

Колесник И.А., магистр
ГВУЗ «ПГАСА»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Колесник І.О., магистр
ДВУЗ «ПДАБА»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПІД ЧАС АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Kolesnik I. A., M.S (Tech)
SHEI «PSACIA»

PROVIDING OF PARAMETERS OF MICROCLIMATE AT EMERGENCY SYTUATION IN SYSTEMS OF HEAT SUPPLY

Анотація. Виконано аналіз параметрів мікроклімату приміщень при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання, їх вплив на життєдіяльність людини, розглянуто вплив теплотривкості будівель на мікрокліматичні умови приміщень, проаналізовані методи контролю теплообміну огорожувальних конструкцій з зовнішнім та внутрішнім середовищем.

Проведено наукове та експериментальне обґрунтування застосування датчиків з кільцевим і плоским нагрівачами та визначені граничні умови їх застосування. Виконані експериментальні дослідження параметрів мікроклімату приміщень для шести видів огорожувальних конструкцій будівель у м. Дніпропетровську. Знайдені закономірності динаміки охолодження внутрішнього повітря та внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій приміщень при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання.

Розроблена методика визначення часу охолодження внутрішнього повітря в залежності від коефіцієнта акумуляції тепла огорожувальних конструкцій без урахування та з урахуванням сонячної радіації та вітрової дії при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання.

Проведено впровадження результатів досліджень з контролю і забезпечення необхідних умов мікроклімату приміщень на виробництві, це дозволило встановити залежності, які дозволяють визначити величину відносної резервної теплоподачі і час відновлення нормального теплопостачання при різній теплоакumuлюючій здатності огорожувальних конструкцій будівель і споруд з урахуванням забезпечення необхідних параметрів мікроклімату приміщень.

Ключові слова: мікроклімат, безпека життєдіяльності, санітарно-гігієнічні умови, аварійно-дефіцитні ситуації, система контролю та управління, критична температура, динаміка охолодження, коефіцієнт теплоакumuляції.

Для забезпечення необхідних умов мікроклімату приміщень будівель і споруд в зимовий період передбачена робота системи опалення. Проведений аналіз роботи систем теплопостачання м. Дніпропетровська, як життєво важливого процесу забезпечення необхідних параметрів мікроклімату приміщень в опалювальний період показав, що фізичний знос підземних комунікацій, невизначеність і нестабільність в роботі енергосистем призводить до виникнення аварійних ситуацій та порушують безпеку життєдіяльності людей.

Це, в свою чергу веде до зниження теплостійкості будівель, що порушують тепловий режим і комфорт в приміщеннях, а в деяких випадках до шкідливих для здоров'я людини і збереження будівлі наслідків. Так, в результаті аварії в теплових мережах чотирьох міських котелень без теплопостачання у Дніпропетровську залишилося 12 будинків у центральній частині міста, де проживає близько трьох тисяч жителів. В результаті аварії був на значний час загублений контроль над режимом забезпечення мікроклімату в будинках, що призвело до створення дискомфортичних умов для значної кількості жителів міста і створена потенційна небезпека для виходу з ладу інженерних мереж.

Згідно з проведеним аналізом такі відключення, на жаль, не поодинокі і призводять до виходу температури повітря в приміщеннях і внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій в закритичний стан. Тому підвищення безпеки життєдіяльності за рахунок забезпечення необхідних параметрів мікроклімату при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання є актуальним для України.

Потрібно вирішити наступні задачі:

– вперше на основі теоретичних та експериментальних досліджень провести обґрунтування застосування датчиків з кільцевим та плоским нагрівачами для визначення теплотехнічних властивостей будівельних огороджувальних конструкцій;

– в результаті проведених досліджень встановити, що в процесі впливу навколишнього середовища і кліматичних умов при тривалій експлуатації в будівельних конструкціях внаслідок структурних змін (ущільнення, перебудова мінералогічного складу, карбонізації, міграції вологи і т.д.) відбуваються значні зміни теплотехнічних характеристик від первісних, що знижує їх термічний опір і суттєво впливає на забезпечення нормальних умов мікроклімату в приміщенні (зміна коефіцієнту теплопровідності у бік збільшення від 20,7 % до 48,6 %);

