

УДК 697.353:691

В.М. Шахнова, канд. техн. наук.

Генеральний директор КиївЗНДІЕП.

Л.Ф. Черних, д-р. техн. наук.

Керівник випробувального інженерного центру.

М.В. Лозан, інженер II категорії.

М.А. Онопрієнко, інженер II категорії.

ЕЛЕКТРИЧНІ ТЕРМОАКУМУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ

Структура паливно-енергетичного балансу України свідчить про те, що основним видом палива в країні є природний газ, більша частина якого імпортується. Щорічне подорожчання газу для України приводить до необхідності заміщення природного газу альтернативними джерелами енергії. Завдяки тому, що біля половини електричної енергії в Україні виробляється на атомних електростанціях, перспективним для нашої країни є застосування в якості енергоносія для систем опалення і гарячого водопостачання електричної енергії.

Вивчення світового досвіду показує, що в ряді передових країн світу (Німеччина, Швеція та ін.) частка електричного опалення будинків в середньому складає 30...40%, а у Франції, Норвегії досягає 80%. В Україні ж ця частка не перевищує 1%.

Серед різних видів електроопалення перспективним, особливо для України з розвинутою атомною енергетикою, є теплоаккумуляційне, яке ґрунтується на використанні „надлишків” нічної електроенергії. Проблема „надлишків” електроенергії в години „нічних провалів” графіка її витрат ускладнюється особливостями безперервного одержання і практичною неможливістю кількісного регулювання відпуску електроенергії на атомних електростанціях.

Крім того, перспективність застосування теплоаккумуляційного підлогового електроопалення пов'язана з тим, що тільки при підлоговому опаленні створюються комфортні теплові умови для людини, коли температура на рівні ніг складає 26...28°C, а на рівні голови 18...20°C, а також з тим, що в акумулюванні тепла приймає участь не тільки підлога, а й увесь теплоємнісний масив будинку – залізобетонний каркас, стіни, стеля, міжповерхові перекриття, а в висотних будинках ліквідується позональна побудова систем водяного опалення.

Однак, широкое освоєння таких систем пов'язане з необхідністю створення їх теплофізичних основ, що базуються на проведенні недостатньо викладених в літературі поглиблених теоретичних і експериментальних досліджень складних нестационарних процесів теплообміну в опалювальних приміщеннях.

Розглянемо типове конструктивне рішення досліджуваної електродідоги (рис. 1), яка складається з 2-х ярусів: на нижньому розміщені три ізолювані електрокабелі, рівномірно покладені на панель міжповерхового перекриття і покриті шаром важкого бетону на гравії і щебені з гранітного каменю. Для того щоб тепло, що виділяється в електрокабелях, розповсюджувалося переважно в приміщення, під кабелі укладається шар ефективного теплоізолятора та відбиваючий екран. На верхньому ярусі розміщується ще один кабель опалення. Теплова хвиля від нижніх кабелів до внутрішньої поверхні підлоги проходить через теплоакumuлюючий шар бетону товщиною 90 мм зі згасанням по амплітуді і запізненням по фазі. Верхній бетонний шар товщиною 20 мм над додатковим кабелем є менш теплоінерційним. Теплова хвиля, що створюється цим кабелем, з невеликим згасанням і зсувом фази догріває повітря приміщення до комфортної температури.

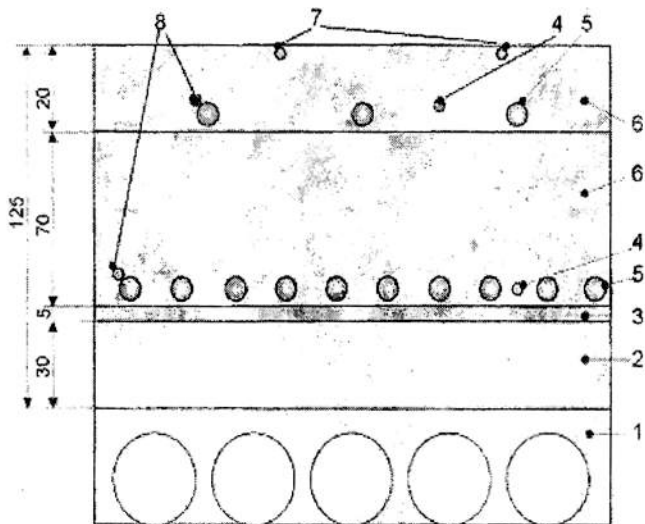


Рис. 1 Схема досліджуваної електродідоги:

