрами;
- зовнішній датчик температури погодостата встановлюється на мінімальній висоті 2,5 м від рівня землі на зовнішній стіні північної або південної сторони будівлі;
- датчик температури підлоги терморегуляторів закладається посередині між лініями кабелю у відкритій частині петлі на одному рівні з кабелями; розташовується в пластмасовій трубі, що заглушається на кінці для запобігання трапляння всередину розчину при бетонуванні підлоги; чутливий кінець датчика повинен зафіксуватися в обігрівачій зоні на відстані 1 – 2 м від стіни;
- датчик температури підлоги терморегулятора призначений для обмеження температури поверхні підлоги, повинен розміщуватися якомога ближче до лицевого покриття підлоги;
- датчики, які використовуються для регулювання температури повітря, повинні мати можливість зміни установки і повинні розташовуватися на негорючій або високогорючій основі на висоті не менше ніж 1,8 м від підлоги; допускається встановлення їх на горючій основі з підкладкою з негорючих матеріалів, завтовшки не менше ніж 3 мм;
- температура зовнішньої поверхні електроопалювальних приладів у найбільше нагрітому місці в нормальному режимі не повинна перевищувати 85 °С.

Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації на ЕКСО повинні відповідати вимогам ДБН А.2.2-3 «Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва». При проектуванні і монтажі ЕКСО потрібно керуватися вимогами та нормами нормативних документів, чинних в Україні.

Основні параметри, вибір та характеристики ЕКСО. Параметрами ЕКСО, які підлягають вибору на стадії проектування, є:

- розрахункові тепловтрати приміщення;
- розрахункова теплова потужність нагрівальних секцій і системи в цілому;
- розрахункова електрична потужність системи;
- розрахунковий крок укладання нагрівального кабелю.

Вибір параметрів ЕКСО, їх детальні теплотехнічні та електричні розрахунки слід виконувати згідно з ДБН В.2.5-24-2003 [76].

Вимоги до живлення. Живлення ЕКСО слід проводити від мережі загального призначення напругою 380/220 В із системою заземлення TN-S або TN-C-S, розрахованою на навантаження від ЕКСО як від струмоприймачів з постійно діючою номінальною потужністю.

У групових мережах ЕКСО струм фази не повинен перевищувати 30 А незалежно від кількості відгалужень. Не слід використовувати у колі електроживлення нагрівальної секції роз'ємні контакти, у тому числі штепсельні розетки. У розподільних мережах ЕКСО слід застосовувати три- і п'ятипровідні лінії.

У житлових будинках живлення систем електричного опалення й електричного підігріву води повинно здійснюватися незалежними одна від одної та інших електроприймачів лініями, починаючи від квартирних щитків або вводів у будинок. У громадських будинках та спорудах, адміністративних і побутових будинках підприємств живлення систем електричного опалення та підігріву води має бути незалежним одне від одного та від інших електроприймачів, починаючи від ввідно-розподільного пристрою (ВРП).

Металеву оболонку (екран) нагрівальних кабелів потрібно приєднувати до захисного РЕ-провідника розподільної мережі ЕКСО з обох кінців за допомогою затискачів чи болта. Розподільна мережа, апаратура керування і захисту ЕКСО повинні мати тривало допустимий струм, не менший за 125 % номінального струму навантаження. Для електроживлення нагрівальних секцій рекомендується використовувати шафи живлення з комутаційною апаратурою, пристроями захисту та апаратами автоматичного керування, призначеними тільки для ЕКСО. Живлення електроенергією приладів-догрівачів здійснюється, як правило, довільно.

Вимоги до опору та електричної ізоляції нагрівальних жил. Перед покриттям нагрівального кабелю будівельними матеріалами та конструкціями слід шляхом вимірювань перевірити цілісність металевої оболонки чи екрана, а також визначити величину опору нагрівальних жил кабелю та його ізоляції.

Величина опору нагрівальних жил кабелю не повинна відрізнятись більше ніж на 5% у бік зменшення і на 10 % у бік збільшення. Опір ізоляції нагрівального кабелю потрібно вимірювати мегомметром напругою 2 500 В, а його значення повинно бути не меншим за 0,5 МОм.

Вимоги щодо обігріву. Властивості і конструктивні параметри ЕКСО ТА обираються, аби забезпечити безперервну цілодобову нормативну віддачу теплоти при споживанні електричної енергії в інтервалі нічного мінімуму добового циклу навантажен-

ня електричної мережі. Установлена потужність ЕКСО, що використовується як додаткова система опалення, вибирається, як правило, не меншою за 25 % і не більшою за 50 % від розрахункових тепловитрат приміщення. Температура на поверхні гріючої панелі не повинна перевищувати значень, встановлених ДБН В.2.5–24–2003.

Вимоги до захисту, автоматики, керування. Для захисту від прямого контакту використовується ізоляція струмопровідних частин. Застосовувати бар'єри від прямого контакту не дозволяється. В ЕКСО для захисту від непрямого контакту слід застосовувати ПЗВ з номінальним диференціальним струмом спрацьовування, не більшим за 30 мА.

ЕКСО слід виконувати з автоматичним регулюванням і застосовувати вмонтовані терморегуляторами для підтримки заданого температурного режиму та світлову індикацію увімкненого стану. Пристрої керування необхідно передбачати для кожної ділянки мережі, для якої може знадобитися керування, незалежне від інших частин установки.

Вимоги до комплектності. Для ЕКСО варто використовувати кабельні нагрівальні секції, виготовлені підприємством-виробником. До складу ЕКСО, як правило, повинні входити електричні прилади-догрівачі з малою теплоємністю.

Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища. В ЕКСО, як правило, потрібно застосовувати екрановані нагрівальні кабелі. При укладанні кабельних нагрівальних секцій у бетон чи цементно-піщаний розчин можливо застосовувати як екранований, так і неекранований нагрівальні кабелі з потужністю тепловипромінювання, відповідно, не більше 30 Вт/м та 20 Вт/м. При прокладанні нагрівальних кабельних секцій поміж дерев'яними будівельними конструкціями потрібно застосовувати секції з одножилним екранованим нагрівальним кабелем з потужністю тепловипромінювання, не більше 10 Вт/м.

Нагрівальний кабель не повинен створювати небезпеку займання навколишнього середовища. В умовах нормальної експлуатації нагрівальний кабель не повинен нагрівати предмети, виготовлення з горючих матеріалів, до температури вище + 80 °С.

6.3. Приймально-здавальні випробування ЕКСО

Загальні положення. Змонтована ЕКСО до введення в експлуатацію повинна підлягати приймально-здавальним випробуванням відповідно до вимог ДБН В. 2.5-24-2003, ДНАОП 0.00–1.21-98, ДНАОП 0.00–1.32-01 (глава 9), ПУЕ (глава 1.8).

Приймально-здавальні випробування ЕКСО охоплюють:

- огляд змонтованої системи;
- випробування.

Приймально-здавальні випробування повинні здійснюватися випробувальними електротехнічними лабораторіями, акредитованими відповідними державними органами.

При проведенні таких випробувань ЕКСО, змонтованих у процесі реконструкції об'єкта (приміщення, споруди), необхідно впевнитися, що застосування ЕКСО відповідає вимогам нормативних документів і не знижує електро- і пожежобезпеку існуючих електроустановок та електроустаткування.

Висновок про придатність ЕКСО до експлуатації робиться на підставі розгляду результатів усіх випробувань, що проводяться ЕКСО.

Огляд ЕКСО. Огляд ЕКСО проводиться перед випробуванням при відключеній системі та передбачає такі перевірки:

- вибрана правильно, її змонтовано відповідно до вимог комплексу стандартів ГОСТ 30331.3 «Електроустановки будівель». (Частина 4. Вимоги по забезпеченню безпеки. Захист від ураження електричним струмом);

- відповідає вимогам ТБ, діючим стандартам, проектній і технічній документації на комплектуючі та ЕКСО в цілому;
- не має очевидних ушкоджень, що знижують її безпеку і працездатність;
- заходи захисту від ураження електричним струмом;
- вибір живильних провідників за тривало допустимим струмом і втратою напруги;
- вибір пристроїв захисту та сигналізації і уставок їх спрацьовування;
- вибір і відповідність з'єднувальних та нагрівальних кабелів;
- наявність і правильність розташування терморегуляторів та комутаційних апаратів;
- правильність з'єднання провідників;
- наявність попереджувальних написів та схем;
- маркування ланцюгів.

При неможливості огляду деяких елементів ЕКСО висновок робиться на підставі результатів перевірки наявності та правильності оформлення актів прихованих робіт.

Випробування ЕКСО. На всіх заново змонтованих ЕКСО та всіх ЕКСО, що реконструюються, повинні бути здійснені такі перевірки, вимірювання і випробування, переважно у наведеній послідовності:

- перевірка безперервності захисних провідників (перевірка цілісності ланцюгів заземлення);
- вимірювання опору ізоляції ЕКСО;
- перевірка захисту, що забезпечує автоматичне відключення джерел живлення;
- випробування електричної міцності ізоляції;
- вимірювання омичного опору нагрівального кабелю;
- вимірювання опору заземлювача;
- перевірка працездатності ЕКСО.

Якщо при проведенні прийнятно-здавальних випробувань виявлено невідповідності до вимог і норм діючих нормативних документів, то випробування необхідно продовжити після усунення зауважень.

При перевірці безперервності захисних провідників (перевірка цілісності ланцюгів заземлення) рекомендується використовувати джерела живлення, що мають напругу «холостого» ходу до 24 В постійного або змінного струму при випробувальному струмі, не менш за 0,2 А. Допускається при перевірці застосовувати електровимірювальні прилади, призначені для вимірювання опору заземлюючої проводки. Не повинно бути обривів і незадовільних контактів у проводці, що з'єднує металеві оболонки кабелів та всі відкриті, сторонні провідні частини з нульовим захисним провідником РЕ групового щитка, від якого здійснюється живлення ЕКСО. Хоча опір контакту не нормується, але він не повинен перевищувати 0,05 Ом.

Вимірювання опору ізоляції. Всі вимірювання повинні проводитися відповідно до вимог і норм атестованих методик вимірювання.

Вимірювання проводяться мегаомметром напругою 1 000 В.

Опір ізоляції нагрівальних кабелів вимірюється між кожною нагрівальною жилою і металевою сіткою, з'єднаною із заземлюючим пристроєм живильної електроустановки, а для саморегулювальних кабелів – між з'єднаними струмоведучими жилами та металевою оболонкою. Для запобігання виходу з ладу терморегуляторів при вимірюваннях їх необхідно від'єднати від ланцюгів, у яких проводиться вимірювання.

Для нагрівальних кабелів опір ізоляції повинен бути не менше 1 МОм, а для інших елементів ЕКСО – не менше 0,5 МОм.

Перевірка захисту, що забезпечує автоматичне відключення джерел живлення.

Перевірку ефективності заходів захисту від непрямого контакту за допомогою автоматичного відключення джерела живлення потрібно здійснювати шляхом проведення таких випробувань:

1. Вимірювання опору петлі фаза – нуль.

Проводиться в доступній для вимірювання точці підключення нагрівального кабелю до інших елементів ЕКСО (виводи терморегулятора, контактора, магнітного пускача). При підключенні нагрівального кабелю до виводів терморегулятора вимірювання потрібно робити на мережних виводах терморегулятора з метою запобігання виходу з ладу.

Значення вимірюваного повного опору петлі повинно відповідати вимогам 1.7.79 ПУЕ. Розрахунки опору петлі фаза-нуль або опору захисних провідників і ЕКСО дозволяють перевірити довжину і поперечний перетин провідників (обігрів покрівель, водостоків і т.п.), що дозволяє вище зазначене вимірювання не проводити. У цьому випадку достатньою є перевірка безперервності захисних провідників.

2. Перевірка характеристик захисних пристроїв:

- струм уставки автоматичних вимикачів і струм плавких вставок запобіжників;
- характеристики спрацьовування ПЗВ.

Методи випробувань ПЗВ повинні відповідати ГОСТ 30331.16-99.

Параметри спрацьовування захисних пристроїв мають відповідати паспортним даним для відповідних видів устаткування, а також проекту ЕКСО.

Випробування електричної ізоляції. Проводиться шляхом вимірювання однохвилинного значення опору ізоляції мегаомметром на 2500 В. Якщо при цьому опір менший від наведеного ПУЕ, то необхідно провести випробування напругою 1000 В промислової частоти у відповідності до 1.8.34 ПУЕ.

Перевірка омичного опору нагрівального кабелю.

Вимірювання для всіх типів нагрівальних кабелів проводиться при температурі нагрівальної жили 20 °С (холодний стан).

Якщо умови навколишнього середовища відрізняються, то отримані значення опору жил нагрівального кабелю необхідно довести до $t = 20^\circ\text{C}$ за формулою

$$R_{20} = R_t \frac{254,5}{(234,5 + t)}, \quad (6,2)$$

де R_{20} – опір нагрівального кабелю, приведений до $t = 20^\circ\text{C}$, Ом;

R_t – опір укладеного нагрівального кабелю, Ом;

t – температура навколишнього середовища при проведенні вимірювання, °С;

L – довжина укладеного нагрівального кабелю, м.

Значення омичного опору, отримані за результатами вимірювань, можуть відрізнятися від номінального, зазначеного в паспортних даних кабелю, в межах від -5% до +10%.

Вимірювання опору заземлювача

Проводиться тільки в тих ЕКСО, для яких передбачено пристрій окремого заземлювача незалежного від пристрою заземлювача в живильній мережі.

Величина опору розтікання струму заземлювача повинна відповідати проекту.

Перевірка працездатності ЕКСО проводиться у відповідності із вказівками підприємств-виробників нагрівального кабелю відповідно до виду системи обігріву і має включати проведення теплових випробувань.

Теплові випробування проводяться для цілком змонтованої системи ЕКСО, підключеної до джерела живлення:

а) при обігріві підлоги – при розрахунковій температурі повітря приміщення протягом не менше ніж чотири години для підлоги з акумуляцією тепла, та не менше ніж одна година – для «теплої підлоги»;

б) при обігріві зовнішніх територій – при розрахунковій температурі навколишнього середовища; час випробувань залежить від виду території, яка обігривається, та конструктивної схеми системи обігріву, але не повинен складати менше ніж чотири години;

в) при обігріві трубопроводів – при розрахунковій температурі навколишнього середовища; час випробувань залежить від діаметра трубопроводів і виду рідкого продукту, але не повинен складати менше ніж три години.

Для скорочення термінів здачі ЕКСО в експлуатування за узгодженням із замовником теплові випробування можна проводити при температурі навколишнього середовища, відмінній від розрахункової.

Результати теплових випробувань вважаються задовільними, якщо в їх процесі не відбувалося несанкціонованих спрацьовувань комутаційної та захисної апаратури, не спостерігалися місцеві перегріви об'єкта, який обігривається, і якщо опір ізоляції нагрівального кабелю, виміряний мегаомметром відразу після відключення від мережі (в гарячому стані), буде не менше 0,5 МОм.

Вимоги до протоколу приймально-здавальних випробувань ЕКСО. Протокол пусконаладжувальних випробувань повинен містити достовірні, об'єктивні та точні результати випробувань, дані про умови випробувань і похибки вимірювань, висновок про відповідність випробуваної ЕКСО вимогам нормативних документів і проекту, показувати точно, чітко і конкретно результати випробувань та іншу інформацію щодо них.

Протокол пусконаладжувальних випробувань повинен містити такі відомості:

- найменування, адресу випробувальної лабораторії, що провела пусконаладжувальні випробування;
- реєстраційний номер, дату видачі та термін дії атестата акредитації, найменування органу акредитації, який видав свідоцтво про реєстрацію;
- номер і дату реєстрації протокола випробувань;
- найменування організації або прізвище, ім'я, по батькові замовника і його адресу;
- дату отримання заявки на випробування;
- найменування та адресу монтажної організації;
- відомості про проектну документацію;
- відомості про акти на приховані роботи;
- дати проведення пусконаладжувальних випробувань;
- місце проведення випробування;
- кліматичні умови проведення випробувань (температура, вологість, тиск);
- програму та мету випробувань (приймально-здавальних);
- нормативний документ, відповідно до якого проведено приймально-здавальні випробування;
- перелік застосованого випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки, з обов'язковим зазначенням їх характеристик;
- значення показників відповідно до вимог нормативних документів;
- фактичні значення показників випробуваної ЕКСО, із зазначенням похибок вимірювань;

- висновок щодо відповідності нормативному документу за кожним показником;
- висновок щодо відповідності випробуваної ЕКСО вимогам нормативних документів;
- підписи посадових осіб, що проводили випробування, включаючи начальника лабораторії.

У протоколі обов'язково має бути засвідчено, що він розповсюджується тільки на ЕКСО.

У протоколі заборонено вмішувати вказівки щодо усунення недоліків, виявлених у процесі проведення приймально-здавальних випробувань.

Копії протоколів підлягають збереженню випробувальною лабораторією (термін збереження – не менший, аніж шість років).

Заходи безпеки при проведенні випробувань. При розробленні та монтажі електробезпека ЕКСО повинна відповідати вимогам розділу 11 ДБН В.2.5-24-2003, а пожежна безпека – вимогам НАПБ А.01.001-95 і розділу 13 ДБН В.2.5-24-2003.

Роботи, пов'язані з поданням напруги, повинні проводитися відповідно до 3.2.7 ПБЕЕС не менше ніж двома особами, з яких керівник робіт повинен мати групу з електробезпеки не нижче III, а інші – не нижче II.

Керівник групи випробувань, він же той «що роздає завдання», повинен згідно з 3.2.4 ПБЕЕС мати IV групу з електробезпеки.

При виконанні робіт на підставі договору в сторонній організації (у замовника), працівники згідно з 6.10.1 ПБЕЕС відносяться до відрядженого персоналу, і їх робота повинна бути організована відповідно до розділу 6.10 ПБЕЕС «Робота відряджених працівників».

Перед початком робіт керівник зобов'язаний:

- перевірити виконання замовником організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпечне проведення пусконаладжувальних робіт;
- прийняти робоче місце від представника замовника (допускателя), оформивши це підписом у наряді чи оперативному журналі із зазначенням часу початку робіт;
- проінструктувати бригаду щодо безпечного проведення робіт, використання інструменту, приладів і пристосувань.

Робоче місце повинне мати достатній рівень освітлення та надійне огороження у всіх місцях, де може з'явитися напруга. При проведенні робіт необхідно вивісити попереджувальні плакати безпеки. Рекомендується мати чотири види плакатів: «Стій! Напруга», «Не вмикати! Працюють люди», «Випробування. Небезпечно для життя!», «Працювати тут».

До початку робіт виконавець зобов'язаний ознайомитися сам та ознайомити членів бригади з правилами внутрішнього розпорядку на об'єкті і організувати загальний інструктаж з боку замовника із записом в журналі інструктажу, перевірити наявність і термін дії посвідчень у кожного випробувача і при видачі завдання враховувати кваліфікацію працівника.

До початку випробувань виконавець зобов'язаний провести інструктаж з ТБ на робочому місці усього персоналу, який працює під його керівництвом, перевірити стан захисних засобів, які будуть застосовуватися в процесі роботи, виконати необхідні заходи з ТБ на робочих місцях. У процесі роботи здійснювати триступеневий контроль дотримання правил ТБ.

Необхідно звернути особливу увагу членів бригади на таке:

- забороняється для складання схем застосовувати столи з металевою робочою поверхнею або з металевим обрамленням, а також використовувати металеві підставки та драбини;
- кожен член бригади повинен знати схему тимчасового і постійного електропостачання дільниці робіт;
- приєднання схем переносних випробувальних стендів до стаціонарної електричної мережі (до шин РП, щитів і щитків) здійснювати з використанням комутаційного і захисного апарата з допомогою гнучкого кабелю довжиною не більше 10 – 15 м;
- керування подачею напруги на випробувальну схему має здійснюватися автоматом, змонтованим на випробувальному столі;
- під час перерви та при закінченні робіт лінія тимчасового живлення повинна бути відключена.
- металеві корпуси переносних приладів, апаратів повинні бути заземлені;
- виводи силових і вимірювальних трансформаторів на весь час роботи, за винятком часу вимірювання и випробувань, мають бути закорочені та надійно заземлені;
- запобіжники в ланцюгах трансформаторів напруги і силових трансформаторів на час вимірювальних робіт повинні бути зняті і зберігатися у працівників, що проводять випробування, до включення установки під робочу напругу;
- відповідальність за дотримання правил ТБ.