– 6 типів будівель встановити, що в процесі тривалої експлуатації будівельних огороджувальних конструкцій зростає динаміка охолодження температури внутрішньої поверхні зовнішньої стінки, при цьому, градієнт температури збільшується в середньому від 3°C до 5°C в залежності від типу будівель. Встановити залежності, які дозволяють прогнозувати зміни температури внутрішньої поверхні огорожі з урахуванням типу будівлі і застосованих будівельних матеріалів огороджувальних конструкцій при відключенні системи теплопостачання;

– встановити вплив динаміки температури внутрішнього повітря приміщення на температурний градієнт по відношенню до температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій, що дозволяє оцінювати параметри мікроклімату з урахуванням виконуваних робіт на виробництві за ступенем тяжкості і критичних значень температур для експлуатації інженерних комунікацій;

– провести дослідження час досягнення критичних температур приміщень та роботи інженерних мереж для різних типів будівель при різних коефіцієнтах теплоаккумуляції при температурах зовнішнього повітря: холодної п'ятиденки і місяців опалювального періоду;

– отримати залежності зміни температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій, які дозволяють управляти процесом забезпечення параметрів мікроклімату приміщення з урахуванням типу будівлі, впливу сонячної радіації і вітру при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання;

На основі аналізу параметрів мікроклімату приміщень при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання, їх вплив на умови праці та життєдіяльність людини, розглянуто вплив теплотривкості будівель на мікрокліматичні умови приміщень, проаналізовані методи контролю теплообміну огорожувальних конструкцій з зовнішнім та внутрішнім середовищем.

Значний внесок в вивчення умов праці та встановлення зв'язку параметрів мікроклімату на безпеку життєдіяльності людини внесли вітчизняні і закордонні вчені, зокрема вчені Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (Беліков А.С., Стрежекуров Е.Є.) [1-7 та ін.], а також Богословський В.Н., Банхиді Л., Бродач М.М. Касьянов М.А., Рагімов С.Ю., Табунщиков Ю. А., Фокін К. Ф., Кононович Ю.В., Шкловер А.М., Поз М.Я., Фенгер Р. та інші.

Встановлено, що людина проводить у приміщенні до 80-90% часу доби. З них 40% часу він знаходиться на робочому місці, отже, фактори навколишнього середовища, як його житла, так і місця роботи, впливають на організм людини і його рівень працездатності.

Аналіз проведених досліджень показав, що забезпечення життєдіяльності в приміщеннях в опалювальний період залежить від підтримки теплового режиму за рахунок стійкої роботи систем теплопостачання. Встановлено, що через значний фізичний знос систем теплопостачання в Україні часто виникають аварійні відключення, що негативно позначається на мікрокліматі приміщень і стійкій роботі систем життєзабезпечення і вимагає додаткових і значних матеріальних витрат з їх відновлення. Тому, проведення досліджень по забезпеченню параметрів мікроклімату при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання з урахуванням типу будівлі та впливу сонячної радіації і вітру є актуальним.

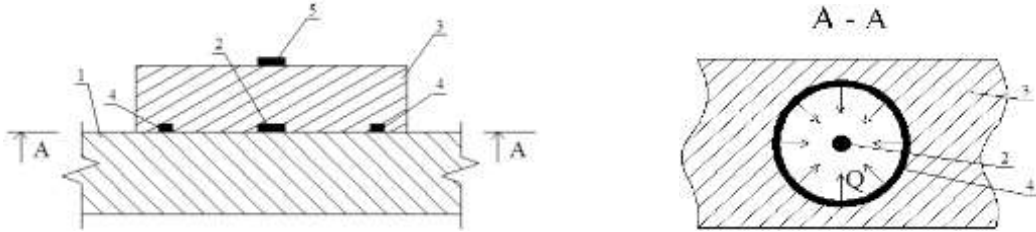
Теоретичні дослідження теплообміну будівельних конструкцій та вплив на мікроклімат під час взаємодії зовнішнього середовища та середовища замкнутого простору показали, що забезпечення нормальних умов мікроклімату в приміщенні залежить від теплообміну огорожувальних будівельних конструкцій з повітряним середовищем замкнутого простору - температурно-вологісним його станом, які визначаються режимом теплопостачання або охолодження. На підставі проведених досліджень запропоновано два способи контролю теплофізичних характеристик огорожувальних будівельних конструкцій з застосуванням датчиків з кільцевим та плоским нагрівачем.