- 1—плита міжповерхового перекриття; 2 — теплоізоляція; 3 — відбиваюча ізоляція; 4 — датчик температури бетонного шару; 5 — гріючі кабелі; 6 — теплоакumuлюючий шар; 7,8 — датчики температури поверхні бетонного шару та кабелю

При дослідженні теплообміну приміщень з підлоговою електричною кабельною системою опалення теплоаккумуляційної дії (ЕКСО-ТА) в кліматичному комплексі КиївЗНДІЕП була виконана імітація кімнати житлового будинку. Вибір саме житлового будинку, як об'єкту досліджень, обумовлено тим, що для нього нормовані вимоги до теплового режиму є найбільш жорсткими серед цивільних споруд. В якості розрахункової була прийнята схема приміщення, представлена на рис. 2. Розглядається кутова кімната проміжного поверху багатопверхового будинку, що є гіршою по тепловому захисту в порівнянні з типовим приміщенням, оскільки останнє має одну зовнішню фасадну стіну з вікном, а досліджуване приміщення має до того ж другу зовнішню торцеву глуху стіну. Попередні експериментальні і теоретичні дослідження дозволили визначити основні особливості теплообміну в такому приміщенні в порівнянні із ситуацією, що відповідає традиційному опаленню. Згідно з цими особливостями при математичному моделюванні температурних режимів приміщень з підлоговою ЕКСО-ТА слід враховувати такі фактори:

1) нестаціонарність процесів теплообміну в приміщенні, обумовлену переривчастою подачею електроенергії в опалювальну систему та добовими коливаннями температури повітря зовні будинків;

2) теплоакумулюючу здатність підлогової панелі, яка виконує основну роль в процесі акумуляції тепла в приміщенні;

3) теплоаккумуляцію в період зарядки іншими, крім підлоги, огороженнями та віддачу акумульованого тепла назад в приміщення в період розрядки;

4) промиснисто-конвекційний теплообмін у приміщенні. У випадку традиційного опалення процес передачі тепла від опалювальних приладів до повітря приміщення відбувається в основному конвекцією (радіаційна складова теплообміну не перевищує 10%), а в приміщенні при підлоговому опаленні, крім конвекції, досить істотною (перевищує 50%) виявляється частка тепла, яка передається від підлоги до поверхонь огорожень випромінюванням. Це дозволяє вважати ЕКСО-ТА не конвекційною, а променисто-конвекційною системою опалення зі співвідношенням радіаційної і конвекційної складових теплообміну 50/50%. Дана обставина обумовлює те, що в розрахунках теплового режиму приміщень з електропідлогою необхідно роздільно враховувати променисту та конвекційну складові теплообміну.

Якщо при традиційному опаленні нагріте від радіаторів повітря гріє огорожуючі конструкції, і внутрішні стіни та стеля приймають рівну з ним температуру, то при підлоговому електроопаленні значення температур поверхонь внутрішніх конструкцій перевищують приблизно

на 2°C рівень температури повітря в приміщенні. Тому при застосуванні підлогової системи тепловий режим приміщення визначається не тільки температурою повітря, але і радіаційною температурою, яку необхідно враховувати при відповідних розрахунках;