Усі вимірювання і випробування відповідно до нормативних документів, проведені монтажним і налагоджувальним персоналом безпосередньо перед вводом ЕКСО в експлуатацію, мають оформлятися згідно з відповідними актами та протоколами.

Наступними найважливішими питаннями, що виникають після встановлення ЕКСО та початку його технічної експлуатації, є питання безпеки ЕКСО при його довготривалому використанні, у тому числі відповідності санітарно-гігієнічним та екологічним нормам. Нараховується чотири основних джерела небезпеки ЕКСО, і відповідно чотири види забезпечення його безпеки:

- фізіологія і комфорт у цілому панельно-променевого випромінювання (§5.1);
- електробезпека (§5.2);
- електромагнітна безпека (§5.3);
- термічний стан нагрівальних панелей – відповідність вимогам пожежної безпеки (§5.4).

ВИСНОВКИ. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЕТА-ОБІГРІВУ В УКРАЇНІ

У книзі було показано, що головним фактором, який стимулює швидке розширення обсягів упровадження технологій електрообігріву і відповідне витіснення природного газу енергоефективними системами побутового електротеплозабезпечення, є прогресуюче зростання ціни на природний газ в умовах відносно стабільних цін на власне вугілля та ядерне паливо (уран), високої енергоемності ВВП, в умовах одночасного дефіциту як високореакційних ПЕР, так і маневрових потужностей, необхідних для стабілізації добового графіка навантажень ОЕС України. Це створює в Україні умови для сповільненого зростання тарифів на електричну енергію або утримання їх на більш-менш сталому рівні. У свою чергу, така ситуація створює економічні умови для поетапного витіснення природного газу системами побутового електротеплозабезпечення. Декілька різних підходів до оцінки економічної доцільності електроопалення призвели до єдиного результату: *у певних масштабах електроопалення в електротепло-акумуляційному варіанті є перспективним видом опалення для умов України*. У цілому було визначено, що, виходячи з цін на ПЕР до 2006 р. включно, електричну енергію, послуги централізованого теплопостачання, електроопалення було конкурентноздатним у порівнянні з традиційними видами опалення. У зв'язку з підвищенням із 4 січня 2006 р. ціни на експортний природний газ у 2 – 4 рази, привабливість електроопалення за кількісними показниками, що були розглянуті, збільшилася.

Накопичений на сьогодні матеріал дозволяє стверджувати, що в умовах, з одного боку, подальшого зростання цін на високореакційні органічні палива, з іншого боку, пристоу або стабілізації сучасного рівня кількості електроенергії, що виробляється на АЕС, *наша держава перебуває на етапі докорінного перегляду складу традиційних видів обігріву*: до водяного, повітряного та їх комбінацій, як у центральному, так і в автономному варіантах з використанням органічного палива, буде додаватися ще й електрообігрів. Поширена думка про занадто високі експлуатаційні витрати при електроопаленні не знаходить підтвердження при технічно-економічному аналізі з урахуванням системних просторово-часових перетікань електроенергії в ОЕС України. Найявний стан електроопалення відповідає лише застарілим уявленням щодо недоцільності повної, включаючи опалення, електрифікації житлово-комунального сектору України. Технологія, викладена у книзі, об'єднує переваги автономних систем виробництва і споживання теплової енергії і централізованого виробництва електричної енергії як джерела теплової енергії.

Таким чином, крім екстенсивного засобу вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України, поліпшення його конфігурації шляхом нарощування маневрових потужностей, *пропонується ще один, інтенсивний, засіб – шляхом завантаження нічної зони*. Збільшення електроспоживання в нічній зоні здійснюється за рахунок перенесення роботи електротермічного обладнання, що застосовується як для опалення, так і в технологічних процесах, на години «нічного провалу». Здійснити даний захід повномасштабно можна, залучивши економічний механізм заохочення споживачів до розрахунків за спожиту електроенергію за диференційованими тарифами.

Нині в Україні існує досить широке коло споживачів, які розраховуються за спожиту електроенергію за тарифами, диференційованими за періодами часу. Цим споживачам, в основному зосередженим у групі «Промисловість», належить чверть (26,9 %) електроспоживання від загальної кількості. У середньому по Україні питома вага електроспоживання за тарифами, диференційованими за періодами часу, становить 56,8 % від усього електроспоживання промисловості в Україні. Але зараз ця група має нульо-

ву або негативну тенденцію щодо свого збільшення. При цьому відсоток електроспоживання користувачів, що розраховуються за тарифами, диференційованими за періодами часу, від загального електроспоживання коливається від 57 % (Дніпропетровська область, що удвічі вище від середнього по Україні) до 1,5 % (Закарпатська область, що у 18 разів нижче від середнього по Україні). Решта областей характеризується декількома відсотками використання пільгових тарифів (за виключенням індустриальних областей України на її Сході та Півдні). Тобто зараз технічний потенціал упровадження споживачів-регуляторів за рахунок промислової групи користувачів ОЕС України практично вичерпано, а споживачі інших (непромислових) груп майже не залучаються до розрахунків за тарифами, диференційованими за періодами часу. Розширення кількості споживачів із розрахунками за тарифами, диференційованими за періодами часу, необхідно зараз шукати не в групі «Промисловість», а й в інших. Для проведення моніторингу потенційного ринку споживачів регуляторів електричної енергії, які можуть застосовувати систему диференційованих тарифів, доцільно, крім енергопостачальних організацій, залучити інших учасників ринку електричної енергії: широкі кола виробників енергоефективних електрообігрівуючих приладів та зацікавлених споживачів електроенергії, у тому числі населення. При цьому тарифи повинні бути диференційовані не тільки за часом, але і за технологічним процесом, групою споживання, іншими ціноутворюючими факторами, у тому числі за ступенем екологічної чистоти енергії.

Вже зараз стає зрозуміло, що перспективним резервом розширення кола користувачів нічного провалу і зменшення користувачів у час «пік» добового графіка навантажень залишається група побутового навантаження. З 64,9 млрд. кВт•год, відпущеної (нетто) у цілому електричної енергії усім (промисловим, побутовим, у тому числі населенню) споживачам у 2005 р., частка енергії, яка була спожита населенням, склала 26,0 млрд. кВт•год, тобто п'яту (21,2 %) частину. Ця дифузна у просторі група споживачів електроенергії характеризується чисельністю у 18,9 млн. споживачів, із них кількість користувачів серед населення складає 18,5 млн, або 97,8 %. Кількість юридичних та фізичних осіб, суб'єктів підприємницької діяльності поки не перевищує 2,2 %. Водночас індивідуальне енергоспоживання цієї групи є відносно невеликим: питоме споживання населенням склало у 2005 р. $26\,023 \text{ млн. кВт}\cdot\text{год} / 18\,499\,278 \text{ споживачів, або } 1406,7 \text{ кВт}\cdot\text{год} / (\text{споживач}\cdot\text{рік}) = 117,2 \text{ кВт}\cdot\text{год} / (\text{споживач}\cdot\text{місяць}) = 3,9 \text{ кВт}\cdot\text{год} / (\text{споживач}\cdot\text{день})$.

Група побутового навантаження становить новий тип потужного регулятора-споживача. У книзі підсумовуються результати досліджень теплофізичних основ, що відкрили шлях до розробки відповідної вискоєфективної технології електроакумуляційного електроопалення. Масштабному впровадженню енергоощадної технології електроакумуляційного електроопалення також сприятиме:

- розрахунок за спожиту електроенергію для акумуляційного електроопалення за обґрунтованими, диференційованими за періодами часу тарифами та гарантії на встановлення тарифів на електроопалення не менше ніж на 5 років;
- відокремлення обліку акумуляційного електроопалення від обліку споживання електричної енергії іншими споживачами;
- здійснення пілотного проекту будівництва у масштабі дослідного об'єкта (на першому етапі – будинку, на другому – мікрорайону) з упровадженням технології акумуляційного електроопалення, проведенням енергетичного аудиту з метою апробації та визначення параметрів та техніко-економічних показників, передбачених проектом.

Практичної актуальності викладеним у книзі розробкам надали відповідні положення «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», що була схвалена

розпорядженням КМУ від 15.03.2006 № 145-р, а також розпорядження КМУ від 28 вересня 2006 р. № 502-р. «Про переведення населених пунктів на опалення електроенергією». Згідно з останнім розпорядженням Мінпаливенерго доручається разом з обласними енергопостачальними компаніями, Радою міністрів Автономної Республіки Крим, обласними, Київською та Севастопольською міськими держадміністраціями розробити та затвердити план заходів з переобладнання населених пунктів опалювальними електроустановками з урахуванням технічних властивостей електричних мереж, необхідних обсягів і джерел фінансування та визначенням регіонів, які мають найсприятливіші умови для переведення населених пунктів на опалення електроенергією. У 2007 р. в Україні вперше було запроваджено цільову програму щодо підвищення енергоефективності в економіці України з бюджетом 1468,5 млрд. грн. Для забезпечення місцевих заходів з енергозбереження також надаються відповідні субвенції до місцевих бюджетів. Проекти, що сприяють виконанню вказаної фінансової цільової програми, відбираються на конкурсній основі. Таким чином, стає зрозумілим, що існуючий стан електроопалення відповідає лише застарілим уявленням щодо недоцільності повної, включаючи опалення, електрифікації житлово-комунального комплексу України. Запропонована технологія об'єднує переваги автономних систем виробництва і споживання теплової енергії та централізованого виробництва електричної енергії як джерела теплової енергії. Її наступним кроком є практичне впровадження, що вимагає розробки певних рекомендацій.

Таким чином, *Україна за комплексом проведених досліджень, наявністю технічних засобів вітчизняного виробництва (кабелів, регуляторів), технічно-нормативного забезпечення є практично готовою до широкомасштабного впровадження технології кабельного обігріву в її електротеплоакумуляційній модифікації.* Слід очікувати, що через 10 років ступінь розповсюдження електроопалення в Україні досягне рівня, звичайного для європейської країни: тобто десятків процентів від загального обсягу теплоспоживання, замість кількох десятків, як спостерігається сьогодні. При цьому очікується, що одержаний досвід розробки і впровадження електротеплоакумуляційної технології кабельного обігріву, виробництва відповідних комплектуючих і технологічного обладнання досягне експортних перспектив.

Підсумуємо викладені у книзі результати щодо шляхів упровадження електроакумуляційного обігріву. Але спочатку відзначимо той факт, що *в останні місяці, коли завершувалася робота над книгою, практика впровадження в Україні електрообігріву взагалі і ЕТА-обігріву зокрема набрала темп, а розповсюдження електрообігріву почало випереджати сміливі прогнози, які було зроблено півроку тому.* Автори не встигають узагальнити практичний досвід електрообігріву, але сподіваються, що наведені нижче рекомендації, які було зроблено у форматі першочергових заходів і які закінчуються своєрідною дорожньою картою впровадження ЕТА-обігріву у вигляді проекту «Програми електротеплозабезпечення за технологією електротеплоакумуляційного обігріву», все ж таки будуть корисними. Вони, після обговорення і розгляду, дозволять продуктивніше ставити і вирішувати питання впровадження, у тому числі розробляти відповідні регіональні та місцеві соціальні й екологічні підпрограми та проекти впровадження, модернізації і розвитку ЕТА-технологій у комунальній енергетиці та господарстві країни.

У цілому перспектива широкомасштабного і швидкого розповсюдження в Україні енергоощадної технології ЕТА-обігріву є сприятливою. Але вона потребує уваги і зусиль з боку владних, фінансових, дослідних, соціальних, наглядових інституцій. У стилі вигляді пропонується перелік підсумкових рекомендацій та висновків:

1. Пріоритет при впровадженні ЕТА-обігріву слід віддавати максимальному використанню для електрообігріву «надлишків» електроенергії в ОЕС у години «нічних

провалів»; низькоякісної електроенергії з ВДЕ (вітросилових установок, сонячних, фотоелектричних тощо), електрогенераторів на базі двигунів Стірлінга, що використовують умовно безкоштовні види місцевих і сурогатних паливних ресурсів (побутові відходи, деревина, торф, некондиційні родовища вуглеводнів, відновлювані енергоресурси та ін.). Це дозволить підвищити ефективність споживання енергії за рахунок економії витрат на її передачу, здійснити заміщення імпорتنих ПЕР, підвищити енергетичну безпеку країни, регіонів і окремих виробництв, поліпшити екологічний стан країни.

2. За рахунок збільшення споживання електроенергії в години «нічного провалу» буде відбуватися оптимізація режимів виробництва та споживання електричної енергії, підвищення коефіцієнта використання потужностей атомних енергоблоків і поетапно буде замінюватися газовий нагрів системами акумуляційного електронагріву. Ці системи є споживачами-регуляторами ОЕС, управління якими забезпечують оптимальні зонні та диференційовані тарифи на електричну енергію, вони дозволять знизити обсяги споживання природного газу на потреби опалення.

3. Заміна частини систем теплопостачання з газовим нагрівом системами електро-теплоакумуляційного нагріву, які використовують «позапікову» електроенергію, повинна проводитися поетапно. За рахунок поступового ущільнення графіків електричних навантажень (підвищення рівнів нічних та денних мінімумів електроспоживання) за відсутності необхідності у нових електрогенеруючих потужностях зросте ефективність використання існуючого електрогенеруючого обладнання, яке працює у базовому режимі.

4. Електроенергію у побутовому опаленні з технічно-економічної точки зору доцільно використовувати у системах опалення на базі теплових насосів, теплоакумуляційних печей, установок кавітаційного нагріву, конвективних і променевих радіаторів, а також у системах електрокабельного опалення. Але у найближчий (приблизно упродовж 5–10 років) час найбільш перспективними видами побутового електрообігріву є акумуляційне електроопалення у вигляді теплоакумуляційних печей і електрокабельних систем. У багатьох випадках необхідно провести раціональну гібридизацію електроопалення з різними системами опалення і вибрати оптимальну їх комбінацію.

5. Починати впровадження електроопалення слід з енергоаудиту об'єктів, які передбачається охопити електрообігрівом, оскільки критичною умовою впровадження електроопалення є відповідність теплозахисту будівель нормативам щодо рівня тепловитрат. Спочатку необхідно розробити відповідні термоміноваційні заходи для об'єктів, на яких планується впровадження технологій електрообігріву. Для цього необхідно налагодити спільну роботу з підприємствами та суб'єктами господарювання, які виконують функції енергоаудиту, надають послуги з енергозбереження, проводять енергетичні обстеження, у тому числі з Центральною групою енергетичного аудиту Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів, НДІ «Проектреконструкція» та іншими.

6. Зараз бракує фактичних даних щодо ефективності вказаних систем електроопалення у порівнянні як між собою, так і з традиційними їх комбінаціями. Поки що відсутні відповідні експериментальні енергоефективні будівельні проекти у масштабі житлового комплексу чи окремого будинку. Також фактично відсутня широкомасштабна програма з економії енергії, яка передбачала б формування конкурентної ситуації на ринку теплогенеруючого обладнання. Тому існує об'єктивна потреба у будівництві пілотної зони об'єктів з акумуляційним електрообігрівом, оскільки в обґрунтуванні доцільності акумуляційного електрообігріву, як і будь-якої новітньої технології, останнє слово належить практиці використання. Необхідним є проведення практичних експериментів з електроопалення і гарячого водопостачання спочатку в окремому багатоквартирному будинку або його частині, а потім – у масштабі мікрорайону. Показником вірності попередніх

розрахунків, рекомендацій та висновків щодо впровадження електрообігріву повинні стати результати практичної паралельної експлуатації нової і традиційної систем опалення у реальних та однакових умовах, а також в умовах безперервного їх енергетичного моніторингу за певними критеріями й показниками. При цьому частина житлових будинків (однотипних з будинками, у яких застосовується експериментальне електроопалення) повинна бути обладнаною традиційною системою опалення.

7. Для України найбільш поширеними кліматичними умовами є умови першої кліматичної зони. Вони є найсуворішими для країни. Тому доцільно здійснити пілотний проект, наприклад, у місті Київ, яке розташоване у першій кліматичній зоні. До того ж, Київ володіє дуже великим (найбільшим серед мегаполісів України) потенціалом (у зимовий режимний день 21.12.2006 р. – 0,76 ГВт) «надлишкової» енергії у години нічного мінімуму навантаження електромережі. Ця величина відповідає можливості опалити (з розрахунку 6 кВт/оселя) у м. Києві 126,5 тис. помешкань, а в цілому в Україні – більш ніж 1,1 млн. помешкань. Але відповідні рішення про більш-менш масову забудову можливо буде прийняти лише після практичних випробувань обмеженої дослідної кількості будівель. На підставі одержаного досвіду можна прийняти остаточне рішення про реалізацію конкретних рекомендацій щодо широкомасштабного впровадження ЕТА-технології.

8. Ще одним привабливим місцем розташування пілотного проекту є «енергетичні острови» НАЕК в зонах АЕС, у яких локальний мінімум графіка навантажень буде використовуватися на місці. Тому зменшаться мережні витрати енергії, збільшиться коефіцієнт використання потужностей АЕС, а населення одночасно одержить дуже комфортне, навіть престижне, житло. Найбільш доцільним є спорудження пілотних зон при нових енергоблоках (на Рівненській, Хмельницькій, Запорізькій АЕС). До цих АЕС поки не підходять ЛЕП 750 кВ, а пропускна здатність існуючих ЛЕП не дозволяє працювати енергоблокам на повну потужність. Це обмежує експорт електроенергії до Європи, погіршує надійність і стійкість ОЕС України. За кліматичними умовами усі АЕС входять до 1-ої і 2-ої кліматичних зон, і досвід експлуатації пілотних об'єктів може бути корисним для усієї країни. Кількість домогосподарств, які можуть бути охоплені електрообігрівом на одному такому енергоострові НАЕК, орієнтовно становить 12 – 17 тис.

9. Окремим питанням у контексті енергоаудиту і створення пілотних зон є розробка сучасної апаратної та алгоритмічної бази для відповідного вимірювального комплексу дистанційного довготермінового діагностування теплового стану приміщень упродовж опалювального періоду будинків, які формують пілотну зону.

10. Інженерне обладнання теплового захисту, вентиляції, кондиціонування, різноманітного теплоспоживання і теплотранспортування має модернізуватися на новітньому науково-технічному рівні, який гарантує підвищення енергозберігаючих показників до сучасного нормативного рівня.

11. Окремо при впровадженні ЕТА-обігріву необхідно розглянути практичні питання модернізації внутрішніх електромереж, електрообладнання до і після електровводу в житло. Стан ліній електропередач і силових підстанцій є ще однією критичною умовою поширення ЕТА-технології обігріву.

12. Необхідно продовжити або забезпечити практичну перевірку існуючої елементної бази ЕТА-обігріву, його технологічного обладнання та вже одержаних результатів (технологічних регламентів, схемотехнічних та конструкційних рішень, тощо), переважно шляхом практичних випробувань на великих об'єктах (типу багатоквартирного будинку) або на території, компактно забудованій будинками з ЕТА-опаленням.

13. При цьому бажано, якщо це дозволять стислі строки впровадження ЕТА-обігріву, забезпечити організаційно-технічні та інвестиційні заходи для збільшення (до

100 %) частини вітчизняного виробництва приладів та комплектуючих, які використовуються в ЕТА-обігріві. Це буде сприяти як подальшому здешевінню ЕТА-технології обігріву, так і збільшенню кількості робочих місць в Україні. Першочерговими об'єктами є теплоакумуляуючі печі, які протягом багатьох років освоюються в Україні з урахуванням досвіду як вітчизняних, так і закордонних аналогів. Слід звернути увагу на забезпечення замовленнями на нагрівальний кабель ВАТ «Одескабель» та регулятори технологічних режимів електрообігріву.