Для визначення області використання датчиків для матеріалів з коефіцієнтом теплопровідності в діапазоні $0,167 \div 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ була прийнята функціональна схема роботи датчика з кільцевим нагрівачем (рис. 1) та визначені припущення: подача стабільного теплового потоку Q від нагрівача 4 при контакті з досліджуванним матеріалом 1; тепло поширюється як вглиб зразка, так і вздовж напівобмеже-

ної поверхні у напрямку до приймача теплового випромінювання 2.

В результаті проведених теоретичних досліджень отримані залежності для визначення теплофізичних характеристик досліджуваних матеріалів.

При цьому, залежність для визначення коефіцієнта теплопровідності (λ) має вигляд:



1 - досліджуваний елемент; 2 - внутрішній термометр; 3 - корпус датчика;
4 - кільцевий нагрівач; 5 - зовнішній термометр.

Рисунок 1 - Функціональна схема датчика з кільцевим нагрівачем

$$\lambda = \frac{(q_0 \cdot \Delta R)^{2/3}}{4\pi \cdot c \cdot \gamma \cdot Z \cdot \Delta U} \cdot e^{-\frac{\alpha}{3}}, \quad (1)$$

де q_0 - питомий тепловий потік, що виділяється кільцевим нагрівачем, визначається за формулою:

$$q_0 = \frac{0.86 \cdot I^2 \cdot R}{F}, \quad (2)$$

ΔR - товщина кільця нагрівача; Z - час нагрівання; ΔU - зміна температури в площині зіткнення; c, γ - теплоємність і питома вага досліджуваного матеріалу (визначається з літературних джерел); α - величина, постійна для даного приладу, обчислюється за формулою:

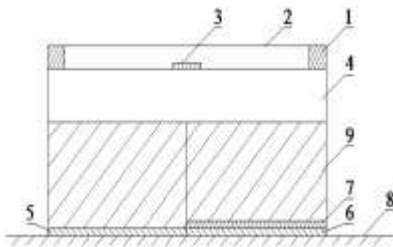
$$\alpha = -\frac{R_1 + R_2}{a_{np} \cdot \sqrt{Z}}, \quad (3)$$

a_{np} - коефіцієнт температуропровідності датчика; R_2, R_1 - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевого нагрівача.

На базі теоретичних досліджень запропонований давач, за допомогою якого, крім визначення теплофізичних характеристик матеріалів, представляється можливим досліджувати теплообмін будівельних конструкцій з навколишнім середовищем в замкнутих приміщеннях.

Враховуючи недосконалість існуючих приладів визначення теплофізичних властивостей матеріалів в масиві конструкцій, нами в основу розробки датчика, покладені відомі теоретичні дослідження акад. А.В. Ликова в області теплообміну, що відбувається в системі тіл, які знаходяться між собою в тепловому ко-

нтакті при наявності джерела тепла, розміщеного між дотичними поверхнями з постійним за часом тепловиділенням. Тому для визначення теплофізичних характеристик матеріалів був використаний інший метод вимірювання теплопровідності (рис. 2).



1 - захисне кільце; 2 - кришки датчика; 3 - термометр навколишнього середовища; 4 - основа з фторопласту; 5, 7 - дротяний термометр; 6 - плоский нагрівач; 8 - досліджувана поверхня; 9 - гума

Рисунок 2 - Плоский датчик для вимірювання теплової активності досліджуваних матеріалів

При цьому була отримана залежність температури деякої точки середовища, що лежить на відстані x від нагрівача, від часу нагрівання:

$$\theta = \frac{t_1(x, Z) - t_0}{t_0} = \frac{2q_0}{\lambda \cdot t_0} \sqrt{aZ} \frac{K_\varepsilon}{1 + K_\varepsilon} \operatorname{ierfc} \frac{\delta}{2\sqrt{a_1 Z}} \quad (4)$$

де $t_1(x, Z)$ - температура в площині, віддаленій на відстань від площини нагрівача в момент часу; t_0 - температура в початковий момент часу; K_ε - критерій, що характеризує теплову активність першого тіла (досліджуваного матеріалу) по відношенню до другого (еталону):

$$K_\varepsilon = \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_a}} \quad (5)$$