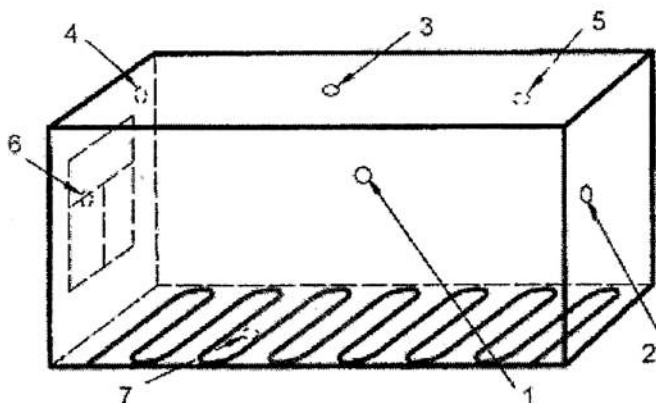


Рис. 2. Розрахункова схема приміщення:

1, 2 – внутрішні стіни; 3 – стеля; 4 – зовнішня фасадна стіна; 5 – зовнішня торцева глуха стіна; 6 – вікно; 7 – електрич підлога

5) залежність від температури коефіцієнтів променистої і конвекційної тепловіддачі на внутрішніх поверхнях огорожень, яка обумовлена різними за величиною значеннями температур цих поверхонь, в результаті чого в розрахунках теплового режиму приміщень при підлоговій ЕКСО-ТА виникають нелінійності.

Зазначені фактори обумовили особливості математичної постановки нестационарної нелінійної задачі визначення теплового стану приміщення з підлоговою ЕКСО-ТА.

Для розв'язку цієї задачі визначення теплового стану приміщення з одношаровими та тришаровими зовнішніми стінами при підлоговій ЕКСО-ТА розроблений аналітично-чисельний метод, який дозволяє лінеаризувати вихідну задачу та застосувати аналітичний метод кінцевих інтегральних перетворень для одношарових та тришарових зовнішніх огорожуючих конструкцій.

На основі теорії теплостійкості акад. Ликова О.В. та розроблених методичних підходів було вирішено такі прикладні задачі: 1) вибір матеріалу теплоакумуючого шару електрич підлоги; 2) визначення необхідної товщини теплоакумуючого бетонного шару підлоги; 3) аналіз методів зниження теплового навантаження підлоги, таких як денне додаткове опалення 3-а нижніми кабелями або одним верхнім.

застосування додаткових „пікових” опалювальних приладів та підігрів припливу вентиляційного повітря.

Експериментальні дослідження проводились в умовах, які максимально наближені до натурних. Для цього в КиївЗНДІЕП, розроблено (А.С. 15010105), виготовлено і змонтовано унікальний дослідний комплекс модульного типу (рис. 3), аналога якому немає в світі. Він дозволяє виконувати дослідження в модулях, які за своїми розмірами співпадають з реальними приміщеннями першого, середнього і верхнього поверхів будинків з фасадним або кутовим розташуванням. Як приклад, наведено результати досліджень кутового приміщення, яке має найбільше навантаження, тобто найбільш жорсткі умови щодо створення комфортного теплового режиму при теплоакumuляційному опаленні. Цей комплекс складається з 3-х відсіків: 1) Г-подібного „холодного” відсіку 1, що імітує зимові кліматичні умови до -50°C в стаціонарному і нестационарному режимах та примикає до 2-х термобарокамер 2 і 4 КТВВ-8000/2 і КТВВ-8000/4, які розташовані під прямим кутом одна до одної; 2) „теплого” відсіку 5, що створює мікроклімат приміщення, з підвалом під ним; 3) операторського відсіку, що дозволяє розмістити вимірювальну апаратуру.