14. Необхідно провести роботи щодо узагальнення та доопрацювання раніше розробленої нормативної технічної документації, у тому числі ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення» з урахуванням одержаних результатів при практичній реалізації технології ЕТА-обігріву упродовж трьох років. Необхідно врахувати позитивний досвід розташування нагрівальних кабелів в інших, аніж підлога, типах огорожень (наприклад, у стінах).

15. Необхідно розробити «Методику визначення енергоефективності електрообігріву відповідно до умов ОЕС України».

16. У приватному і муніципальному секторах власності та економіки у впровадженні енергоефективних технологій зацікавлені самі суб'єкти господарювання. Державні підприємства, зазвичай, чекають на конкретні вказівки та централізовані заходи щодо переходу до енергоефективних технологій електрообігріву. Винятком є позитивний досвід НКРЕ, яке упродовж 10 років здійснює, по суті перший в Україні, пілотний проект з електроопалення свого офісу площею (за зовнішніми обмірами) 1350 м² за допомогою теплоакумуляуючих печей німецького виробництва (фірма *Technotherm*) загальною встановленою потужністю ≈ 700 кВт.

17. Основні зусилля з упровадження енергоефективних технологій електрообігріву варто перемістити на регіональні (обласні, районні), місцеві (міські чи окремих населених пунктів) та відомчі рівні шляхом розробки відповідних підпрограм та проектів. Прикладом може слугувати обласна програма «Електропik» (Хмельницька ОДА), а також аналогічні програми у Донецькій та Сумській областях.

18. Необхідно вивчити та узагальнити досвід багаторічної експлуатації об'єктів з електроопаленням як у країні, так і за кордоном, особливо в Росії.

19. Оскільки проблема ЕТА-обігріву знаходиться на межі електроенергетики, промислової енергетики, будівельної теплофізики, а з відомчої точки зору в розробці та впровадженні технології ЕТА-обігріву, найбільш зацікавленими сторонами (приблизно, однаковою мірою) виступають Міністерство палива та енергетики (розробник технології опалення і постачальник електроенергії), Міністерство регіонального розвитку України та Міністерство з питань житлово-комунального господарства України (генеральні споживачі численних об'єктів упровадження), державні установи з контролю виробництва та використання енергії (НКРЕ, НАЕР), *то доцільно організувати відповідну координаційну структуру. При цьому зацікавлені підприємства та об'єкти названих відомств при здійсненні функції «електротеплозабезпечення» природним шляхом групуються у вертикально структурований ланцюг «постачальник ПЕР -> енергогенеруюча компанія-> енергопостачальна компанія -> кінцевий споживач».*

20. Оскільки від надійного функціонування вказаного ланцюга залежить як життєзабезпечення мільйонів громадян, так і функціонування промислових підприємств та сфери послуг, а також, оскільки у цьому ланцюзі задіяні потужні матеріальні, енергетичні і фінансові потоки, то їх оптимізації слід приділити велику увагу, що буде мати значний економічний ефект.

21. Необхідно розробити схеми використання сучасних механізмів фінансування робіт з упровадження технології ЕТА-обігріву з мінімальним залученням бюджетних

коштів. У тому числі шляхом створення умов сприятливого інвестиційного клімату в цьому секторі ЖКК. Знайти можливості для пільгового кредитування через державні банківські установи інноваційних та інвестиційних проектів з упровадження технологій ЕТА-обігріву.

22. Рекомендується здійснювати моніторинг цін та тарифів на ПЕР, а також прогнозування тенденцій змін цін та тарифів. Зараз спостерігається певний паритет вартості електроопалення і фактичної вартості послуг існуючої зараз системи тепlopостачання. Прогнозується, що після лібералізації енергетичного ринку, вступу України до СОТ, коли вартість електроенергії для побутових споживачів буде у півтора-два рази більшою, ніж для промислових споживачів, співвідношення вартості теплової енергії і паливної складової в умовах центрального тепlopостачання стабілізується і її значення, з урахуванням великої частки ядерної складової в електроенергетиці України, складе два. Тоді використання електроопалення у вигляді резистивного електроопалення, особливо його ЕТА-модифікації, буде економічно привабливим навіть при майже технічно обумовлених подвійних витратах органічного палива на виробництво 1 кВт•год електричної енергії порівняно з витратами палива на виробництво 1 кВт•год теплової енергії. В умовах прогресуючого зростання вартості природного газу при відносно стабільних цінах на власне вугілля та ядерне паливо (уран) можна очікувати на сповільнене зростання тарифів на електричну енергію або утримання їх на більш-менш стабільному рівні.

23. Запровадження в електроенергетиці (енергогенерації та енергоспоживанні) регулювання споживачами добового графіка навантаження є доцільним лише за умов застосування економічних стимулів у межах рівноважного врахування інтересів як енергопостачальників (генеруючих компаній, операторів ОЕС) електроенергії, так і її споживачів, у тому числі населення, обов'язково з урахуванням місцевих особливостей графіка навантажень електромереж. Встановлена ще у 1995 р. система тарифів, диференційованих за періодами часу, як економічний механізм регулювання споживачами добового графіка навантаження, в її теперішньому співвідношенні (1,8 : 0,25=7,2) на сьогодні достатньо не заохочує споживачів переходити на тарифи, диференційовані за періодами часу.

24. Доки природний газ залишається в Україні єдиним видом ПЕР, вартісні показники якого в країні значно відстають від світових показників, це не дозволяє перейти від декларації принципу «електроенергія – це товар» (хоч і особливий унаслідок обмеженої здатності саморегулювання співвідношення попиту/пропозиції) до його реалізації. У країні ще підтримується абсурдна для розвинених країн ситуація так званого перехресного субсидювання населення промисловими споживачами електроенергії (населення платить за електроенергію менше, ніж промисловці). В умовах дисбалансу зовнішніх та внутрішніх цін на природний газ важко очікувати надходження інвестицій в енергетику.

25. *Рекомендується встановити багатозонний, у тому числі з функцією передоплати, облік електроенергії в Україні з окремим урахуванням за особливим тарифом енергії, спожитої для електроопалення. Існує багато технічних можливостей здійснення подібного обліку. Рекомендуються автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, програмно сумісні з якомога більшою кількістю багатозонних лічильників.*

26. Рекомендується розробити алгоритм розрахунку найбільш прогресивного (24-зонного) добового тарифу. Цей алгоритм дозволить розрахувати погодинну вартість електричної енергії, залежно від умов виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії, особливо з урахуванням розвитку децентралізованої складової енергетики, включення в загальний баланс енергоспоживання ядерної складової (в одиницях умовного палива) і енергії, що виробляється за «зеленим тарифом» і на когенераційних установках.

27. Найбільшу увагу при впровадженні ЕТА-обігріву, внаслідок майже повністю вичерпного потенціалу впровадження тарифів, диференційованих за періодами часу у промисловій групі, зараз слід звернути на побутове навантаження ($k_{\text{зан}}=0,738$, $k_{\text{нер}}=0,505$) та сільськогосподарських споживачів ($k_{\text{зан}}=0,874$, $k_{\text{нер}}=0,686$). Ця група споживачів електроенергії характеризується великою чисельністю (нараховує 18,9 млн. споживачів), з яких кількість користувачів серед населення складає 18,5 млн. або 97,8%. Є декілька категорій потенційних користувачів електрообігрівом, які характеризуються різним пріоритетом. Можна вважати, що найбільші переваги має населення сільських пунктів, газифікація яких не передбачається найближчим часом, частка цих населених пунктів складає 67%.

28. Осінньо-зимовий період 2005-2006рр., зокрема досвід м. Алчевська підтверджує нагальну необхідність у проведенні модернізації застарілих опалювальних систем. Проте, на наш погляд, доцільність масового впровадження запропонованих газових котлів в умовах державної політики скорочення споживання природного газу є сумнівною.

На наш погляд, перехід від традиційного централізованого газового опалення на індивідуальне газове опалення окремих будинків і квартир є економічно необґрунтованим та таким, що загрожує енергетичній безпеці держави з наступних причин:

- вірогідність виходу з ладу кожного з індивідуальних прибудинкових котлів практично така ж, як для кожної окремої районної котельні чи ТЕЦ; таким чином вірогідність виходу з ладу опалювального обладнання при переході на індивідуальну схему опалення буде вищою у стільки разів, скільки індивідуальних котлів встановлено на території, що обслуговується тією чи іншою котельнею або ТЕЦ;
- при переході на індивідуальне опалення будинків буде знищено централізовану систему технічного обслуговування та ремонтів спеціалізованими організаціями, укомплектованими досвідченими фахівцями; натомість ці функції будуть передані на рівень житлово-комунальних служб, що значно збільшить необхідність у кваліфікованих фахівцях, які на даний час є дефіцитом, та, як наслідок, знизить якість ремонтних робіт і технічного обслуговування;
- для реалізації зазначеного переходу необхідні значні кошти на реконструкцію існуючих чи будівництво нових систем прибудинкового газозабезпечення (збільшення діаметрів газопідвідних труб для будівель з газовими плитами та здійснення нових підводів газу в разі використання електричних плит); таких коштів держава сьогодні не має.

Автори підтримують позицію НАЕР щодо переходу на децентралізоване (індивідуальне) газове опалення щодо відсутності підстав для відмови від систем централізованого газового теплопостачання та погіршення екологічного стану довкілля а також підвищення безпеки від наявності у житлових помешканнях газоспоживаючого технологічного обладнання.

29. На наш погляд, більш прийнятним для вирішення зазначених проблемних питань є альтернативний варіант поступового переведення систем теплозабезпечення житлово-комунального господарства та бюджетної сфери на електроенергію (централізоване електроопалення), що передбачено пунктом 3.2.1. проекту «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року». Таке переведення практично має наступні переваги:

- використання наявних електрокомунікацій – додаткова економія коштів на проектування, монтаж та експлуатацію трубопроводів;

- використання діючих систем обліку електроенергії, в т.ч. встановлених електродільників – економія коштів за рахунок відсутності потреби встановлення лічильників тепла та гарячої води;
- відсутність втрат від протікання теплоносія та заміни зношених труб – економія коштів за рахунок скорочення обсягів теплового господарства та витрат на його обслуговування;
- зі збільшенням електроспоживання зменшаться нічні «провали» навантажень, що сприятиме роботі атомних електростанцій у базовому режимі практично без залучення теплових блоків у якості регулюючих потужностей, а в умовах майже повного вичерпання ресурсу роботи блоків це дозволить значно продовжити термін їх експлуатації;
- можливість плавного регулювання електроприладів (опалювальних батарей, електроплит тощо), що дозволить споживачу самостійно економити енергоресурси та сприяти вирішенню питань з енергозбереження;
- простота в підключенні, експлуатації та обслуговуванні, а також відносна дешевизна теплоприладів, які працюють на електроенергії, їх широка пропозиція на ринку;
- можливість завантаження вітчизняних заводів - виробників електроприладів та організація їх сервісного обслуговування;
- підвищення рівня безпеки населення за рахунок заміни газових плит на електричні – унеможливлення вибухів та отруєнь від недбалого поводження з газом;
- звільнення від аварій на теплотрасах, протікання трубопроводів і запірної арматури на трасах, у бойлерних та підвальних приміщеннях житлових будинків; виключення можливості аварій при промерзанні трубопроводів при різкому похолоданні (враховуючи практично повне вичерпання ресурсу роботи трубопроводів);
- зняття соціальної напруги, викликаной недовірою населення до місцевих органів влади, через неможливість впливати на регулювання теплоспоживання;
- економія державних коштів у житлово-комунальній сфері завдяки можливості закупівлі електронагрівальних приладів (теплообігрівачів, водонагрівачів, електричних котлів для опалення, електроплит тощо) за рахунок власних коштів населення, довготермінових кредитів місцевих бюджетів від частки на субсидії, субвенції, дотації, пільги, зменшення бюджетних коштів для покриття витрат на потреби теплопостачання, зменшення витрат на утримання та сервісне обслуговування підприємств теплокомуненерго.

Враховуючи наведене, автори вважають, що переведення на індивідуальне газове опалення є можливим тільки для будинків та об'єктів соціально-культурного призначення, які розташовані на значній відстані від теплових комунікацій та електричних мереж.

30. Ще одним напрямком масштабного впровадження електроопалення можуть стати проблемні та кризові будинки, в яких відсутнє теплопостачання та гаряча вода через місце їх розташування, особливо в регіонах, де рівень втрат у теплових мережах сягає 30–40 %, а також таких будинків, у яких на сьогодні понад 25 % мешканців вже відключилися від центрального опалення та самостійно перейшли на індивідуальну систему теплопостачання, або будинків, які розміщені на відстані понад 1 км від котельні.

31. Соціальну сферу використання ЕТА-технології складають об'єкти цивільного та громадського будівництва, у тому числі громадські будинки та споруди, будинки та споруди навчальних закладів та дитячих дошкільних закладів, заклади охорони здоров'я, житлові будинки та інші. Особливо широко може застосовуватись ЕТА-

обігрів у негазифікованих селах України, кількість яких становить близько 20 тис. (або приблизно 70 % їх загальної кількості).

32. Однією з пріоритетних підгруп групи побутового навантаження є сільське населення, особливо на ще депресивних територіях, типу населеного пункту Стара Ушиця в Хмельницькій обл.

33. Нові споживачі-регулятори складають численні об'єкти народного господарства, у тому числі у ЖКК, бюджетній сфері, промисловому, цивільному та іншому будівництві, які підключені до ОЕС і використовують енергоефективні електротеплоакумуляційні системи, які споживають електричну енергію з подальшою її трансформацією у теплову (акумуляцією теплової енергії) переважно у години нічного мінімуму навантажень енергетичної мережі і здатні витратити накопичену теплову енергію впродовж усієї доби для забезпечення нормативного мікроклімату об'єкта, який обігривається.

34. Оцінку енергетичного потенціалу впровадження акумуляційного електроопалення одержано, виходячи з резервів перерозподілу навантаження ОЕС України. Але слід розглянути обсяг упровадження електроопалення також з погляду потенційних і пріоритетних користувачів тепловою енергією, які погоджуються використовувати електрообігрів за підвищеними цінами на електроенергію за принципом «мій дім – моя тепла фортеця» (зниження теплового споживання до значення, яке не перевищує 30 Вт/м²).

35. Прогнозована потужність установок акумуляційного електроопалення для тепlopостачання соціальної та приватної житлової сфери негазифікованих сільських населених пунктів становить ≈40,5 тис. МВт. З них близько 3,8 тис. МВт – це навантаження опалення бюджетних закладів соціальної сфери села, сільського колективного житлового фонду. Крім 11,5 тис. шкіл, у цих селах розміщено близько 10 тис. фельдшерсько-акушерських пунктів (ФАП), 10 тис. бібліотек і певна кількість інших об'єктів державного та державного корпоративного, комунального та колективного житлового фонду. Обсяги державного, комунального та колективного житлового фонду в негазифікованих селах сягають майже 21 млн. м². За різними оцінками потенціал впровадження технології електроопалення, який обмежується різницею між вечірнім зимовим максимумом і нічним навантаженням графіка енергосистеми України, складає 6÷7 тис. МВт і дозволяє електрифікувати опалення до 1 млн. осель (при середній встановленій поквартирній потужності традиційних електроустановок ≈6 кВт).

36. Пропонується у масштабному пілотному проекті перевірити новий архітектурно-інженерний підхід (введення єдиного енергоресурсу – електричної енергії) для забезпечення потреб у всіх видах енергії, у тому числі, для забезпечення потреб у тепловій енергії багатоквартирного будинку та його мешканців. Тобто, підключення будинку до водоканалізаційних мереж та електромережі забезпечить усі побутові потреби мешканців будинку. Це дозволить одержати значну економію за рахунок відмови від теплотрас, колекторів, автономних теплогенераторів, теплових пунктів, труб та батарей опалення, а також економії за рахунок широкого діапазону регулювання режимів опалення.

Наведені висновки узагальнено у вигляді проекту «Програми електротеплозабезпечення за технологією електротеплоакумуляційного обігріву» (Додаток А).

РЕЗЮМЕ

У книзі з метою забезпечення ефективного споживання енергії, економії витрат на її передачу, заміщення імпортних ПЕР, підвищення енергетичної безпеки країни, регіонів і окремих виробництв, поліпшення екологічного стану в країні розглянуто актуальність, мету, завдання, підходи, установчі положення та вимоги до розробки технології електротеплоакумуляційного (ЕТА) обігріву в ЖКК та АПК України. Досліджено основні аспекти концептуальних засад ЕТА-обігріву в Україні, у тому числі особливості електроенергобалансу, теплозабезпечення та енергобезпеки України.

Окремо розглянуто сучасний стан застосування в Україні електричної енергії для опалення та гарячого водопостачання, добові та сезонні режими навантаження ОЕС України. Особливу увагу приділено оцінці нерівномірності існуючого графіка добового навантаження ОЕС України як потенціалу впровадження електрообігріву, коли технологія ЕТА-обігріву слугує споживачем-регулятором нового типу для ОЕС України і одночасно альтернативою традиційним (на базі спалювання природного газу) системам центрального опалення та теплозабезпечення. Виконана розробка теплофізичних основ споживача-регулятора нового типу для ОЕС України. Здійснено огляд існуючих техніко-економічних, нормативних та технічних основ ЕТА-обігріву. Зробимо акцент на розробці вітчизняного нагрівального кабелю – ключової умови широко-масштабного впровадження нової технології.

Встановлено технічні, економічні умови для поетапного витіснення природного газу системами побутового електротеплозабезпечення за рахунок ущільнення графіків електричних навантажень.

Визначено, що технічний потенціал упровадження споживачів-регуляторів за рахунок промислової групи користувачів ОЕС України практично вичерпаний, а споживачі непромислових груп майже не залучаються до розрахунків за тарифами, диференційованими за періодами часу. Тому група побутового навантаження (18,9 млн. споживачів, у тому числі – населення 18,5 млн., або 97,8 %; у 2005 р. цією групою було спожито 26,0 млрд. кВт*год, або 21,2 % від електробалансу) розглянута як резерв розширення обсягу користувачів нічного провалу і зменшення користувачів у години піків добового графіка навантажень.

Таким чином, крім екстенсивного засобу вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України шляхом нарощування маневрових потужностей, пропонується інтенсивний засіб – шляхом завантаження нічної зони. Також одержано оцінку обсягів упровадження електрообігріву з точки зору благоустрою населених пунктів і соціальних пріоритетів; здійснена класифікація споживачів електротеплозабезпечення та їх ранжирування щодо черговості впровадження. У якості пріоритетної підгрупи побутового навантаження запропоновано розглядати населення в зонах енергетичних островів (наприклад, у зонах АЕС) та сільське населення, особливо на ще депресивних територіях.

Розроблені рекомендації подано у вигляді першочергових заходів. Вони закінчуються своєрідною дорожньою мапою впровадження ЕТА-обігріву у вигляді проекту державної або міжгалузевої «Програми електротеплозабезпечення за технологією електро-теплоакумуляційного обігріву».

РЕЗЮМЕ

В книге с целью обеспечения эффективного потребления энергии, экономии затрат на ее передачу, замещения импортных ПЭР, повышения энергетической безопасности страны, регионов и отдельных производств, улучшения экологической обстановки в стране, рассмотрены актуальность, цель, задания, подходы, исходные положения и требования к разработке технологии электротеплоаккумуляционного (ЭТА) обогрева в ЖКК и АПК Украины. Исследованы основные аспекты концептуальных основ ЭТА-обогрева в Украине, в том числе особенности электроэнергобаланса, теплообеспечения и энергобезопасности Украины.

Отдельно рассмотрено современное состояние использования в Украине электрической энергии для отопления и горячего водоснабжения, суточные и сезонные режимы нагрузки ОЭС Украины. Особое внимание уделено оценке неравномерности существующего графика суточной нагрузки ОЭС Украины как потенциала внедрения электрообогрева, когда технология ЭТА-обогрева служит потребителем-регулятором нового типа для ОЭС Украины и одновременно альтернативой традиционным (на базе сжигания природного газа) системам центрального отопления и теплообеспечения. Выполнена разработка теплофизических основ потребителя-регулятора нового типа для ОЭС Украины. Проведен обзор существующей технико-экономических, нормативных и технических основ ЭТА-обогрева. Особое внимание уделено разработке отечественного нагревательного кабеля – ключевого условия широкомасштабного внедрения новой технологии.