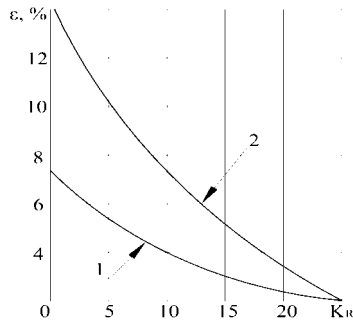
K_λ - критерій, що характеризує відносну теплопровідність тіла; $K_a = \frac{a_1}{a_2}$ - критерій, що характеризує теплоінерційну властивість другого тіла відносно першого тіла.

$$K = 2q_0 \sqrt{Z} \cdot \operatorname{ierfc} \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}} \quad (6)$$

На основі проведених теоретичних досліджень була отримана залежність для визначення коефіцієнта теплопровідності при вимірах датчиком з плоским нагрівачем:

$$\lambda = \left[\frac{2q_0 \sqrt{Z}}{\Delta t} \operatorname{ierfc} \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}} - \frac{\lambda_3}{\sqrt{a_3}} \right] \cdot \sqrt{a_3} \quad (7)$$

На підставі розрахункових даних були проведені експериментальні дослідження області вимірювання коефіцієнта теплопровідності огорожувальних конструкцій. Метою даних випробувань було експериментальне встановлення працездатності приладів. Узагальнення експериментальних даних проводилося для підтвердження правильності обраного методу і прийнятої робочої формули приладу.



1 - плоский датчик; 2 - кільцевої датчик.

Рисунок 3 - Відносна помилка вимірювання теплофізичних характеристик матеріалів плоским і кільцевим датчиками ($\lambda = 0,2 \div 0,67$ Вт/м·°С)

В результаті проведених досліджень для матеріалів з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,2 \div 0,67$ Вт/м·°С встановлено величину похибки вимірювань при визначенні теплопровідності з використанням плоского і кільцевого нагрівачів (рис. 3) та встановлена область застосування датчиків з кільцевим та плоским нагрівачем з урахуванням похибки вимірювання.

У загальному вигляді поширення тепла в 3-х мірній стінці описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

де τ - час; t - температура; c - питома теплоємність; a - коефіцієнт теплопровідності: $a = \frac{\lambda}{0,278c\gamma}$

При одномірному поширенні тепла вираз (8) має вигляд ($\tau = z$)

$$\frac{\partial t}{\partial Z} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (9)$$

При вирішенні даного рівняння були прийняті крайові умови: початкові – теплові умови в стінці в початковий момент ($Z = 0$) і граничні – теплові умови на кордонах стінки під час даного процесу.

Рівняння для падіння температур на внутрішній поверхні стінки має вигляд:

$$\frac{v_{x=0}}{v_0} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \frac{1}{3^2} e^{-\left(\frac{3\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \frac{1}{5^2} e^{-\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \dots \right), \quad (10)$$

де $v_0 = t_{нач} - t_c$, °С ($t_{нач} - t_c$ - відповідно наперед задані початкова температура

і температура середовища); $v = t - t_c$ (t - поточна температура, змінюється з часом); $v_{x=0} = t_{x=0} - t_c$, ($t_{x=0}$ - поточна температура на внутрішній поверхні стінки); x - товщина стінки, м.

Фактичне значення температури при заданому часі, год:

$$t_{x=0} = \frac{V}{V_0} (t_{нач} - t_c) + t_c \quad (11)$$

Слід зазначити, що рішення рівняння (10) у формі (11) пов'язане з припущенням, що при відключенні опалення з моменту $Z = 0$ надходження тепла на внутрішню поверхню огороження повністю припиняється. Таким чином, розрахунок дає кілька перебільшений результат щодо охолодження стінки і є оціночним.

Враховуючи, що охолодження будівельних конструкцій залежить від їх загальної термічного опору, на основі проведених досліджень були визначені температури внутрішньої поверхні огороження для шести типів будівель в момент відключення системи опалення із заданими теплотехнічними характеристиками при введенні в експлуатацію і з урахуванням їх зміни в процесі тривалої (більше 10 років) експлуатації. При цьому, температура зовнішнього повітря прийнята постійною і рівною температурі холодної п'ятиденки для м. Дніпропетровська - 23 °С.