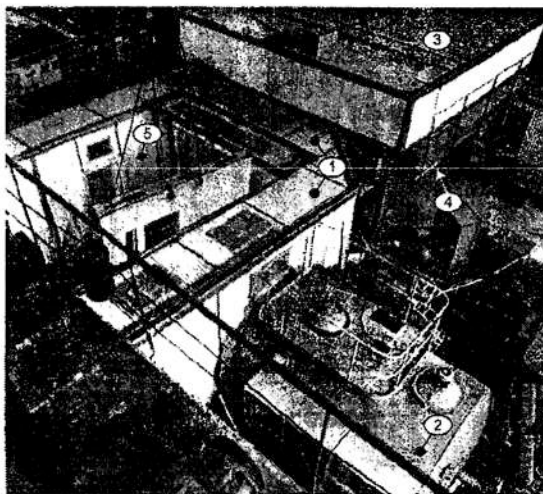


Рис. 3. Загальний вигляд кліматичного комплексу КиївЗНДІЕП:
1 – Г-подібний „холодний” відсік; 2, 4 – термобарокамери КТВВ-8000/2 і КТВВ-8000/4; 3 – горище; 5 – „теплый” відсік

При проведенні експериментів у „теплый” відсік 5 опускався бетонний блок-кімната, який встановлювався над підвалом, що імітує

суміжне приміщення нижнього поверху. Над блоком встановлено горище 3, яке імітує приміщення верхнього поверху, тобто досліджувався об'ємний триповерховий фрагмент будинку. Блок у „теплому” відсіку був установлений так, що його дві зовнішні стіни контактували з „холодним”, а дві внутрішні – з „теплим” відсіком, який імітує сусідні приміщення досліджуваного поверху. Блок мав площу $14,5 \text{ м}^2$, висоту $2,75 \text{ м}$ і товщину стін 80 мм . Для того, щоб термічний опір теплопередачі зовнішніх стін відповідав нормованому значенню $2,5 \text{ (м}^2\text{·К)/Вт}$, до фасадної і торцевої стін блоку впритул приставлено тришарові панелі, термічний опір теплопередачі яких за даними попередньо виконаних випробувань задовольняв нормі. Термічний опір теплопередачі дерев'яного вікна з подвійним заскленням у роздільних переплетеннях складав $0,42 \text{ (м}^2\text{·К)/Вт}$. Він був підвищений до $0,6 \text{ (м}^2\text{·К)/Вт}$ за рахунок заміни зовнішнього скла однокамерним склопакетом. Склопакет був виготовлений з 4-мм скла М1 з оптимальним повітряним прошарком 16 мм при загальній товщині 24 мм . Для підвищення теплоакумуючої здатності внутрішніх стін і стелі, по їх поверхні виконана цегельна кладка в півцеглини.

Для підвищення точності вимірювальних величин зовнішні стіни додатково були обстежені безконтактним інфрачервоним термометром з лазерним прицілом Raynger MX. На їх внутрішніх поверхнях були визначені термічно однорідні зони, у кожній з яких встановлювалася мінімальна кількість термопар і тепломірів, що дало змогу основну частину датчиків зосередити на поверхні підлоги, котра була розбита на 5 зон. З них 4 розташовувалися по периметру, а в центрі виділялося ще 7 зон. Вимірювання температури повітря в приміщенні здійснювалося 44-а хромель-копелевими термопарами, розташованими рівномірно по об'єму на 11 вертикалях.

Через те, що параметри теплового стану досліджуваного приміщення при акумуляційному опаленні неперервно змінюються в часі, важливим є забезпечення можливості одночасного вимірювання великої кількості параметрів (температур в 159 точках і теплових потоків в 41 точці). У кліматичному комплексі така можливість створена за рахунок комп'ютерної реєстрації сигналів від термопар і тепломірів, а також автоматичного керування записом їх показів з періодичністю в 15 хвилин.

Проведено два цикла експериментальних випробувань.

I-й цикл експериментальних досліджень теплового стану приміщення з 90-мм теплоакумуючим шаром електропідлоги з важкого бетону. Метою 1-го циклу було експериментальне підтвердження достовірності розробленої методики і програми

розрахунку теплового режиму приміщення, опалювального підлоговою ЕКСО-ТА. Температура повітря зовні приміщення підтримувалась на рівні: 1) $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ - середньомісячна добова температура найбільш холодного зимового місяця (січня) в м. Києві; 2) $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ з врахуванням її добових коливань з середньою амплітудою $\pm 2,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ стосовно до умов м. Києва; 3) $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає мінімальній для розрахунків систем опалення в Україні. Нагрівання підлоги здійснювалося 3-а нижніми кабелями, сумарна потужність яких відповідала тепловтратам при заданій температурі повітря зовні приміщення.