Установлены технические, экономические условия для поэтапного вытеснения природного газа системами бытового электротеплообеспечения за счет уплотнения графиков электрических нагрузок.

Определено, что технический потенциал внедрения потребителей-регуляторов за счет промышленной группы пользователей ОЭС Украины практически исчерпан, а потребители непромышленных групп практически не привлекаются к расчетам по тарифам, дифференцированным по периодам времени. Поэтому группа бытовой нагрузки (18,9 млн. потребителей, в том числе – население 18,5 млн., или 97,8 %; в 2005 г. этой группой было потреблено 26,0 млрд. кВт·час, или 21,2 % от электробаланса) рассмотрена как резерв расширения объема пользователей ночного провала и уменьшения пользователей в часы пик суточного графика нагрузок.

Таким образом, кроме экстенсивного способа выравнивания суточного графика нагрузок ОЭС Украины путем наращивания маневренных мощностей, предлагается интенсивный способ – путем загрузки ночной зоны. Также получена оценка объемов внедрения электрообогрева с точки зрения благоустройства населенных пунктов и социальных приоритетов; проведена классификация потребителей электротеплообеспечения и их ранжирование по очередности внедрения. В качестве приоритетной подгруппы бытовой нагрузки предложено рассматривать население в зонах энергетических островов (например, в зонах АЭС) и сельское население, особенно, на еще депрессивных территориях.

Разработанные рекомендации представлены в виде первоочередных мероприятий. Они заканчиваются своего рода дорожной картой внедрения ЭТА-обогрева в виде проекта государственной или межотраслевой «Программы электротеплообеспечения с использованием технологии электротеплоаккумуляционного обогрева».

SUMMARY

With purpose to provide the efficient consumption of energy; cost saving for its transmission; replacement of the imported primary energy resources (PER); state, regional and separate enterprises power safeties and ecology improvement the actuality, purpose, tasks, approaches, initial source information and requirements to development of the storage electroheating (SEH) at housing and communal services (HCS) and Agroindustrial Complex (AIC) of Ukraine are studied in this book. Focal points of the SEH conceptual frameworks in Ukraine, including particular features of the electricity balance, heat supply and power safety in Ukraine are analyzed.

Actual state of electricity consumption for heating and hot water supply in Ukraine is considered separately both with daily and seasonal load conditions of the united power grid of Ukraine (UPGU). Particular attention is given to assessment of the irregularity of existing daily load patterns of the UPGU as the potential for application of electroheating when the SEH-heating technology shall be the new type of controllable load for UPGU, and at the same time become the alternative to traditional (on the base of natural gas burning) systems of the central heating and heat supply. Considered is development of thermal and physical principles of the new type of controllable load for UPGU. The overview of existing technical and economic, normative and technical bases of the SEH is carried out. Particular consideration is given to development and manufacture of the domestic heating cable being the key condition for the large-scale application of the new technology.

Fixed are technical and economic terms of gradual replacement of natural gas by the systems of household electrothermal supply due to compaction of the daily electric load patterns.

It was determined that the technical potential of application of the industrial group of UPGU controllable loads is practically exhausted. On the other hand non-industrial group of UPGU controllable loads practically is not attracted to payments with differentiated by time kilowatt-hour rate. That is why the group of household loading (18.9 millions of consumers, including 18.5 millions of population or 97.8 %; in 2005 this group consumed 26.0 milliards of kWh or 21.2 % of electricity balance) is considered as the reserve of widening of quantity of consumers at the voltage depression hours and reduction of quantity of consumers at the peak hours of the daily UPGU load pattern.

Thus, apart of extensive method for smoothing of the daily UPGU load pattern by increasing in the number of flexing generating plants, the intensive method is proposed using loading of the night zone. In addition, are received the results of assessment of the volumes of application of electric heating from the point of view of improvement of settlements (localities) and social priorities; classification of the electric heating supply consumers was made both with their ranking according to implementation priority. As priority subgroup of household load it is proposed to consider population in the power «isles' areas (for instance, at the NPP areas), and rural population in the depressive territories especially.

Recommendations in form of the high priority events have been developed. They end with the road map of the storage electroheating in form of the State or inter-branch Project of the *Program of Electric and Heat Supply Using Storage Electroheating Technology*.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings.* // Official Journal, 4.1.2003, pp. 65-70 (Директива 2002/91/EC по энергетической эффективности зданий, перевод см. АВОК, № 1, 2003.)
2. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року.* // Відомості Міністерства палива та енергетики України, Інформ.-аналіт. бюлетень МПЕ. Спецвипуск. – К.: МПЕ, 2006. – 114 с.
3. *Розинський Д.Й.* Електротеплоакумуляційне опалення у будівництві, промисловості і АПК – складова енергобезпеки України. // Екологія і ресурси. – 2003. – № 5. – С. 174-181.
4. *Богословский В.Н.* Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. *Богословский В.Н., Сканава А.Н.* Отопление. – М.: Высшая школа, 1991. – 503 с.
6. *Кубе С.* Отопление. // Материальная культура. Вып. 3. – М.: Наука, 1989. – С. 120-123.
7. *Потынский Ц.Б.*, Приспособление для электрического нагревания стен. Патент СССР № 6978, заявленный 5 декабря 1923 г. Опубликовано 30.11. 1928 г. 21h, 3-5, Класс F24 d, 13/02; F24 h, 09/08.
8. *Райт Ф.Л.* Органическая архитектура. – М.: Стройиздат, 1965. – 400 с.
9. *Олесен Б.В.* Теория и практика напольного лучистого отопления. // АВОК. – №1. – 2003. – С. 44-52.
10. *EN 1264.* Floor heating - System and components.
11. *Амерханов Р.А.* Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. – М.: Колос, 2003. – 532 с.
12. *Мхитарян Н.М.* Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 416 с.
13. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка науково-технічних засад енергоощадної технології електротеплоакумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України». Держреєстрація № 0106U000559. – К.: НВП «ЕЛЕТЕР», 2006. – 7етапів.
14. *Стафийчук В.Г., Меженный С.Я.* Вопросы электроснабжения села с учетом электрообогрева жилых домов. // Энергетика и электрификация. – 1992. – № 1. – С. 21-22.
15. *Меженный С.Я., Стафийчук В.Г., Тисленко В.В., Удод Е.И.* Концепция развития сельской электроэнергетики Украины. // Энергетика и электрификация. – 1993. – № 1. – С. 31-34.
16. *Стафийчук В.Г., Ревуцкий С.С.* Нормативное обеспечение расчетов электрических сетей при использовании электроэнергии для отопления жилья. // Электрические сети и системы. – 2003. – № 2. – С. 49-52.
17. *Фещенко П.П., Рыбальченко Ю.Я., Бойко Ю.В.* Анализ тенденций централизованного энергоснабжения быта сельских жителей Украины с учетом применения электроотопления. // Энергетика и электрификация. – 1992. – №1. – С. 23-24.
18. *Меженный С.Я., Ревуцкий С.С., Стафийчук В.Г.* Учет электрических нагрузок отопления и горячего водоснабжения при проектировании сельских электрических сетей 0,36-110 кВ. // Энергетика и электрификация. – 1991. – № 4.
19. *Буц А.Н., Ревуцкий С.С., Стафийчук В.Г.* Использование потребителей-регуляторов для выравнивания сельских электрических сетей. // Серия: Сооруже-

ние линий электропередач и подстанций. Вып. 6. – М.: Информэлектро, 1989. – 52 с.

20. *Симонов А.А.* Бытовое электрическое отопление с аккумулированием тепла — важнейший фактор эффективного использования электроэнергии // Энергетика и электрификация. – 1992. – № 1. – с. 26-30.

21. *Юрчук В.Ф.* Электроопалення сільських будинків, як засіб соціальної перебудови села. // Энергетика и электрификация. – 1992. – № 1. – С. 25-26.

22. *Пшеничников В.М.* Использование электроэнергии для отопления. // Энергосбережение. – 2004. – № 2. – С. 68-72.

23. *Скрипичин А.С., Шмаеник А.А.* Малоэтажный жилой квартал г. Петрозаводска с улучшенными архитектурно-планировочными, конструктивными и инженерными решениями зданий. // Энергосбережение. – 2003. – № 1. – С. 80-82.

24. *Горбачев В., Тарасов П.* Экономические аспекты затрат на установку и эксплуатацию традиционного и прямого электрического отопления для загородного дома и коттеджа. // Энергосбережение. – 1999. – № 3. – С. 196-199.

25. *Фірмові матеріали фірми «Греса» (Київ).*

26. *Рудак В.А.* Мы не отапливаем помещение, мы согреваем ваш дом. // Промислова електроенергетика та електротехніка. – Вып. 2. – 2006. – С. 30-33.

27. *Сигалов Ю. А., Немчин Е. И., Легейдо С. М.* Экономические показатели применения электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения жилых зданий (на примере микрорайонов Фрязино и Братска. Реферативный научно-технич. сборник. Электротехническая промышленность. // Бытовая электротехника. Выпуск 3 (22). – М.: Информэлектро, 1974. – С. 6-8.

28. *Городничев А.В., Тульчин И.К.* Выбор энергоносителей и оптимальных параметров электрических сетей городского района при различных уровнях электрификации быта. Реферативный научно-технич. сборник, Электротехническая промышленность. // Бытовая электротехника. Выпуск 1 (38). – М.: Информэлектро, 1977. – С.1-5.

29. *Городничев А.В., Тульчин И.К.* Развитие электрификации быта и перспективные электрические нагрузки квартир. Реферативный научно-технич. сб. «Электротехническая промышленность». // Бытовая электротехника. – Вып. 2 (39). – М.: Информэлектро, 1977. – С. 1-3.

30. *Кишановский В.Й., Власюк А.В., Мельниченко О.В.* Ренессанс централизованного отопления. // Отопление, водоснабжение, вентиляция + кондиционеры. – 2005. – № 3. – С. 85-88.

31. *Семенов В.Г.* Картинки с выставки – Москва – энергоэффективный город. // Новини теплопостачання. – 2005. – № 5. – С. 3-4.

32. *Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття.* Під заг. редакцією А.К. Шидловського, М.П.Ковалка. – К.: «Укр. енциклопед. знання», 2001. – 397 с.

33. *Вороновский Г.К., Сергеев С.А.* Пока не поздно. // Электрические сети и системы. – 2004. – № 1-2. – с. 108-110.

34. *Вороновский Г.К.* Избранные труды в 5 т. Т. 1: Размышления об энергетике: судьбы и события, наблюдения и комментарии. – Харьков. – 2003. – 260 с.

35. *Вороновский Г.К., Ольшевский А.М., Сергеев С.Л.* Электрификация быта: как обуздать рост электроотопительного потенциала? // Энергетическая политика Украины. – 2002. – № 12. – С. 97-103.

36. *Вороновский Г.К.* Краткие ответы на критику. // Энергетическая политика Украины. – 2003. – № 2. – С. 75-77.

37. *Вороновский Г.К.* Обязаны платить! Или в поисках здравого смысла. // Энергетическая политика Украины. – 2003. – № 3. – С. 68-71.
38. *Вороновский Г.К.* и др. Анализ тенденций изменения структуры электропотребления в быту. // Электротехника та електромеханіка. – 2004. – № 1. – С. 66-69.
39. *Вороновский Г.К.* Усовершенствование практики управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях. – Харьков: Изд-во «Харьков», 2002. – 240 с.
40. *Альтгаузен А.П., Гутман М.Б., Малышев С.А.* и др. Низкотемпературный электронагрев. // Под общ. ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергия, 1978. – 208 с.
41. *Теплогенератор и устройство для нагрева жидкостей.* // Потапов Ю.С. Патент РФ № 2045715 С1, опубл. 10.10.95 г., Бюллетень № 28.
42. *Устройство для нагревания жидкостей и теплогенератор, который использует в нем.* // Потапов Ю.С. и друг. Патент України № 7205 А, опубл. 30.06.95 г. Бюллетень № 2.
43. *Потапов Ю.С., Фоминский Л.П., Потапов С.Ю.* Энергия вращения. – Кишинев, Молдавский центр «Ноосферные технологии» РАЕН, 2001. – 382 с.
44. *Энергосбережение в Украине.* – К.: Госкомэнергосбережения, 2004. – 252 с.
45. *Абдулкеримов С.С.* Диагностика экологической чистоты нетрадиционных источников энергии. // Строительные материалы, оборудование, технологи XXI в. – 2001. – № 4. – С. 27.
46. *Халатов А.А., Коваленко А.С., Шевцов С.В.* Определение коэффициента преобразования энергии в вихревом теплогенераторе типа ТПМ 5,5-1. // Промышленная теплотехника, 2002, т. 24, № 6. – С. 12-16
47. *Владимиров А.* Теплогенераторы «МУСТ». // Жил. и коммун. хоз-во. – 2001. – № 11. – С. 34.
48. *Термінал-спецтехніка: ноу-хау - гідротеплогенератор ТГС.* // Ринок інсталяційний. 2001. – липень. – С.13.
49. *Третьякова Л.Д., Селіверстов А.Є., Баран М.* Ефективні засоби електротеплоакумуляційного обігріву. // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2006. – № 4. – С. 14-16.
50. *Reimann J.* Die Elektrowarmepumpe im einfamilien baus. DE: Elektromeister + + deutsch. Elektrohandwerk, 1992, 67, No.1. – S. 16-17
51. *Weber R.* Hat die Warmepumpe eine Zukunft. DE: Elektromeister + dtsch. Elektrohandwerk, 1992, 67, No.1. – S. 18-19.
52. *Weniger* Warmepumpen, HLH, 1992, 43, No.4, – S. 166.
53. *Демченко В.Г.* Нові альтернативні методи енергопостачання. // Ринок інсталяційний. – 2000. – Липень/серпень. – С.14-15.
54. *Горшков А.* Умом Россию не понять. (аршин для измерения отечественного рынка ГТУ). // Каталог газотурбинного оборудования. – Ярославль: ЗАО «Газотурбинные технологии», 2006. – С.3-6.
55. *Обзор газотурбинных технологий.* // Каталог газотурбинного оборудования. – Ярославль: ЗАО «Газотурбинные технологии», 2006. – С. 236-240.
56. *Калнинь И.М.* Тепловые насосы нового поколения. // Проблемы теплоснабжения России. – Вып. 3. – 2005. – С. 62-64.
57. *Клер А.М., Маринченко А.Ю.* Оценка технико-экономической эффективности использования комбинированной теплопроизводящей установки на базе теплового насоса для теплоснабжения микрорайона города Слюдянки. // Проблемы теплоснабжения России. – Вып. 6. – 2004. – С. 67-68.

58. Гершкович В.Ф. Газовый кризис - предвестник беды или начало выздоровления? // Теплосбережение. – 2006. – № 2. – С. 16-21.
59. Тітенко С.М., Меженний С.Я., Розинський Д.Й. Сучасний стан і перспективи розвитку систем електрообігріву в Україні (до постановки питання). // Промислова електроенергетика та електротехніка. – Вип. 4. – 2006. – С. 3-9.
60. Розинський Д.Й., Розинський М.И., Лопатин С.Я. Электрическая кабельная система отопления. // Будівництво України. – 1996. – № 3. – С. 37-39.
61. Розинський Д.Й., Лопатин С.Я., Тимченко М.П. Оценка теплоаккумулирующей способности конструкций зданий и сооружений при электрическом кабельном отоплении. // Сб. «Промислова електроенергетика та електротехніка». Вип. 2. – К. – 1998. – С. 26-44.
62. Розинський Д.Й., Лопатин С.Я., Тимченко М.П. Пільгові тарифи на електроенергію та теплоакумулююча здатність бідувельних конструкцій – головні чинники при спорудженні будинків з електроопаленням. // Будівництво України. – 1998. – № 6. – С. 33-36.
63. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. Сборник научных статей под редакцией Д.И. Розинского. – К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элтер», 2001. – 156 с.
64. Розинський Д.И., Тимченко Н.П., Круковский П.Г. Развитие ЭТА технологий обогрева в строительстве, промышленности и агропромышленном комплексе Украины. // Промышленная теплотехника. – 2003. – № 4. – С. 187-191.
65. Розинський Д.Й. Енергоощадна технологія електротеплоаккумуляційного обігріву в АПК. // Автореф. Дис. на здобуття вч.ст. к.т.н. – К.: НАУ, 2004. – 24 с.
66. Круковский П.Г., Тимченко Н.П., Тадля О.Ю., Розинський Д.Й. Теплові режими висотного будинку із системою підлогового опалення (четверта температурна зона). // Будівництво України. – 2005. – № 3. – С. 20-25.
67. Круковский П.Г., Тимченко Н.П., Тадля О.Ю., Розинський Д.Й. Теплові режими висотного будинку із системою підлогового опалення (перша температурна зона). // Будівництво України. – 2005. – № 4. – С. 21-24.
68. Розинський Д.Й., Тимченко Н.П. Электрокабельні системи обігрівання — підсумки та перспективи. // Будівництво України. – 2005 – № 5. – С. 36-40.
69. Розинський Д.Й., Тимченко Н.П. Економічний аспект впровадження у ЖКГ України електротехнологій на базі ЕКСО. // Будівництво України. – 2006. – № 2. – С. 10-15.
70. Розинський Д.Й., Тимченко Н.П., Громадський Ю.С. Енергоефективне електро-теплозабезпечення у ЖКГ України – необхідність створення пілотного житлового об'єкту або комплексу. // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2006. – № 2. – С. 17-24.
71. Розинський Д.Й., Тимченко Н.П., Громадський Ю.С. Електротеплозабезпечення житлово-комунального господарства України. // Реконструкція житла. – Вип. – 7. – 2006. – С. 170-194.
72. Розинський Д.Й., Громадський Ю.С., Тимченко Н.П. Енергоощадна технологія електротеплоаккумуляційного обігріву як основа електрифікації ЖКК. // Енергетична політика України. Погляд громадськості. Зб. № 3. – К., 2006. – С. 155-163.
73. Розинський Д.Й., Громадський Ю.С., Тимченко Н.П. Електротеплоаккумуляційний обігрів як новий тип споживача-регулятора. // Енергетична політика України. Погляд громадськості. Зб. № 3. – К., 2006. – С. 164-172.

74. *Титенко С.М., Меженний С.Я., Розинський Д.Й., Тимченко Н.П.* Ефективне електротеплозабезпечення у ЖКГ України і створення масового споживача-регулятора нового типу. // Будівництво України. – 2006. – № 5. – С. 20-25.
75. *Игнатъев В., Игнатъева И.* Концепция Программы постепенного перехода на электрическую энергию систем тепло- и газоснабжения ЖКХ и бюджетной сферы. // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 5. – С. 23-27.
76. ДБН В.2.5-24-2003. Електрична кабельна система опалення. – К.: Укрархбудінформ, 2003. – 44 с.
77. *Баталов А., Салимон В.* Баланс интересов. О проблеме дефицита высокомагнетных регулирующих мощностей в ОЭС Украины. // Энергетическая политика Украины. – 2004. – № 6. – С. 54-57.
78. *Праховник А., Замулко А., Находов В.* Новые энергоблоки АЭС: избыток энергии или дефицит мощности в энергосистеме? // Энергетическая политика Украины. – 2004. – № 11. – С. 54-60.
79. *Светелік О.Д., Баталов А.Г., Замулко А.І., Праховник А.В., Находов В.Ф.* Шляхи забезпечення балансу виробництва і споживання електричної енергії та потужності ОЕС України. // Стан і майбутнє енергетики України. Погляд громадськості. – К.: НТСЕУ, ОЕП «ГРІФЕ», 2005. – 324 с.
80. *Чернишов В., Денисевич К., Плачинда В., Безнос А., Перехрест С.* Регулювання режимів споживання електричної енергії в осінньо-зимовий період 2004-2005 рр. // Энергетическая политика Украины. – 2004. – № 10. – С.93-94.
81. *Праховник А.В.* Шляхи подолання перешкод у реалізації довгострокової енергетичної політики та створення ефективної енергетики. // Енергетична стратегія України. Погляд громадськості: М-ли міжн. наук.-техн.конф. (АР Крим, 16-18 вересня 2003 р.). – К., 2003. – С. 129-136.
82. *Симонова Е.* Счетчик «от кутюр». // Электропанорама. – 2004. – № 1-2. – С. 2-3.
83. *Симонова Е.* Счетчики «прет-а-порте». // Электропанорама. – 2004. – № 3. – С. 2-3.
84. *Лист ДП НЕК «Укренерго» від 08.12.2006 № 02/6573.* // ІнфБюлНКРЕ. – № 12. – 2006. – С. 55.
85. *Стогний Б., Жовтянский В.* Энергосбережение: момент истины? // Энергосбережение. – 2006. – № 7. – С.45-49.
86. *Справочник цен мирового рынка.* – 2006. – № 3. – 36 с.
87. *Ватагин М.* Все засекретим. // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 11. – С. 52.
88. *Ватагин М.* Учитывать ли уран в энергетическом балансе? // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 12. – С. 36-41.
89. *Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження.* // За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
90. *Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження.* // За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – 600 с.
91. *Литовкин В.В.* Технико-экономические предпосылки применения водоугольного топлива в электроэнергетике. // Энергетика и электрификация. – 2006. – № 7. – С. 20-22.
92. *Путин направил бизнесменов на переработку.* // Газета «Известия». № 22 от 08.02.2007. – С. 2.