Аналіз результатів експериментів показав:

1. Розроблена методика розрахунку теплового режиму приміщення з підлоговою ЕКСО-ТА підтверджена експериментом – середнє розходження експериментальних і розрахункових даних по температурах та теплових потоках складає, відповідно, 3,0 і 6,1 %, що є цілком задовільним.

2. Експериментально підтверджено участь в акумулюванні тепла не тільки підлоги, але й усіх огорожень приміщення.

3. Наявність сприятливого впливу нестационарності температури повітря зовні приміщення на його тепловий режим показано на прикладі коливання середньомісячної температури повітря січня $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ з середньодобовою амплітудою $\pm 2,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ в м. Києві.

Метою II-го циклу є обґрунтування можливості забезпечення ЕКСО-ТА нормованих і комфортних умов в приміщенні. Дослідження проводились в діапазоні зміни температур повітря зовні будинків за весь період опалювального сезону в Україні $+8\text{...}-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ при товщинах бетонного шару підлоги 0,09 і 0,16 м, без додаткового опалення та з ним.

На базі проведених досліджень встановлено, що при $\delta_{\text{б,ш}} = 90\text{ мм}$ без додаткового опалення підлогова ЕКСО-ТА забезпечує: нормовані умови при температурах повітря зовні приміщення від $+8$ до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а комфортні – від $+8$ до $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нормовані умови в інтервалі температур $-20\text{...}-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ забезпечуються з додатковим денним опаленням з незначними затратами енергії, а для створення комфортних умов в діапазоні температур $-6\text{...}-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ запропоновано 2 способи:

Б. Базовий (без додаткового опалення) тепловий режим з $\delta_{\text{б,ш}} = 160\text{ мм}$.

В. Додаткове денне опалення з $\delta_{\text{б,ш}} = 90\text{ мм}$.

Результати експериментальних досліджень показали, що променисто-конвекційні системи ЕКСО-ТА створюють більш комфортні умови в приміщенні, ніж традиційні конвекційні системи при однакових потужностях.

Результати проведених досліджень включено в створені ДБН В.2.5-24-2003 „Електрична кабельна система опалення”.

Список літератури

1. *Фіалко Н.М., Шевелев В.Б., Черных Л.Ф.* Теплофизические основы напольного электротеплоаккумуляционного отопления жилых и общественных зданий // Сб. науч. трудов III-ей межд. конф. "Проблемы промышленной теплотехники". Промышленная теплотехника. Приложение к журналу. – К.: ИТТФ, 2003.-Т. 25, № 4. – С. 77-78.
2. *Черных Л.Ф.* Тепловые режимы помещений при энергосберегающем теплоаккумуляционном напольном электроотоплении: Дис...д.т.н.: 05.23.03. – К., 2009, - 445 с.
3. *Драганов Б.Х., Черных Л.Ф., Ферт А.Р.* Методика расчета теплового режима наружных ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий // -К.: УСХА, 1991. -126 с.
4. *Черных Л.Ф.* Сочетание метода малого параметра и конечных интегральных преобразований для задач теплопроводности // Известия АН СССР. – 1991. – Т. 37, № 1. – С. 146-162.
5. ДБН В.2.5-24-2003. Электрическая кабельная система отопления. – К.: изд-во ГП "Укрархбудінформ", 2003. – 31 с.
6. А.с. 1501005 СССР, МКИ G 05 D 22/00. Устройство для климатических испытаний / Черных Л.Ф., Волга В.С., Дизик В.М., Паламарчук Л.К., Санников И.В. - № 4164579/24-24; заявл. 22.12.1986; опубл. 15.08.1989, Бюл. № 30.

Надійшла до редакції

21.10.11 р.