93. *Воцинський Ю.К., Васильченко В.І.* Стан обліку електроенергії в НЕК «Укренерго» та шляхи його модернізації. Впровадження АСОЕ. // *Енергетика та електрифікація.* – 2006. – № 6. – С. 2-6.
94. *ДБН В.2.5-23-2003.* Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – К., 2004. – С. 16-20.
95. *Статистичний щорічник України за 2004 рік.* – К.: Консультант, 2005. – 640 с.
96. *Костышева Н.* О тарифах для населения и не только. // *Энергетическая политика Украины.* – 2005. – № 10. – С. 20-24.
97. *СНиП 2.04.05-91*У* Отопление, вентиляция и кондиционирование. – К.: КиевЗНИИЭП, 1996. – 64 с.
98. *Справочник по теплоснабжению и вентиляции.* Т.1. – К.: Будівельник, 1976. – 416 с.
99. *ГОСТ Р ИСО 9004:2001.* Система менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. – М.: Госстандарт России, 2001.
100. *Р 50.1.031-2001* Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч.1. Стадии жизненного цикла продукции. – М.: Госстандарт России, 2001.
101. *Копії листів Департаменту державного енергетичного нагляду Міністерства енергетики РФ № 32-01-03/87 від 22.04.2004 р. та № 32-01-03/94 від 20.05.2004 р.; зберігаються в архіві НВП «Елетер».*
102. *Гражданский кодекс Российской Федерации.* Части первая и вторая. – М.: изд-во НОРМА-ИНФРА-М, 1988. – 560 с.
103. *Цивільний кодекс України.* Постатейний коментар у двох частинах. Частина 1. – К.: Юстиніан, 2004. – 352 с.
104. *Цивільний кодекс України.* – К.: Парламентське видавництво, 2004. – 352 с.
105. *Мачинский В.Д.* Теория активной теплоемкости жилых зданий. – М., 1925. – 54 с.
106. *Мачинский В.Д.* Теплотехнические основы гражданского строительства. – М.-Л.: Маких, 1928. – 260 с.
107. *Власов О.Е.* Теплотехнический расчет гражданских конструкций. – М.-Л.: ГСИ, 1933. – 46 с.
108. *Селиверстов Г.А.* Теплоустойчивость зданий. – М.-Л.: ГСИ, 1934. – 52 с.
109. *Власов О.Е.* Основы строительной теплотехники. – М.: ВИА РККА, 1938. – 94 с.
110. *Селиверстов Г.А.* К вопросу тепловой инерции зданий. Критический обзор существующих методов расчета. – М.-Л.: ГСИ, 1938. – 59 с.
111. *Муромов С.И.* Расчет температуры наружного воздуха и теплоустойчивость ограждений. – М.-Л. ГСИ. Л., 1939. – 72 с.
112. *Шкловер А.М.* Метод расчет однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий на теплоустойчивость. – М.: Из-во АН СССР, 1945. – 79 с.
113. *Мачинский В.Д.* Метод характеристических величин в строительной теплотехнике. – М. – 1950. – 88 с.
114. *Семенов Л.А.* Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий. – М.: Минстроймаш, 1950. – 263 с.
115. *Шкловер А.М.* Теплотехнические расчеты зданий, расположенных на юге СССР. – М.: Стройиздат, 1952.
116. *Шкловер А.М.* Теплоустойчивость зданий. – М.: ГСИ, 1952. – 168 с.
117. *Шкловер. А.М.* Теплотехнически расчеты зданий, расположенных на юге СССР. – М., 1952. – 44 с.
118. *Шкловер А.М.* Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1956. – 114 с.

119. Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 349 с.
120. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
121. Елагин Б. Т. Основы теплофизики ограждающих конструкций зданий. – Киев – Донецк: Высшая школа, Главное изд-во, 1977. – 96 с.
122. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Минск: АН БССР, 1961.
123. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974. – 318 с.
124. Расчетно-аналитические и экспериментальные исследования теплофизических характеристик модели помещения типового жилого здания, оборудованного «теплым полом». Госрегистрация №ГР-0101U007318. КиевЗНИИЭП, 2002. – 271 с.
125. Маркус Т.А., Моррис Э.Н. Здания, климат и энергия. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 544 с.
126. Корчемний М.О., Нестеренко О.В., Федорейко В.С. Моделі температури зовнішнього повітря і ґрунту для розрахунку теплового балансу житлового будинку. // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 1 (6). – С. 86-90.
127. Амерханов Р.А., Долинский А.А., Морозюк Т.В. Аккумуляирование теплоты в системах теплоснабжения сельского хозяйства. // Промышленная теплотехника. – 2002. – Т. 24. – № 1. – С.106-108.
128. Драганов Б.Х., Гулько Т.В. Энергетический анализ теплохладоснабжения. – М.: Труды IV съезда АВОК, 1995. – С.25-29.
129. Розинський Д.Й., Черних Л.Ф. Особливості розрахунків теплового режиму приміщень з електротеплоаккумуляційним опаленням підлогою, що гріє. // Науковий вісник НАУ. – К., 2003. – Т. 58. – С.156-173.
130. Черных Л.Ф. Расчет теплопередачи через однослойную стенку при периодическом изменении температуры наружного воздуха. // Современные методы проектирования. Сб. науч. тр. КиевЗНИИЭП. – Вып.1. – К., 1972. – С. 138-144.
131. Черных Л.Ф., Крылова Т.Д., Дрозд Е.А. Расчет теплопередачи через трехслойную стенку при периодическом изменении температуры наружного воздуха. // В кн.: Конструкции гражданских зданий. Сб. науч. тр. КиевЗНИИЭП. – К., 1995. – С. 66-79.
132. Черных Л.Ф., Розинский Д.И., Полевой П.П. Метод конечных интегральных преобразований для расчета теплового режима помещений с электротеплоаккумуляционным отоплением греющим полом. // Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. // Под ред. Д.И. Розинского. – К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элтер», 2001. – С.85-91.
133. Черних Л.Ф. Метод розрахунку теплового режиму приміщення з тришаровими зовнішніми стінами і з електротеплоаккумуляційною системою опалення підлогою, що гріє. // Будівництво України. – 2002. – № 3. – С. 40-44.
134. Черных Л.Ф. Метод расчета нестационарной теплопередачи через наружные ограждающие конструкции с учетом зависимости их теплофизических характеристик от температуры. Дис.канд.тех.наук. – М., 1984. – 134 с.
135. Унікальний природно-кліматичний комплекс КиївЗДІЕП. // Інформаційний бюл. Держбуду України. – № 3. – К., 2001. – 59 с.
136. Шевельов В.Б., Розинський Д.Й., Черних Л.Ф. Теплотехнічні випробування приміщень житлових будинків з ЕКСО ТА в кліматичному комплексі КиївЗНДІЕП. // Будівництво України. – 2003. – № 5. – С.29-33.

137. *Крылов В.И., Шульгина Л.Т.* Справочная книга по численному интегрированию. – М.: Наука, 1966. – 370 с.
138. *Владимиров В.С.* Уравнение математической физики. – М.: Наука, 1971. – 512 с.
139. *Романовский П.И.* Ряды Фурье. Теория поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа. – М.: Наука, 1973. – 336 с.
140. *Табунщиков Ю.А.* Расчеты температурного режима помещения и требуемой мощности для его отопления или охлаждения. – М.: Стройиздат, 1981. – 84 с.
141. *ДБН В.2.6-31:2006.* Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будинків. – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с.
142. *Адиутори Е.Ф.* Новые методы в теплопередаче. – М.: Мир, 1977. – 228 с.
143. *Малявина Е.Г.* Нестационарный тепловой режим вентилируемых и кондиционируемых помещений в летний период года. – М.: Реферат канд.дис., 1977. – 20 с.
144. *Табунщиков Ю.А., Гилос А.Ю., Богословский В.Н., Малявина Е.Г.* Рекомендации по теплотехническому расчету ЭТА системы отопления. // ЛитНИИСИА, НИИСП, МИСИ им. В.В. Куйбышева. – Каунас, 1986. – 27 с.
145. *Малявина Е.Г.* Электрическое аккумуляционное отопление. // Богословская В.Н., Сканава А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – С.592-597.
146. *Расчет и проектирование гражданских конструкций зданий (Справочная помощь к СНиП).* // НИИ строит.физики. – М.: Стройиздат, 1990. – 233 с.
147. *Розинский Д.И., Лопатин С.Я., Розинский М.И.* Електрична кабельна система опалення. (ЕКСО). // Промислова електроенергетика та електротехніка. – К., 1998. – Вип. 3. – С. 12-29.
148. *Круковский П.Г., Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Судак О.Ю., Полубинский А.С.* Числовое моделирование тепловых режимов греющих полов с электрокабельным отоплением (нестационарная постановка). // Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. Сборник научных статей под ред. Д.И. Розинского. – К.: ИТТФ НАН Украины, НПП «Элетер», 2001. – 156 с.
149. *Гиндоян А.Г.* Тепловый режим конструкций полов. – М.: Стройиздат, 1984. – 221 с.
150. *Елагин Б. Т.* Основы теплофизики ограждающих конструкций зданий. – Київ – Донецьк: Вища школа, 1977. – 96 с.
151. *Расчет динамики тепловых полей для систем кабельного обогрева помещений и наружных площадей.* // Материалы ЗАО «Кабельный ДЕ-ВИ обогрев». – М. – АВОК. – С. 40-46.
152. *Борисюк Ю.В., Жданов С.К., Королев Л.В., Мозгрин Д.В., Смирнов В.М., Ходаченко Г.В.* Экспериментальное исследование динамики тепловых полей систем кабельного отопления. // Материалы ЗАО «Кабельный ДЕ-ВИ обогрев». – М. – АВОК. – С. 50-56.
153. *Раб'ян Р.* Системи опалення приміщень в аспекті теплового комфорту та технологічних вимог. // Наука і техніка. – 1997. – С. 5-8.
154. *Сканава А.Н.* Отопление. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.
155. *Пырков А.Н.* Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление. – К., 2004. – 88 с.
156. *Розинський Д.Й., Сенянінов О.С., Громадський Ю.С., Гвозденко Л.А.* Техніко-гігієнічні аспекти впровадження електротеплоаккумуляційного обігріву в Україні. // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2006. – Вип. 2. – С. 33-36.

157. *Розинский Д.И., Мозырский В.И.* Обеспечение электробезопасности в системах распределенного кабельного электрообогрева. // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2001. – Вип. 3. – С.75-83.
158. *Мозирський В.И.* Автоматичне відключення живлення й захисне заземлення в електроустановках будинків (у світлі вимог нових стандартів з електробезпечності). – К.: ДИА, 2001. – 120 с.
159. *Тимчасове положення «Про застосування пристроїв захисного відключення» (ПЗВ).* // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 1998. – Вип. 3. – С. 3-11.
160. *Казанцев Ю., Геворкян В.* Теплый пол. Безопасность: правда и вымыслы. // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 1998. – Вип. 3. – С. 84-86.
161. *Розинський Д.Й.* Електрична кабельна система опалення в теплоакмуляційному режимі для опалення житлових сільськогосподарських будинків. // Будівництво України. – 2002. – № 5. – С. 32-35.
162. *Ратушняк Г.С., Ратушняк О.Г., Тхор Т.В.* Комбінована теплоакмуляційна електрична система опалення. // Патент України № 67492, F24D12/00. Бюл № 6, 2004 р. – 12 с.
163. *Розинський Д.Й., Тимченко М.П.* Електронагрівальна підлога. // Патент України № 78316, F24D13/02. Бюл № 12, 2006 р. – 10 с.

ПРОГРАМА ЕЛЕКТРОТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УКРАЇНИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ

А.1. Короткий зміст програми

Програму електротеплозабезпечення за технологією електротеплоакумуляційного (ЕТА) обігріву (далі Програма) призначено для впровадження енергоефективної технології електрообігріву та гарячого водопостачання в ЖКК і АПК України.

Метою Програми ЕТА-обігріву є:

- забезпечення населення високоякісним, енергоефективним та надійним видом опалення при одночасній економії паливно-енергетичних ресурсів держави шляхом зменшення споживання природного газу як первинного енергоносія, а також створення нового типу споживача-регулятора (СР) ОЕС України;
- зниження питомих витрат у виробництві та використанні енергопродуктів при теплозабезпеченні за рахунок раціонального їх споживання, впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання, раціоналізації структури споживання ПЕР;
- зменшення техногенного навантаження на довкілля;
- підвищення рівня енергетичної безпеки держави.

Мета досягається за рахунок зниження порівняно з системами централізованого опалення (СЦО), капітальних витрат на влаштування системи опалення та визначення фактичної вартості послуг на комфортне панельно-променеве опалення і наступної диференціації оплати послуг на опалення залежно від якості послуг: за традиційне центральне, але не фізіологічне опалення, ціна повинна бути меншою; за панельно-променеве, найбільш комфортне та більше фізіологічне, ціна послуги повинна підвищитися.

Програма ЕТА-обігріву забезпечує оперативне вирішення питання децентралізованого опалення та ГВП в інженерних системах житлових та промислових об'єктів, які будуються або реконструюються, а також у кризових ситуаціях при масових виходах з ладу традиційних систем теплопостачання, у тому числі систем центрального опалення. Одночасно при масовому впровадженні ЕТА-обігріву вирівнюються добові режими навантаження ОЕС України.

Поставлена мета досягається за рахунок використання особливостей електроенергетичного балансу України, який приблизно на 50 % складається з електроенергії, що виробляється на АЕС.

Для визначення соціально-економічних аспектів впровадження електроопалення, а також як одиниця обліку при впровадженні новітніх технологій електротеплоспоживання у ЖКК використовується поняття «домогосподарства»¹.

Об'єкти впровадження розподіляються на три групи.

¹ *Домогосподарство* – сукупність осіб, які спільно проживають в одному житловому приміщенні або його частині, забезпечують себе всім необхідним для життя, ведуть спільне господарство, повністю або частково об'єднують та витрачають кошти (стаття 1 Закону України «Про Всеукраїнський перепис населення»).

Першу групу споживачів акумуляційного електроопалення складають споживачі, що мешкають у будинках аварійного і погіршеного стану, а саме:

- проблемні домогосподарства, будинки, квартири, приміщення адміністративного та соціально-культурного (у тому числі культового) призначення, переважно на околицях міст, у яких відсутнє теплопостачання та ГВП унаслідок віддаленого їх розташування від основних тепломереж чи котельень, будівництво яких є нерентабельним;
- кризові домогосподарства (будинки, квартири, приміщення адміністративного та соціально-культурного (у тому числі культового) призначення, переважно на околицях міста, в яких порушується теплопостачання та ГВП унаслідок їх фізичного зношування або передаварійного стану, коли рівень втрат у теплових мережах наближається до 30 %, або аварійного випадку, коли відновлення чи модернізація тепломережі та інших компонентів систем опалення є економічно недоцільними;
- будинки, в яких на сьогодні понад 25 % домогосподарств уже відключилися від СЦО та самостійно перейшли на індивідуальну систему теплопостачання та будинків, які розміщені на відстані понад 1 км від котельні;
- домогосподарства, будинки, квартири, приміщення адміністративного та соціально-культурного (у тому числі культового) призначення, квартали, навіть міста, які опинилися у кризових ситуаціях у випадках масового виходу з ладу традиційних систем опалення, включаючи будинки перших масових серій, що потребують термінової реконструкції.

Другу групу споживачів акумуляційного електроопалення можуть скласти споживачі, які зацікавлені у впровадженні децентралізованих систем опалення, разом із тим у переході на індивідуальне опалення:

- споживачі всіх малих (з населенням до 50 тис. мешканців) поселень, особливо у сільській місцевості (газифікація яких не передбачається, а обігрів здійснюється з використанням твердого палива) і споживачі на так званих «енергетичних островах», наприклад, у районах поблизу АЕС (відстань до 30 км) та в інших місцях з надлишком електроенергії, у тому числі низької якості (ВЕС, сонячні електростанції тощо);
- окремих кварталів та будинків у середніх (до 300 тис. мешканців) і великих (понад 300 тис. мешканців) містах, де заміна морально та фізично зношених систем опалення та теплових мереж є нерентабельною.

Третю групу споживачів акумуляційного електроопалення складають домогосподарства у житлових та промислових будинках, а також будинки та приміщення адміністративного та соціально-культурного (у тому числі культового) призначення, що будуть побудовані найближчим часом у ЖКК та АПК України.

Обсяги впровадження розглядаються окремо по кожній групі споживачів електроопалення. Обсяги впровадження першої групи визначаються тим фактом, що із загальної кількості (28,597 тис.) сільських населених пунктів природним газом у 2004 р. було забезпечено 9 444 пунктів, або рівень газифікації сільських населених пунктів складав 33 %. Тобто 67 % сільських населених пунктів є потенціальними споживачами акумуляційного електроопалення (табл. А.1).

Таблиця А.1

Благоустрій населених пунктів, житлові умови населення України (2004 р.)

Показник	Місто	Селище міського типу	Сільський населений пункт	У міських поселеннях	У сільській місцевості
Загальна кількість населених пунктів в Україні	455	886	28 597 (100 %)		
Забезпечені природним та скрапленням газом	452	861	26 762 (94 %)		
У тому числі тільки природним газом	407	533	9 444 (33 %)		
Питома вага, %, житлової площі, обладнаної:					
– природним та скрапленням газом				82,0	83,8
– ГВП				59,1	4,7
– центральним опаленням				73,9	22,2
– підлоговим електроопаленням				5,1	0,1
– водопроводом				76,3	19,1

Потенціал упровадження електроопалення залежить від загальної кількості сільського житлового фонду і по областях розподіляється таким чином (табл. А.2).

Таблиця А.2

Загальна площа сільського житлового фонду $F_{\text{сжф}}$, оцінка необхідної встановленої потужності P та енергоспоживання $E_{\text{сжф}}$ для його електроопалення (при рівні охоплення електроопаленням 75 % загальної площі)

Області	$F_{\text{сжф}}$ тис. м ²	P , МВт	$E_{\text{сжф}}$ млн.кВт*год	Області	$F_{\text{сжф}}$ тис. м ²	P , МВт	$E_{\text{сжф}}$ млн.кВт*год
Вінницька	27 555	1 095	3 731	Харківська	13 600	541	1 842
Київська	23 584	937	3 194	Рівненська	13 400	533	1 815
Львівська	22 718	903	3 076	АРК	12 297	489	1 665
Одеська	19 438	773	2 632	Чернівецька	11 898	473	1 611
Івано-Франківська	18 138	721	2 456	Волинська	11 450	455	1 551
Хмельницька	18 025	716	2 441	Запорізька	11 047	439	1 496
Черкаська	17 829	709	2 414	Сумська	10 991	437	1 488
Закарпатська	16 900	672	2 289	Кіровоградська	10 980	436	1 487
Полтавська	16 878	671	2 286	Донецька	10 604	422	1 436
Житомирська	16 226	645	2 197	Херсонська	9 633	383	1 304
Дніпропетровська	14 814	589	2 006	Миколаївська	9 256	368	1 253
Тернопільська	14 516	577	1 966	Луганська	7 883	313	1 067
Чернігівська	14 058	559	1 904	м. Севастополь	306	12	41
				Україна	374 024	14 867	50 649

Уявлення про потенціал упровадження систем у першій та другій групах споживачів електроопалення дають відомості про технічний стан систем теплоснабження у перерахованих вище об'єктах опалення, які потребують переходу на автономні децентралізовані індивідуальні системи опалення з повною заміною теплогенеруючого обладнання. У табл. А.3, А.4 наведено дані про стан систем опалення, їх розподіл по областях та категоріях газового обладнання, яке можливо замінити на електроопалення.

Найбільша кількість газифікованих помешкань знаходиться в Київській області, промислових областях Сходу України. Підвищена кількість квартир у кризових будинках є характерною для західних областей (Івано-Франківська, Тернопільська, Чернівецька, Полтавська, Львівська, Закарпатська, Вінницька). Збільшена кількість обладнання, що потребує заміни, є характерною для двох східних областей України – Дніпропетровської та Донецької.

Таблиця А.3

Технічний стан систем опалення і ГВП (по областях, за даними Мінпаливенерго)

Область (сортування за кількістю газифікованих помешкань; стовпчик 2)	Кількість газифікованих помешкань			Кількість квартир у кризових будинках		Кількість приладів, що потребують заміни		Кількість водонагрівачів (колонок), що потребують заміни	Загальна кількість обладнання, що потребує заміни	Частка по відношенню до всієї України	Загальна кількість обладнання, що потребує заміни
	тис. од.	тис. од.	%	тис. од.	%	тис. од.	тис. од.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Київська	1 361	106	7,8	49	3,6	86	241	6,9	135		
Дніпропетровська	1 238	115	9,3	116	9,4	193	424	12,1	309		
Донецька	1 166	71	6,1	84	7,2	268	423	12,1	352		
Харківська	861	88	10,2	81	9,4	73	242	6,9	154		
Львівська	682	105	15,4	21	3,1	74	200	5,7	95		
Луганська	667	65	9,7	28	4,2	111	204	5,8	139		
Полтавська	553	87	15,7	62	11,2	40	189	5,4	102		
АР Крим	523	36	6,9	11	2,1	113	160	4,6	124		
Запорізька	478	34	7,1	17	3,6	42	93	2,7	59		
Одеська	463	44	9,5	17	3,7	33	94	2,7	50		
Черкаська	342	49	14,3	20	5,8	19	88	2,5	39		
Ів.-Франківська	322	61	18,9	13	4,0	18	92	2,6	31		
Вінницька	316	46	14,6	14	4,4	43	103	3,0	57		
Сумська	314	41	13,1	28	8,9	41	110	3,2	69		
Хмельницька	305	42	13,8	18	5,9	44	104	3,0	62		
Миколаївська	300	35	11,7	16	5,3	46	97	2,8	62		
Житомирська	299	38	12,7	15	5,0	52	105	3,0	67		
Чернігівська	270	38	14,1	29	10,7	29	96	2,7	58		
Тернопільська	246	44	17,9	4	1,6	21	69	2,0	25		
Херсонська	224	24	10,7	12	5,4	21	57	1,6	33		
Закарпатська	210	32	15,2	2	1,0	25	59	1,7	27		
Кіровоградська	208	26	12,5	13	6,3	27	66	1,9	40		
Рівненська	194	26	13,4	10	5,2	27	63	1,8	37		
Волинська	190	26	13,7	10	5,3	30	66	1,9	40		
Чернівецька	155	26	16,8	12	7,7	8	46	1,3	20		
Усього	11 887	1 305	311	702	140	1 484	3 491	100	2 186		

**Розподіл по областях обладнання децентралізованого теплопостачання,
яке можливо замінити системами акумуляційного електроопалення,
за табл. А.3**

Область (сортування за питомою част- кою квартир у кризових будин- ках; стовпчик 4)	Кількість газифікованих помешкань	Кількість квартир у кризо- вих будинках	
	тис. од.	тис. од.	%
1	2	3	4
Ів.- Франківська	322	61	18,9
Тернопільська	246	44	17,9
Чернівецька	155	26	16,8
Полтавська	553	87	15,7
Львівська	682	105	15,4
Закарпатська	210	32	15,2
Вінницька	316	46	14,6
Черкаська	342	49	14,3
Чернігівська	270	38	14,1
Хмельницька	305	42	13,8
Волинська	190	26	13,7
Рівненська	194	26	13,4
Сумська	314	41	13,1
Житомирська	299	38	12,7
Кіровоградська	208	26	12,5
Миколаївська	300	35	11,7
Херсонська	224	24	10,7
Харківська	861	88	10,2
Луганська	667	65	9,7
Одеська	463	44	9,5
Дніпро- петровська	1 238	115	9,3
Київська	1 361	106	7,8
Запорізька	478	34	7,1
АР Крим	523	36	6,9
Донецька	1 166	71	6,1

Область (сортування за загальною кіль- кістю обладнан- ня, що потребує заміни; стовп- чики 5, 6)	Кількість газифікованих помешкань	Кількість квартир у кризових бу- динках		Загальна кількість облад- нання, що потребує заміни	Частка по відношенню до всєї України
	тис. од.	тис. од.	%		
1	2	3	4	5	6
Дніпро- петровська	1 238	115	9,3	424	12,1
Донецька	1 166	71	6,1	423	12,1
Київська	1 361	106	7,8	241	6,9
Харківська	861	88	10,2	242	6,9
Луганська	667	65	9,7	204	5,8
Львівська	682	105	15,4	200	5,7
Полтавська	553	87	15,7	189	5,4
АР Крим	523	36	6,9	160	4,6
Сумська	314	41	13,1	110	3,2
Вінницька	316	46	14,6	103	3,0
Хмельницька	305	42	13,8	104	3,0
Житомирська	299	38	12,7	105	3,0
Миколаївська	300	35	11,7	97	2,8
Запорізька	478	34	7,1	93	2,7
Одеська	463	44	9,5	94	2,7
Чернігівська	270	38	14,1	96	2,7
Ів.-Франківська	322	61	18,9	92	2,6
Черкаська	342	49	14,3	88	2,5
Тернопільська	246	44	17,9	69	2,0
Кіровоградська	208	26	12,5	66	1,9
Волинська	190	26	13,7	66	1,9
Рівненська	194	26	13,4	63	1,8
Закарпатська	210	32	15,2	59	1,7
Херсонська	224	24	10,7	57	1,6
Чернівецька	155	26	16,8	46	1,3
Усього	11 887	1 305	311	3 491	100

За даними проведених теплотехнічних розрахунків та експертиз, терміновій заміні та встановленню нових підлягають (в млн. од.):

квартири у кризових будинках	1,306;
індивідуальні системи опалення, які вичерпали свій ресурс та потребують терміновій заміні	0,702;

водонагрівачі (колонки), які вичерпали свій ресурс та потребують термінової заміни

1,486

Таким чином, загальна кількість обладнання, що потребує заміни, становить 3,491 млн. котлів середньої робочої потужності у 12 кВт кожен. Це переважно котли на газовому паливі. Економія газового палива, яка очікується при повній заміні зазначених котлів на системи електроопалення (при економії річного споживання природного газу на одиницю обладнання 2 тис. м³/рік) оцінюється величиною 3 491 000×2 000≈6,98 млрд. м³/рік. Загальна встановлена потужність електроопалення – 41,9 тис. МВт.

Числове значення третьої групи споживачів акумуляційного електроопалення, яку складають домогосподарства у житлових та промислових будинках, а також будинки та приміщення адміністративного та соціально-культурного (у тому числі культового) призначення, що будуть зведені найближчим часом у ЖКК та АПК України, приблизно оцінюється площею щорічного житлового будівництва в Україні. За статистикою в Україні були досягнуті такі показники житлового будівництва (табл. А.5).

Таблиця А.5

Введення в експлуатацію у 2005 р. загальної площі житлових будинків (встановлена розрахункова питома потужність опалення 53 Вт/м²)

Область	Площа, тис. м ²	Потужність, МВт	Область	Площа, тис. м ²	Потужність, МВт
м. Київ	1001	53,1	Закарпатська	165	8,7
Київська	433	22,9	Рівненська	159	8,4
Львівська	398	21,1	Тернопільська	156	8,3
Одеська	378	20,0	Сумська	152	8,1
Дніпропетровська	373	19,8	Черкаська	146	7,7
Харківська	348	18,4	Житомирська	130	6,9
Донецька	330	17,5	Запорізька	125	6,6
Вінницька	302	16,0	Чернівецька	125	6,6
Івано-Франківська	253	13,4	Херсонська	123	6,5
Хмельницька	243	12,9	Волинська	118	6,3
Луганська	215	11,4	Миколаївська	114	6,0
Полтавська	169	9,0	Чернігівська	105	5,6
АРК	196	10,4	Кіровоградська	94	5,0
			м.Севастополь	82	4,3
			Україна	6433/1359*	340,95

Примітка. *Чисельник – забудовниками усіх форм власності у сільській місцевості.

Індивідуальними забудовниками було введено в експлуатацію 60 % житла або 3864 тис. м². Сьогодні саме *приватні будинки є найбільш чисельною категорією, яка застосовує акумуляційне електроопалення.*

У таблиці А.6 підсумовані оцінки потенціалу впровадження електроопалення (усіх видів) в Україні. Найбільш вагому групу складають будинки аварійного та погіршеного стану в містах. Фактична встановлена потужність електростанцій України у 2005 р. становила 52 000 МВт. Тобто, встановлена потужність діючих ТЕС, АЕС, ГЕС з урахуванням коефіцієнта використання потужностей (0,4) є недостатньою для задоволення повних потреб опалення. Тому необхідно встановити пріоритети та послідовність впровадження акумулюючих систем електроопалення.

**Оцінка обсягів потужності, потрібної
для електроопалення за групами споживачів (2005 рік)**

Групи споживачів та можливості електроенергетики України у 2005 р.	Встановлені потужності, річні споживання* і виробництво електричної енергії		
	МВт	%*	млн. кВт*год
Будинки у сільській місцевості	14 867	26,0	50 649
Будинки аварійного і погіршеного стану у містах	41 900	73,4	
Новобудови, середньорічні обсяги	340,95	0,6	
Усього	57 108	100	
Потужність електростанцій і виробництво електроенергії	52000		185 236

Примітка. Енергоспоживання розраховано за діючими нормативами для 1-ої кліматичної зони (кількість градусо-днів ≥ 3500).

А.2 Механізм упровадження програми

У впровадженні «Програми» зацікавлені усі *три головні сторони-учасники* процесу генерації та споживання електроенергії. *Першу сторону* представляють енергогенеруючі та енергопостачальні компанії; *другу сторону* складають підприємства, які будуть безпосередньо встановлювати нові системи електроопалення на об'єктах *третьої сторони* – індивідуального (населення, домогосподарство) та корпоративного кінцевого споживача енергії. У цілому при досягненні опалювального ефекту внаслідок оптимізації витрат ПЕР на опалення вирає усе суспільство.

Для координації робіт з впровадження «Програми» створюється робоча група при Мінпаливенерго України із залученням представників НКРЕ, НАЕР, енергопостачальних та енергогенеруючих компаній, академічних установ. Для оптимізації процесу впровадження ЕТА-обігріву доцільно цій групі надати форму вертикально структурованої одиниці з певними правовими, майновими, фінансовими, контролюючими або рекомендуваними функціями. Доцільність створення цієї робочої групи впливає з того, що при експлуатації технології ЕТА-обігріву обліку підлягає тільки один вид енергоресурсу – електрична енергія. Таким чином, ЕТА-обігрів є чи не єдиним технологічним процесом, у якому можливо оптимізувати наскрізний потужний потік енергії на всіх етапах його перетворювань: від генерації через розподіл до кінцевого споживання. Зараз, звичайно, електрогенеруючі та енергопостачальні компанії, продаючи електроенергію, не цікавляться напрямками її використання.

Передбачається встановлення у помешканнях сучасних енергозберігаючих індивідуальних систем ЕТА-обігріву на умовах факторингу (наприклад, надання безвідсоткової розстрочки на певний термін) або лізингу. При цьому, згідно з п.8 «Правил користування електричною енергією» (ПКЕЕ) прилади обліку електричної енергії (далі прилади обліку) мають бути придбані, встановлені, підключені енергопостачальником, а їх вартість та вартість послуг з встановлення оплачена:

- для новозбудованих будинків – забудовниками;
- у разі поділу обліку електричної енергії – організаціями, які здійснюють поділ обліку.

За п.12 ПКЕЕ, у разі вибору споживачем іншого виду тарифу на електричну енергію енергопостачальник визначає споживачу технічні умови на встановлення відповідного приладу обліку. При цьому споживач оплачує вартість нового приладу обліку з урахуванням балансової вартості та амортизаційного зносу приладу обліку, який замінюється.

Встановлення у помешканнях сучасних систем ЕТА-обігріву має здійснюватися спеціалізованими підприємствами будь-якої форми власності. Але перевагу слід надати тим підприємствам малого та середнього бізнесу, які:

- вже сьогодні встановлюють опалювальні системи типу «тепла підлога», антикригові та інші системи електрообігріву в різних галузях народного господарства;
- мають сертифікат якості ISO 9001;
- мають такий фінансовий стан, який дозволяє їм надавати свої послуги на умовах факторингу, лізингу або інших сучасних формах розрахунку.

Такі підприємства зараз існують практично у кожному регіоні України.

Також до встановлення сучасних систем ЕТА-обігріву можуть бути залучені й інші підприємства з відповідною технічною та кадровою базами. Наявність сертифікату якості ISO 9001 необхідна, оскільки до вказаних новітніх технологій електротеплозабезпечення висуваються суворі вимоги щодо надійності (системи повинні впроваджуватися зі строком гарантії, як правило, декілька десятків років). У кінцевому результаті якість встановлення систем ЕТА-обігріву повинна значно перевищувати якість послуг опалення, які надає персонал ЖЕКів.

Кожен з основних учасників програми, маючи вигоди, несе значну відповідальність:

1. *Користувачі ЕТА-обігріву* (індивідуальні – населення, домогосподарства та корпоративні кінцеві споживачі енергії):

отримують високоякісні послуги з теплопостачання та гарячого водопостачання; *переконуються* у надійності, зручності, економічності системи; *зобов'язуються* належно та своєчасно здійснювати щомісячні платежі.

2. *Держава*:

отримує значну економію споживання газу та поліпшення стану енергетичної безпеки країни; зменшення соціальної напруги шляхом вирішення першочергових проблем підвищення рівня розрахунків за реалізований газ; можливість перерозподілу обсягів газу на потреби населення та промисловості;

зобов'язується частково взяти на себе витрати з компенсації відсотків по залучених кредитах, забезпечити лізингову форму надання послуг з ЕТА-обігріву.

3. *Виробничі підприємства*, які встановлюють системи ЕТА-обігріву:

отримують прибуток;

зобов'язуються надати лізинг; можливо, взяти на себе витрати з компенсації відсотків по залучених кредитах.

А.3 Етапи і строки реалізації програми

Програма реалізується в три етапи. На *першому* етапі здійснюється дослідна експлуатація у пілотних багатоповерхових будинках або пілотних кварталах будинків з ЕТА-обігрівом. Вже зараз існують сотні одиничних об'єктів типу котеджів, шкіл, на яких діє повномасштабний ЕТА-обігрів. Але відсутній досвід експлуатації сучасних багатоповерхових будинків або комплексів одно-, двоповерхових будинків, які б ство-

ривали суцільну житлову зону. Робити висновки щодо ефективності новітньої технології тільки на основі розрахунків, унаслідок складності і багатофакторності процесу експлуатації, не можна.

Одночасно на першому етапі здійснюється широкомасштабне впровадження ЕТА-обігріву на об'єктах бюджетної сфери (школи, ФАП, культурні заклади тощо), особливо в сільській місцевості, де газифікація не передбачається, а опалення здійснюється котлами на твердому паливі. При цьому широкомасштабне впровадження ЕТА-обігріву на об'єктах бюджетної сфери можна починати вже зараз, оскільки накопичено необхідний позитивний досвід експлуатації об'єктів, які можна вважати пілотними. Тривалість першого етапу становить 3 – 5 років.

На *другому* етапі здійснюється широкомасштабне впровадження ЕТА-обігріву в ЖКК та АПК у межах «нічного провалу» графіка навантажень ОЕС України відповідно до потенціалу кожного регіону. Тривалість другого етапу становить у 5 років.

На *третьому* етапі здійснюється подальше впровадження ЕТА-обігріву в ЖКК як комфортного, більш привабливого, ніж СЦО або інші традиційні види опалення. Можливо, на третьому етапі, після вичерпання потенціалу провальної частини графіка навантаження ОЕС, подальша оплата за спожиту електроенергію буде здійснюватися за звичайними, а не диференційованими за періодами часу (не пільговими), тарифами. Або за таких умов зміняться відповідні тарифні коефіцієнти.

А.4 Першочергові об'єкти і заходи

Першочерговими об'єктами впровадження є *дві групи споживачів*. *Першу* складають об'єкти бюджетної сфери в сільській місцевості, особливо там, де не передбачається її газифікація. До цих об'єктів належать дошкільні навчальні заклади та навчально-виховні комплекси (ясла-садки, дитячі садки); загальноосвітні навчальні заклади (школи, навчально-виховні комплекси, спеціальні школи та школи соціальної реабілітації); професійно-технічні навчальні заклади та вищі навчальні заклади (технікуми, училища, коледжі, інститути); лікарняні і амбулаторно-поліклінічні заклади, фельдшерсько-акушерські пункти; санаторно-курортні та оздоровчі заклади; бібліотеки, заклади культури клубного типу; стадіони, спортивні зали і майданчики, футбольні поля, плавальні басейни, гімнастичні містечка з тренажерним обладнанням, приміщення для фізкультурно-оздоровчих занять тощо. Апробацію технології ЕТА-обігріву проведено на реальних об'єктах, кількість яких зараз нараховує сотні. Результати експлуатації свідчать на користь технологій ЕТА-обігріву. Одержано узгодження з відповідними міністерствами та усіма наглядовими органами та організаціями.

Другу групу першочергових об'єктів впровадження складають будинки аварійного і погіршеного стану у містах.

А.5 Фінансування

Уже сьогодні ЕТА-опалення в якості акумуляційного кабельного електроопалення має розвинену нішу на ринку послуг опалення. Ціна послуги оцінюється у 15–40 у.о./м². Це значення встановлює досить низький, особливо з урахуванням наявності майже

¹ Свого часу впровадження електричних кухонь у багатоповерхових будинках проводилося саме за сценарієм пілотної зони. Лише після отримання позитивного досвіду, його узагальнення, електричні кухні стали звичним, дуже привабливим для населення інженерним обладнанням.

100-відсоткової вітчизняної елементної бази, рівень первинної вартості основних фондів для реалізації ЕТА-обігріву. Термін окупності будівництва становить 1–3 роки при цінах на електроенергію за нічними тарифами.

Цей вид опалення на сьогодні є доступним для середнього класу. Якщо запровадити ряд фінансових механізмів, у тому числі сплату за встановлення обладнання ЕТА-обігріву на умовах надання безвідсоткової кредиту терміном на 3 – 5 років або інших форм кредиту, то електроопалення може стати «народним» видом опалення¹. При цьому, внаслідок високого рівня автоматизації платежів, буде встановлено авансову форму оплати за спожиту електроенергію, яка гарантує високу надійність платежів, є запорукою їх регулярності, повністю вирішує проблему заборгованості.

Сучасним фінансовим механізмом є встановлення електроопалення на умовах лізингу, коли обладнання встановлюється за рахунок виробника вже після першого платежу, а сума, що залишилася, виплачується пізніше у ході експлуатації. Спеціальним договором встановлюються певні первинні платежі, терміни та розміри щомісячної оплати. Після повної оплати право власності переходить до власника об'єкта, який опалюється. Для розвитку фінансового лізингу доцільно створити вертикально структуровану організацію, яка, крім надання послуг із електроопалення, володіла б питаннями гарантування постачання електроенергії, її транспортування, розподілу, обліку спожитої енергії. За рахунок системного підходу з'являється можливість оптимізувати наскрізні витрати на електроопалення.

Таким чином, при впровадженні ЕТА-обігріву значною мірою будуть задіяні механізми самофінансування. Також буде залучено кошти, що передбачаються у державному та місцевому бюджетах на виконання цільових загальнодержавних, галузевих та регіональних програм, спрямованих на забезпечення розробки та впровадження енергозощаджувальних технологій. Прогнозується, що додатковими джерелами фінансування будуть кошти, передбачені в оптових тарифах на електроенергію, позики міжнародних інституцій, кошти фізичних та юридичних осіб-замовників (інвесторів) капітального будівництва, реконструкції, модернізації, відновлення різноманітних об'єктів; дольова участь (через акції) Обленерго, майбутніх споживачів.

А.6 Фактори, які заважають впровадженню ЕТА-обігріву

Є декілька факторів, які заважають широкомасштабному впровадженню акумуляційного електрообігріву. Два з них мають критичне значення.

Першим критичним фактором є стан мереж, особливо у сільській місцевості.

Другим критичним фактором є низький термічний опір зовнішніх огорожень і світлопрозорих отворів більшої частини існуючого житлового фонду. Цей фактор має теплотехнічну природу і, частково, є наслідком старої соціально-економічної концепції щодо зведених витрат на капітальне будівництво та експлуатаційних витрат. На жаль, термічний опір більшості огорожень існуючих будинків є приблизно у чотири рази гіршим за діючі будівельні норми, що і визначає відповідне – багатократне – підвищення енергоємності ЖКК України. Умова відповідності термічного опору діючим нормам теплоізоляції є обов'язковою умовою розвитку електроопалення.

Серед інших факторів, що заважають широкомасштабному впровадженню акумуляційного опалення, варто назвати непорядкованість гнучких, диференційованих за

¹ Власне кажучи, воно так і є де-факто: у міжсезонні часи, коли центральне опалення ще не працює, користування нелегітимним електроприладами прямої дії є невід'ємною рисою поведінки нашого населення.

періодами часу, тарифів на електроенергію, орієнтованих на впровадження акумуляційного електроопалення. Також є кілька факторів соціально-психологічного характеру: упереджене ставлення до електроопалення, що є наслідком старої доринкової економіки, а також неінформованість потенційних користувачів відносно властивостей технологій сучасного електрообігріву та можливостей їх влаштування.

А.7 Фактори, які повинні сприяти впровадженню ЕТА-обігріву

Відокремлення акумуляційного електроопалення від інших видів споживання електричної енергії, для яких здійснюється диференційований облік спожитої електроенергії:

- здійснення розрахунку за спожиту електроенергію для акумуляційного електроопалення за обґрунтованими, диференційованими за періодами часу тарифами;
- гарантії на стабільність тарифів на електроопалення не менш, ніж на 5 років для новобудов;
- здійснення пілотного проекту будівництва дослідного об'єкта з впровадженою технологією акумуляційного електроопалення, із проведенням енергетичного аудиту з метою апробації та визначення параметрів та технічно-економічних показників, передбачених проектом.

А.8 Умови впровадження програми

Нормативні питання. Базу нормативних документів з ЕТА-обігріву та його технології складають «Строительные нормы и правила» (СНиП), Державні санітарні правила і норми, Державні будівельні норми (ДБН), у тому числі:

- ДБН В.2.5-23-2003 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення»;
- ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення»;
- ДБН В.2.6-31-2006 «Теплова ізоляція будівель»;
- СНиП 2.04.05-91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
- СНиП 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних вимірювань».

Найбільш важливим для ЕТА-технології є спеціально розроблений ДБН В.2.5-24-2003 «Електрична кабельна система опалення». Вони регламентують порядок розробки, теплотехнічних розрахунків, монтажу та експлуатації устаткування для здійснення ЕКСО ЕТА-технології. При цьому були узгоджені усі необхідні питання з МОЗ України, Мінпаливноенерго, МВС, Держнаглядохоронпраці, Держкоменергозбереження та ін.

Технічна база ЕТА-обігріву. Технічну базу на сьогодні утворюють комплектуючі повністю вітчизняного виробництва. Її складають:

- нагрівальні кабелі різних типів та параметрів, секції з нагрівального кабелю;
- різноманітні електричні теплоакумуляційні виробни, а також теплоакумуляційні печі потужністю 1 – 5 кВт;
- засоби автоматики, у тому числі різноманітні терморегулятори;
- засоби багатозонного обліку спожитої електроенергії (аж до лічильників з передплатою) з дистанційною передачею показників.

Основні критерії відбору обладнання: показники енергозбереження; цінова політика; надійність, нормативно-технічні показники; ергономічність, екологічність та безпека для споживачів.

Формування планів проведення робіт. Розробці планів щодо встановлення індивідуальних систем опалення має передувати проведення енергомоніторингу відповідного регіону. Потім, враховуючи отриману в результаті енергомоніторингу інформацію з регіону, визначення критеріїв децентралізації та оптимізації різних систем теплопостачання, складаються робочі плани з установами індивідуальних систем опалення у певному регіоні.

Правове регулювання регіонального розвитку програми. Укладання підпрограм, угод (договорів) про співпрацю з обласними та районними держадміністраціями, в яких останні зобов'язуються сприяти реалізації програми.

Кадрове забезпечення програми. Підготовка висококваліфікованого персоналу для реалізації програми, що, в свою чергу, дасть можливість швидко, якісно та інженерно обґрунтовано встановлювати системи опалення.

Створення спеціалізованих виробничих підприємств для впровадження систем ЕТА-обігріву на базі існуючих підприємств, що надають послуги з встановлення систем опалення типу «тепла підлога», антикригових систем. Створення територіальних сервісних центрів з гарантійного та післягарантійного обслуговування систем опалення та надання консультацій з технології проведення робіт.

Зв'язок із державними програмами. Обговорення основних положень та ідей Програми. Дану програму розроблено у рамках «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» та виконання розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 вересня 2006 р. № 502-р «Про переведення населених пунктів на опалення електроенергією».

Ідея Програми стала головною темою Круглого столу «Забезпечення енергобезпеки України електротеплоакумуляційним опаленням будівель», проведеним 29.10.2002. Українським інститутом досліджень навколишнього середовища і ресурсів Ради національної безпеки і оборони України. Протягом 1996-2006 рр. основні положення та матеріали Програми висвітлювалися на численних міжнародних науково-технічних конференціях, опубліковані майже у 50 працях, а результати робіт експонувалися на численних міжнародних виставках.

А.9 Інші показники та соціальні аспекти програми ЕТА-обігріву

Повернення коштів від населення буде забезпечуватися шляхом щомісячної сплати рівними частинами вартості встановлених систем опалення.

Програма ЕТА-обігріву є одним із кроків назустріч людям не лише з точки зору економічних чинників, а й соціально-психологічних. У програмі чітко розмежовано роль держави та роль громадянина, останній є її активним учасником.

Держава пропонує дієвий, швидкий та дешевий механізм вирішення проблеми неякісного надання комунальних послуг та зменшення їх вартості шляхом встановлення систем індивідуального опалення, після чого якість цих послуг буде залежати тільки від громадянина: від його здатності вчасно їх оплачувати та зберегти обладнання у належному стані. Програма створює враження цілісності держави і пересічного українця, суттєво підвищуючи при цьому роль останнього, рівень його свідомості та відповідальності.

Програма створює сприятливі умови для утворення громади, формування громадянського суспільства та національної ідеї.

Завдяки програмі держава і громадянин стають повноправними партнерами: держава кредитує споживача, бере на себе всі зобов'язання перед банківськими установами, а споживач натомість отримує у власність нове сучасне обладнання, гарантоване тепло, зменшення вартості послуг та цивілізовані умови побуту і з цього моменту

самостійно несе відповідальність за недбале використання обладнання та неощадливе споживання енергоносіїв.

У процесі реалізації програми забезпечується вирішення низки соціально-економічних питань:

- питання впровадження заходів щодо енергозбереження;
- зменшення вартості комунальних послуг;
- створення нових робочих місць (команди ефективних менеджерів та бригад монтажників – загалом близько кількох десятків тисяч робочих місць);
- вітчизняні підприємства з виробництва нагрівальної техніки, засобів автоматизації та їх монтажу одержать додаткові замовлення;
- вивільнення коштів місцевих бюджетів за рахунок економії на ремонтах безнадійно зруйнованих теплотрас;
- забезпечення енергетичної безпеки держави.

Населення отримає екологічний і комфортний вид опалення, який зручно регулюється і піддається повній автоматизації та контролю. Облік та контроль споживання енергії буде здійснюватися поквартирно і за індивідуальними планами. Надання послуг з опалення можливо здійснювати на умовах передоплати. При цьому загальна потужність об'єктів, що використовують ЕТА-технології, не повинна перевищувати середню робочу потужність нових енергоблоків АЕС.

Контрольна величина частини електроопалення у балансі теплоспоживання України через п'ять років (до 2012 р.) оцінюється не менше ніж у 10 – 15 %.

Приклад вибору параметрів за технологією електрообігріву прямої дії

Вихідні дані

Нагрівальна секція укладається в підлогу приміщення площею $16,0 \text{ м}^2$, яке розташоване на першому поверсі будинку. Ескіз плану підлоги з укладеною нагрівальною секцією зображений на рис. Б.1. Розріз підлоги з укладеною нагрівальною секцією зображено на рис. Б.2.

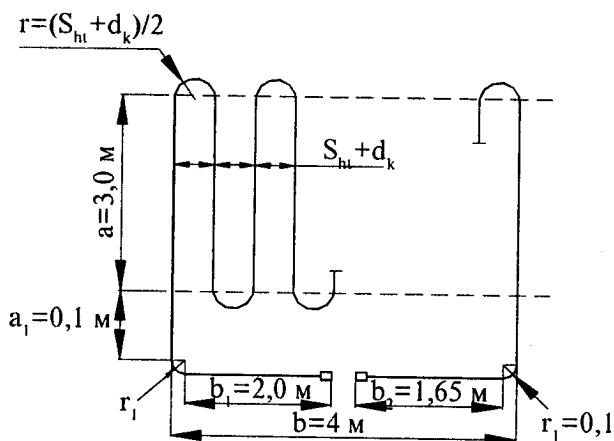


Рис. Б.1. Ескіз плану укладання нагрівальної секції в підлозі

(S_{ht} – крок укладання нагрівального кабелю; d_k – діаметр нагрівального кабелю)

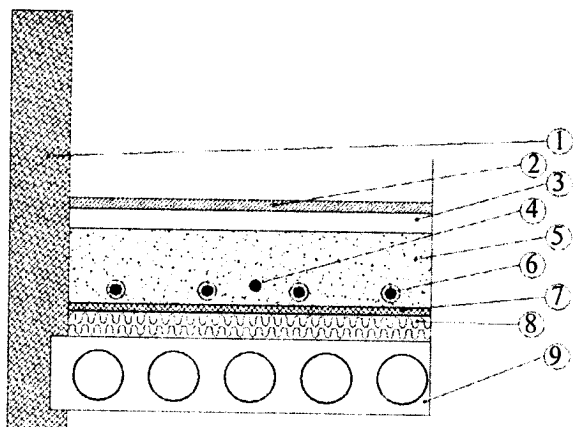


Рис. Б.2. Приклад розрізу підлоги з укладеною нагрівальною секцією:
 1 – стіна; 2 – лицьове покриття;
 3 – підоснова; 4 – датчик температури; 5 – стяжка;
 6 – нагрівальний кабель;
 7 – монтажна стрічка;
 8 – теплоізоляція; 9 – плита міжповерхового перекриття;
 10 – крайова теплоізоляція

Шари, розташовані вище нагрівального кабелю:

цементно-піщана стяжка:

– товщина $m_{si,1} = 0,03 \text{ м}$;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{si,1} = 0,93 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$;

клеюча мастика:

– товщина $m_{si,2} = 0,001$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{si,2} = 0,17$ Вт/(м·°С);

підоснова:

– товщина $m_{si,3} = 0,003$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{si,3} = 0,047$ Вт/(м·°С);

лицьове покриття:

– товщина $m_{si,4} = 0,003$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{si,4}$.

Шари, розташовані нижче нагрівального кабелю:

цементно-піщана стяжка:

– товщина $m_{se,1} = 0,01$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{se,1} = 0,93$ Вт/(м·°С);

теплоізоляція:

– товщина $m_{se,2} = 0,05$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{se,2} = 0,041$ Вт/(м·°С);

плита міжповерхового перекриття:

– товщина $m_{se,3} = 0,25$ м;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{se,3} = 1,74$ Вт/(м·°С).

Розрахункова втрата теплоти приміщенням $Q_{ht}^v = 1170$ Вт.

Порядок розрахунків

Визначимо загальний термічний опір шарів підлоги, що розташовані вище від нагрівального кабелю

$$R_{si} = m_{si,1}/\lambda_{si,1} + m_{si,2}/\lambda_{si,2} + m_{si,3}/\lambda_{si,3} + m_{si,4}/\lambda_{si,4} + 1/\alpha_{si} = \\ = 0,03/0,93 + 0,001/0,17 + 0,003/0,047 + 0,002/0,33 + 1/9,9 = 0,212 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт.}$$

Визначимо загальний термічний опір шарів підлоги, що розташовані нижче від нагрівального кабелю

$$R_{se} = m_{se,1}/\lambda_{se,1} + m_{se,2}/\lambda_{se,2} + m_{se,3}/\lambda_{se,3} + 1/\alpha_{se} = \\ = 0,01/0,93 + 0,05/0,041 + 0,25/1,74 + 1/23,26 = 1,418 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт.}$$

Визначимо теплову потужність нагрівальної секції

$$Q_{ht}^{req} = Q_{ht}^v \cdot (R_{si} + R_{se})/R_{se} = 1170 \cdot (0,212 + 1,418)/1,418 = 1345 \text{ Вт.}$$

Визначимо електричну потужність нагрівальної секції

$$P_{ht}^{req} = k_z \cdot Q_{ht}^{req} = 1,3 \cdot 1345 = 1748 \text{ Вт.}$$

Довжину нагрівального кабелю визначаємо

$$L_k = P_{ht}^{req}/P_n = 1748/18 = 97 \text{ м.}$$

Вибираємо нагрівальну секцію потужністю $P_{ht}^{reg} = 1900$ Вт підприємства-виробника з такими параметрами: довжина нагрівального кабелю $L_k = 105$ м, зовніш-

ній діаметр кабелю $d_k = 0,008$ м, допустима кратність радіуса внутрішньої кривої вигину нагрівального кабелю до зовнішнього діаметра $K_{r,d} = 6$.

Крок укладання кабелю визначаємо згідно з формулою

$$S_{ht} = \frac{F_{ht} \cdot 100}{L_k} = \frac{16,0 \cdot 100}{105} = 0,15 \text{ м}$$

Перевірку на допустиму кратність радіуса внутрішньої кривої вигину нагрівального кабелю виконуємо за співвідношенням

$$K_r = S_{ht} / 2 \cdot d_k = 0,15 / 2 \cdot 0,008 = 9,4.$$

$$K_r = 9,4 > K_{r,d} = 6.$$

Приклад вибору параметрів за технологією електротеплоакумуляційного обігріву

Вихідні дані

Будинок розміщений у Києві. Приміщення розташоване на 12-му поверсі та є торцевою житловою секцією з однією зовнішньою стіною, з вікном і трьома внутрішніми перегородками.

Таблиця В.1

Геометричні розміри приміщення і вікон

Найменування об'єкта	Індекс	Ширина, $b_{\text{індекс}}, \text{м}$	Довжина, $a_{\text{індекс}}, \text{м}$	Висота, $h_{\text{індекс}}, \text{м}$	Площа, $F_{\text{індекс}}, \text{м}^2$
Приміщення	SI	3	4	3	12
Вікно	F	1,35	2	1,5	2

Допустима амплітуда добових коливань внутрішнього повітря у приміщенні $A_{\text{ht}} = \pm 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$;

розрахункова температура зовнішнього повітря $t_{\text{se}} = -22 \text{ } ^\circ\text{C}$;

середня температура опалювального періоду $t_{\text{se}}^{\text{v}} = -1,1 \text{ } ^\circ\text{C}$;

середня температура внутрішнього повітря приміщення $t^{\text{v}} = \pm 18 \text{ } ^\circ\text{C}$;

середня нормована температура поверхні підлоги за час використання приміщення $\tau^{\text{v}} = +28 \text{ } ^\circ\text{C}$;

контрольний показник питомого теплового потоку $q_{\text{h.n}}^* = 57 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

коефіцієнти тепловіддачі:

– внутрішніх поверхонь стін, підлог $\alpha_{\text{si}} = 9,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

– зовнішніх поверхонь $\alpha_{\text{se}} = 23,26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

нормативне значення опору теплопередачі вікон $R_{\text{f}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

тривалість пільгового часу $z_{\text{b}} = 7$ годин;

коефіцієнт циклічності $k_{\text{b}} = 7/24 = 0,292$.

Розглянемо два варіанти виконання огорожувальних конструкцій будинку.

Перший варіант. Зовнішні стіни споруджують із цегли (2,5 цеглини) й облицьовують із зовнішньої сторони керамічною плиткою та штукатуркою всередині. Внутрішні перегородки споруджують із цегли.

Другий варіант. Із фасадної частини споруджують утеплення у вигляді спеціальної конструкції з повітряним прошарком і зовнішнім утеплювачем. Застосовують поквартирні теплоутилізатори з електроventильатором, що використовуються для нагріву потоку повітря, а тепло рециркуляційного повітря дозволяє зменшити втрати тепла на 30–50 %.

Порядок розрахунків

У табл. В.2 наведено розрахунки втрат теплоти за першим та другим варіантами при $t_{se} = -22^\circ\text{C}$, виконані згідно з додатком 12* до СНіП 2.04.05-01, та перевірка вимоги щодо неперевикнення контрольних показників питомого потоку тепла, яку визначають за додатком 25 до СНіП 2.04.05-91*У.

Таблиця В.2

Розрахунки втрат тепла

Складові розрахунків		Позначення	Числове значення за варіантом, Вт		Розрахункова формула
			1-й	2-й	
Тепловтрати, Вт	крізь стіни	Q_{si}	206,1	75,8	$Q_{si} = \frac{(h_{se} \cdot b_{se} - F_{se}) \cdot (t_{si}^y - t_{se})}{(1/\alpha_{si} + R_F + 1/\alpha_{se})}$
	крізь вікна	Q_F	121,5	121,5	$Q_F = \frac{F_{se} \cdot (t^y - t_{se})}{(1/\alpha_{si} + R_F + 1/\alpha_{se})}$
	крізь стіни і вікна	$Q_{si} + Q_F$	449,3	319,0	-
	на вентиляцію	Q_v	485,3	242,6	$Q_v = 0,337 \cdot b_v \cdot a_v \cdot h_v \cdot (t^v - t_{se})$
	крізь стіни, вікна і вентиляцію	Q_{ht}	813,1	440,1	$Q_{ht} = Q_{si} + Q_F + Q_v$
Розрахунковий питомий потік теплоти, $\text{Вт}/\text{м}^2$		q_h^{req}	67,8	36,7	$q_h^{req} = Q_{ht}^v / F_{ht}$
Перевірка на вимогу неперевикнення контрольних показників питомого потоку тепла, $\text{Вт}/\text{м}^2$		$q_{h.n}^* \geq q_h^{req}$	57 < 67,8	57 > 36,7	$q_{h.n}^* \geq q_h^{req}$

Висновки за енергоефективністю варіантів:

- 1-й варіант не відповідає контрольним показникам;
- 2-й варіант відповідає контрольним показникам.

Для подальшого розгляду беремо другий варіант.

Визначаємо допустимий питомий потік тепла від підлоги

$$q_h^{max} = \alpha_{si} \cdot (t^v - t^v) = 9,9 \cdot (28 - 18) = 99 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

що забезпечує опалення приміщення

$$q_{h.n}^* = 46,8 < q_h^{max} = 99 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Мінімальний потік тепла від підлоги площиною 12 м^2

$$Q^{max} = q_h^{max} \cdot F = 99 \cdot 12 = 1188 \text{ Вт}.$$

Потік тепла, необхідний для компенсації витрат тепла за час розрахункового періоду роботи ЕКСО ТА:

$$Q_{ht}^{req} = \frac{Q_{ht}^v \cdot 24}{z_b} = \frac{440,1 \cdot 24}{7} = 1508,6 \text{ Вт},$$

де $z_b=7$ – період накопичення тепла в акумуляційному шарі.

Потужність теплоти додаткових джерел тепла (догрівачів).

$$Q_{htc}^{req} = \Delta Q = Q_{ht}^{req} - Q_h^{max} = 1508,6 - 1188,0 = 320,6 \text{ Вт} .$$

Розрахункова електрична потужність ЕКСО ТА

$$P_{ht}^{req} = 1,3 \cdot 1508,6 = 1961,2 \text{ Вт} .$$

Розрахункова електрична потужність догрівачів

$$P_{htc}^{req} = 1,3 \cdot 320,6 = 416,8 \text{ Вт} .$$

Визначимо розрахункову амплітуду коливань повітря у приміщенні.

Для зовнішніх стін шар різких коливань температури, що визначається виконанням умови «теплова інерція $D=1$ », встановлюється у двох перших шарах, тобто його межа знаходиться у другому шарі, і коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні зовнішніх стін розраховуємо у табл. В.3.

Таблиця В.3

Зовнішні стіни загальною площею 5 м^2

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини						Формула	
		$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$	$s, \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{С)}$	$R, (\text{м}^2\text{}^\circ\text{С)/Вт}$	$D_i = \frac{\sum D_i}{R_i \cdot s_i}$ (у порядку зростання)	$Y_i, \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{С)}$		
1	Штукатурка	0,015	0,76	11,09	0,02	0,22	0,22	10,46	$Y_i = \frac{R_i s_1^2 + s_2}{(1 + R_i s_2)}$
2	Цегла (2,5 цеглини)	0,65	0,81	10,12	0,802	8,121	8,34		
3	Повітряний шар	0,0075	0,03	0	0,25	0			
4	Пінополістирол (ППС)	0,065	0,041	0,82	1,59	1,3			
5	Плитка керамічна	0,007	0,81	9,86	0,009	0,09	8,425		
	Усього	0,75			2,5				

Усередині внутрішніх перегородок (симетричних огорож) беремо $s=0$. Тоді визначаємо коефіцієнти теплосасвоєння зовнішньої поверхні внутрішніх перегородок (табл. В.4).

Для вікон теплосасвоєння приблизно дорівнює нулю, а величину коефіцієнта теплопоглинання слід визначати за формулою:

$$V_F = 1/(1,08 \cdot R_F) = 1/(1,08 \cdot 0,5) = 1,85 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{С)}.$$

При розрахунках підлоги і стелі принциповим є те, що ці огорожі несиметричної конструкції і серединою вважається половина теплової інерції $0,5D$ усієї огорожі ($s=0$).

Для подальших розрахунків беремо товщину акумуляційного шару $m_b = 0,1 \text{ м}$.

Визначаємо коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні підлоги як міжповерхового покриття.

Перегородки загальною площею 33 м²

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини							Формула
		$\delta, \text{м}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	$s, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$	$R, (\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$D_i = \frac{\sum D_i}{R_i \cdot s_i}$ (у порядку зростання)	$Y_2, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$		
1	Штукатурка	0,02	0,76	11,2	0,03	0,33	0,33	13,48	$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{(1 + R_1 s_2)}$
2	Цегла (0,5 цеглини)	0,13	0,81	10,12	0,16	1,62	1,95	16,39	$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + s_{2u}}{(1 + R_2 s_{2u})}$
2а	Умовна середина міжповерхового перекриття	0		0		0			
3	Штукатурка	0,02	0,76	11,1	0,03	0,33	2,28		
	Усього				0,22				

Результати допоміжних розрахунків наведено у табл. В.5.

Підлога як міжповерхове перекриття загальною площею 12 м²
(проміжні розрахунки)

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини					Формула	
		$\delta, \text{м}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	$s, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$	$R, (\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$D_i = \frac{\sum D_i}{R_i \cdot s_i}$ (у порядку зростання)		
1	Лицьовий шар ковrolіну			0,33	7,52	0,006	0,045	0,045
2	Підоснова	0,004	0,047	0,92	0,085	0,078	0,123	
3	Клеюча мастика	0,001	0,17	4,56	0,006	0,027	0,15	
4	Акумуляційний шар	0,1	1,74	11,09	0,058	0,64	0,79	
5	Стяжка (цементно-піщана)	0,03	0,93	11,09	0,032	0,35	1,14	
6	ППС	0,03	0,041	0,82	0,73	0,60	1,74	
7	Плита перекриття	0,14	1,74	16,77	0,08	1,35	3,09	

Оскільки половина суми величин теплових інерцій міжповерхового перекриття дорівнює $0,5D = 0,5 \cdot 3,08 = 1,54$, то умовна середина перекриття ($s = 0$) знаходиться у шарі ППС. Ця умовна середина перекриття віддалена від межі акумуляційного шару і теплоізоляційного (ППС) на величину $D = 1,54 - 1,14 = 0,40$ з термічним опором $R = 0,4/0,82 = 0,49$ (м²·°C)/Вт, тобто на відстань $\delta = 0,49 \cdot 0,04 = 0,02$ м (табл. В.6, п.6а).

Коефіцієнти теплосвоєння підлоги як міжповерхового (внутрішнього) перекриття з урахуванням $s = 0$ в умовній середині перекриття наведено у табл. В.6.

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні стелі як міжповерхового перекриття потрібно розраховувати аналогічно. При цьому порядок шарів зворотній: внутрішній шар стелі відтворює зовнішню поверхню плити перекриття.

Визначаємо положення шарів різких коливань температури у стелі.

Розраховуємо показники теплової інерції за формулою $D = R_1s_1 + R_2s_2 + \dots + R_n s_n$, починаючи з зовнішнього шару, доки сума показників теплової інерції не стане більшою від одиниці. Хід розрахунку відбито у табл. В.7.

Таблиця В.6

Підлога як міжповерхове перекриття загальною площею 12 м^2
(остаточні розрахунки)

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини							Формула
		$\delta, \text{ м}$	$\lambda_r, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$s_i, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	$R_i, \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$	$D_i = \sum D_i = \sum R_i \cdot s_i$ (у порядку зростання)	$Y_i, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$		
1	Лицьовий шар ковроліну	0,002	0,33	7,52	0,006	0,045	0,045	5,34	$Y_1 = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2)$
2	Підоснова	0,004	0,047	0,92	0,085	0,078	0,125	5,17	$Y_2 = (R_2 s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2 Y_3)$
3	Клеюча мастика	0,001	0,17	4,56	0,006	0,027	0,15	8,76	$Y_3 = (R_3 s_3^2 + Y_4) / (1 + R_3 Y_4)$
4	Акумуляційний шар	0,1	1,74	11,09	0,058	0,64	0,79	9,11	$Y_4 = (R_4 s_4^2 + Y_5) / (1 + R_4 Y_5)$
5	Стяжка (цементно-піщана)	0,03	0,93	11,09	0,032	0,35	1,14	4,20	$Y_5 = (R_5 s_5^2 + Y_6) / (1 + R_5 Y_6)$
6а	ППС (шар 1)	0,020	0,041	0,82	0,49	0,40	1,54	0,33	$Y_6 = (R_6 s_6^2 + s_{66}) / (1 + R_6 s_{66})$
6б	Умовна середина міжповерхового перекриття	0		0		0	0		
6в	ППС (шар 2)	0,010	0,041	0,82	0,24	0,20	1,74		
7	Плита перекриття	0,14	1,74	16,77	0,08	1,35	3,08		

Оскільки половина суми величин теплових інерцій міжповерхового перекриття дорівнює $0,5 \cdot D = 3,09 \cdot 0,5 = 1,54$, то умовна середина перекриття ($s = 0$) знаходиться у шарі теплоізоляції (ППС). Ця умовна середина перекриття віддалена від межі плити перекриття і теплоізоляційного шару на величину $D = 1,35 - 1,54 = 0,19$ з термічним опором $R = 0,19 / 0,82 = 0,23 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$, тобто на відстань $\delta = 0,23 \cdot 0,04 = 0,009 \text{ м}$ (табл. В.8, п. 2а).

Коефіцієнт теплосасвоєння стелі як міжповерхового (внутрішнього) перекриття з урахуванням $s = 0$ наведено у табл. В.8.

Таблиця В.7

Стеля як міжповерхове перекриття загальною площею 12 м²
(проміжні розрахунки)

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини					Формула
		$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$	$s, \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{С)}$	$R_i, \text{ (м}^2\text{}^\circ\text{С)/Вт}$	$D_i = R_i \cdot s_i$	
1	Плита перекриття	0,14	1,74	16,77	0,08	1,35	$\sum D_i = \sum R_i \cdot s_i$ (у порядку зростання)
2	ППС	0,03	0,041	0,82	0,73	0,60	1,95
3	Стяжка (цементно-піщана)	0,03	0,93	11,09	0,032	0,35	2,32
4	Акумуляційний шар	0,1	1,74	11,09	0,058	0,64	2,94
5	Клеюча мастика	0,001	0,17	4,56	0,006	0,027	2,97
6	Підоснова	0,004	0,047	0,92	0,085	0,078	3,05
7	Лицьовий шар ковроліну	0,002	0,33	7,52	0,006	0,045	3,09

Таблиця В.8

Стеля або підлога міжповерхового перекриття загальною площею 12 м²

№ п/п	Матеріал шару	Розрахункові величини						Формула	
		$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}^\circ\text{К)}$	$s, \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{К)}$	$R_i, \text{ (м}^2\text{}^\circ\text{К)/Вт}$	$D_i = \sum D_i = \sum R_i \cdot s_i$ (у порядку зростання)	$Y_i, \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{К)}$		
1	Лицьовий шар ковроліну	0,14	1,74	16,77	0,08	1,35	1,35	21,88	$Y_1 = (R_1 s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 Y_2)$
2а	ППС (шар 1)	0,009	0,041	0,82	0,22	0,18	1,54	0,82	$Y_2 = (R_{2a} s_{2a}^2 + s_{26}) / (1 + R_2 s_{26})$
26	Умовна середина міжповерхового перекриття	0		0			0		
2в	ППС (шар 2)	0,021	0,041	0,82	0,51	0,42	3,04		

Виконаємо розрахунок суми добутків коефіцієнтів теплопоглинання поверхні кожної i -ї огорожі на її площу. Коефіцієнт теплопоглинання B_i визначаємо за формулою

$$B_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{bi}} + \frac{1}{Y_{bi}}}. \text{ Одержані дані наведено у табл. В.9.}$$

Розрахунок складових $\Sigma F_i \cdot B_i$

№ п/п	Елементи огорожувальної конструкції	Y_i , Вт/(м ² ·°С)	B_i , Вт/(м ² ·°С)	F_i , м ²	$F_i \cdot B_i$, Вт/°С
1	Зовнішні стіни	10,46	5,10	7	35,5
2	Перегородки	13,48	4,48	33	147,84
3	Вікна		1,85	2	3,7
4	Підлога	5,34	2,88	12	34,56
5	Стеля	21,88	6,22	12	74,64
				$\Sigma F_i \cdot B_i = 296,24$	

Коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі теплоакмуляційної підлоги як опалювального приладу, слід визначати (рис. В.1), виходячи із взятої товщини акумулюючого шару $\delta = 0,1$ м і значення $k_b = 7/24 = 0,292$ (на рисунку позначено стрілкою). Тоді коефіцієнт нерівномірності віддачі теплоти гріючою підлогою дорівнює $M = 1,3$.

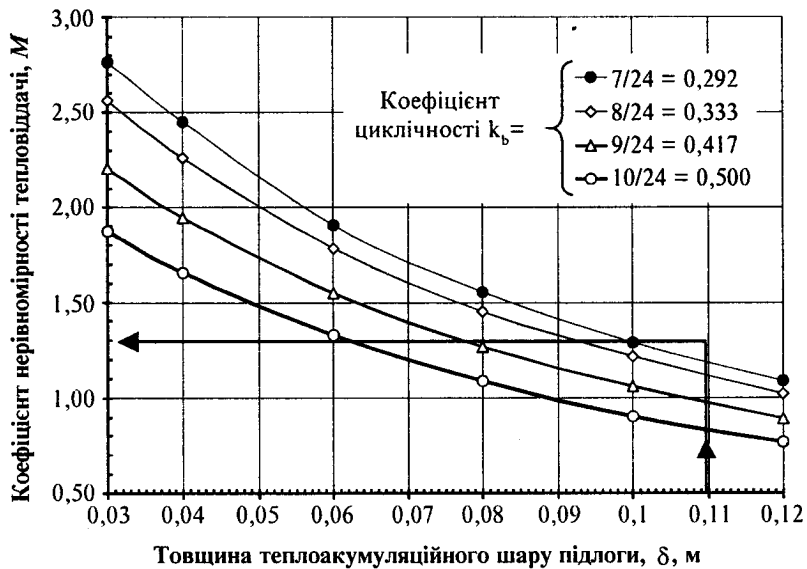


Рис. В.1. Залежність коефіцієнта нерівномірності M від товщини теплоакмуляційного шару підлоги для різних коефіцієнтів циклічності k_b

Розрахункову амплітуду коливань температури внутрішнього повітря у приміщенні визначаємо за формулою:

$$A_{ht}^{req} = (0,7 \cdot M \cdot Q_{ht}^v) / (\Sigma F_i \cdot B_i) = (0,7 \cdot 1,3 \cdot 440,1) / 296,24 = \pm 1,4 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Одержана величина менша, ніж санітарно-гігієнічна вимога, що вказана у ДБН В.2.5-24-2003

$$A_{ht}^{req} = 1,4 < A_{ht} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким чином, приміщення за другим варіантом відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

А В Т О Р Ы
к.т.н. Д.Й. РОЗИНСКИЙ, В.Д. ИОРГАЧОВ, С.Я. МЕЖЕННЫЙ,
к.с.н. М.М. МЕРКУЛОВ, В.В. ОКСАК, к.т.н. Н.П. ТИМЧЕНКО, к.с.н. С.М. ТИТЕНКО

Відповідальний редактор к.т.н. Д.Й. РОЗИНСКИЙ

Энергосберегающая технология электротеплоаккумуляционного обогрева в жилищно-коммунальном и аграрно-промышленном комплексах Украины. // Розинский Д.Й., Иоргачов В.Д., Меженый С.Я., Меркулов Н.Н., Оксак В.В., Тимченко Н.П., Титенко С.М. – К., 2007. – 272 с.

Рассмотрены актуальность, цель, задания, подходы, исходные положения и требования к разработке технологии электротеплоаккумуляционного (ЭТА) обогрева в ЖКК и АПК Украины. Исследованы основные аспекты концептуальных основ развития ЭТА-обогрева в Украине, в том числе особенности электроэнергобаланса, теплообеспечения и энергобезопасности страны. Произведена оценка неравномерности существующего графика суточной нагрузки ОЭС Украины как потенциала внедрения электрообогрева. Особое внимание уделено исследованию теплофизических основ потребителя-регулятора нового типа для ОЭС Украины. Рассмотрено существующую экономическую, нормативную и техническую базы ЭТА-обогрева.

Установлены технические, экономические условия для поэтапного вытеснения природного газа системами бытового электротеплообеспечения за счет уплотнения графиков электрических нагрузок. Внимание сосредоточено на разработке отечественного нагревательного кабеля – ключевого условия широкомасштабного внедрения новой технологии. Разработаны рекомендации и программа внедрения ЭТА-обогрева.

Для электроэнергетиков, архитекторов, проектантов и инженеров систем отопления жилых, общественных и промышленных объектов, работников ЖКК и АПК, преподавателей и студентов соответствующих специальностей.

A U T H O R S
D.J. Rozinsky, PhD, V.D. Iorgachiev, S.Ja. Mezhenyi, PhD, V.V. Oksak,
N.P. Tymchenko, PhD, S.M. Titenko, PhD.

Executive Editor D.J. Rozinsky, PhD.

Energy conservation technology of the storage electroheating at Housing and Communal Services and Agroindustrial Complex of Ukraine. // Rozinsky D.J., Iorgachiev V.D., Mezhenyi S.Ja., Oksak V.V., Tymchenko N.P., Titenko S.M. Kyiv, 2007. – 272 p.

The actuality, purpose, tasks, approaches, initial source information and requirements to development of the storage electroheating (SEH) at housing and communal services (HCS) and Agroindustrial Complex (AIC) of Ukraine are studied in this book. Focal points of the SEH conceptual frameworks in Ukraine, including particular features of the electricity balance, heat supply and power safety in Ukraine are studied. Assessment of the irregularity of existing daily load patterns of the UPGU as the potential for application of electroheating is performed. Particular attention is given to study of thermophysical principles of the new type of controllable load for the united power grid of Ukraine (UPGU). The existing technical and economic, normative and technical bases of the SEH is considered

Fixed are technical and economic terms of gradual replacement of natural gas by the systems of household electrothermal supply due to compaction of the daily electric load patterns.

Attention is concentrated to development of the domestic heating cable being the key condition for the new technology large-scale application. The SEH-road map and recommendations for its application have been developed.

The book is intended for the electric power engineers, architects, planners, engineers of heating systems of housing, public and industrial projects, HCS and AIC workers, professors and students of corresponding speciality.

Автори:

Давід Йосипович Розинський, Вадим Дмитрович Іоргачов,
Сергій Якович Меженний, Микола Миколайович Меркулов,
Валерій Віталійович Оксак, Микола Петрович Тимченко,
Сергій Миколайович Тітенко

ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ

ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО ОБІГРІВУ
В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ТА АГРАРНО-ПРОМИСЛОВОМУ
КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ

Відповідальний редактор
Давід Йосипович Розинський

Стр.	Надруковано	Треба читати
213, 3 строчка знизу	когерер	когерер
215, остання строчка	0,8 кДж/(м ³ ·К)	0,8 кДж/(кг·К)
216, табл. 6.1, 2 стовпчик	масова густина	щільність
216	масова густина	щільність
табл. 6.1, 4 стовпчик	0,8 кДж/(м ³ ·К)	0,8 кДж/(кг·К)
233, висновок 28	Автори підтримують позицію НАЕР щодо... [і далі до слів]...технологічного обладнання.	Автори підтримують позицію НАЕР щодо небажаності переходу на децентралізоване (індивідуальне) газове опалення у випадку наяв- ності... [і далі до слів]...технологічного обладнання.
235, висновок 32	Однею з пріоритетних підгруп групи побуто- вого навантаження є сільське населення, особливо, на ще депресивних територіях, типу населеного пункту Стара Ушиця в Хмель- ницькій області.	Однею з пріоритетних підгруп групи побутового навантаження є сільське населення, особливо, на ще депресивних територіях, типу населеного пункту Стара Ушиця та району старої забудови на околиці міста ядерних енергетиків у Нетишині Хмельницької області.
236, 2 абзац, 3 речення знизу	Зробимо акцент на розробці вітчизняного нагрівального кабелю – ключової умови ши- рокомасштабного впровадження нової техно- логії.	Зроблено акцент на розробці вітчизняного нагрівального кабелю – ключової умови широкомасштабного впровадження нової технології.

Комп'ютерна верстка *Ковинев А. О.*
Художній редактор *Скляр О. С.*
Коректор *Кісельова О. В.*

Видавництво Купріянова О.О.
Свідчення про внесення до державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 315 від 24.01.2007 р.
03142, м. Київ, вул. Кржижанівського, 3
ОКТБ – корп. 5, оф. 140.
Тел.: (044) 502-41-23

Підпис. до друку 11.12.07. Формат 60x84/16
Папір офс. Гарнітура Таймс. Друк офсетний.
Ум.-друк. арк. 20,64. Обл.-внд. арк. 16,78
Наклад 500. Зам. № 025-07