Дослідження проводилися для найбільш поширених типів будинків у Дніпропетровську: 1 тип. Житлові будинки з керамзитобетону, які експлуатуються протягом 10 років (ж / м Тополя - 3, будинок № 4 серії 1-464-Д83; ж/м Перемога - 6 вул. Добровольців, будинок №6 серії 90 з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ та 1800 кг/м^3 ; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 0,21 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ та $0,66 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,38 \text{ м}$; 2 тип. Житлові будинки з керамічної цегли (вул. Виконкомівська, 27а) з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ та 1600 кг/м^3 ; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 0,35 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ та $0,47 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$; 3 тип. Будинки з важкого бетону (вул. Набережна Перемоги, 26 «Будинок природи») з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 1,69 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,3 \text{ м}$; 4 тип. Житлові будинки з повнотілої глиняної звичайної цегли на цементно-піщаному розчині (вул. Артема, 23) з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 0,56 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$; 5 тип. Житлові будинки із силікатної цегли на цементно-піщаному розчині (вул. Клари Цеткін, 5 гуртожиток ПГАСА) з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$; 6 тип. Будинки з важкого бетону на гравії з природного каменю (вул. Набережна Перемоги, 5 «Будинок піонерів») з наступними теплотехнічними характеристиками: $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$; $\lambda_o = 1,51 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$; $x = 0,3 \text{ м}$.

Проведені дослідження зміни температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій при виході зі стаціонарного стану для I-VI типу будинків (λ_o - при введенні в експлуатацію; λ - при тривалій експлуатації (більше 10 років); λ_9 - експериментальні дані). В таблиці 1 наведені результати для I типу будівель.

Дослідження показали, що в процесі експлуатації збільшується коефіцієнт теплопровідності, зміна якого тягне за собою зменшення на 28% загального термічного опору огорожувальних конструкцій на основі керамзитобетону, що, в свою чергу, збільшує тепловтрати будівлі і зменшує параметр мікроклімату, як температура внутрішньої поверхні огороження в середньому на $4 \div 5$ °С.

Таблиця 1 - Зміна температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій при охолодженні зі стаціонарного стану в залежності від умов експлуатації будівель I типу ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)

Час охолодження Z, ч	Температура внутрішньої поверхні стінки τ_s , °С		
	$\lambda_o = 0,35 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$	$\lambda = 0,52 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$	$\lambda_3 = 0,54 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$
0	17,5	16,5	16,2
6	8,185	4,65	4,048
12	3,73	-0,485	-1,048
18	0,085	-4,04	-4,184
24	-1,94	-7,2	-7,32

Наведені зміни теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огороження для I типу будівель, як показали нами проведені дослідження, внесли значний вплив на роботу огорожувальних конструкцій. Так, динаміка охолодження внутрішньої поверхні стіни при відключенні системи теплопостачання в перебігу тільки перших 3 годин приблизно однакова, а в подальшому градієнт температури збільшується в середньому на $4 \div 5$ °С. На підставі обробки отриманих даних для I, II, III, IV, V та VI типів будівель за допомогою пакету програм NUMERI нами були отримані закономірності інтенсивності охолодження внутрішньої поверхні стінки, які дозволяють робити оцінку умов мікроклімату приміщень при відключенні системи теплопостачання. Нижче наведені залежності для I типу будівлі.

На початок експлуатації:

$$y_1 = 17,5 - 2,385x + 0,185625x^2 - 0,00875x^3 + 0,0001563x^4 \quad (12)$$

Після експлуатації протягом 10 років і більше:

$$y_2 = 16,2 - 3,0271111x + 0,2087037x^2 - 0,0075617x^3 + 0,0001008x^4 \quad (13)$$

Як встановлено, при експлуатації будівель змінюються теплотехнічні властивості будівельних матеріалів, в тому числі і щільність матеріалу будівельних конструкцій, відповідно, змінюється і коефіцієнт акумуляції теплової енергії.

На рис. 4 представлені результати проведених досліджень залежності зміни температури внутрішнього повітря і градієнта температур ($t_s - \tau_s$) при відключенні системи теплопостачання для I типу будівель після тривалої експлуатації.

Дослідження показали, що в процесі охолодження приміщення має місце порушення вимог ДБН В.2.6-31: 2006 «Теплова ізоляція будівель» в частині 2 п.2.6 «Допустима за санітарно-гігієнічним вимогам різниця між температурою

внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції» для житлових і цивільних будинків. Дослідженнями встановлено, що через 4,5 години для даного типу будівель температура внутрішнього повітря досягає допустимої нижньої межі для категорії робіт середньої та важкої тяжкості 13 °С, а через 7,5 годин досягає значення критичної температури для експлуатації інженерних комунікацій 8 °С.

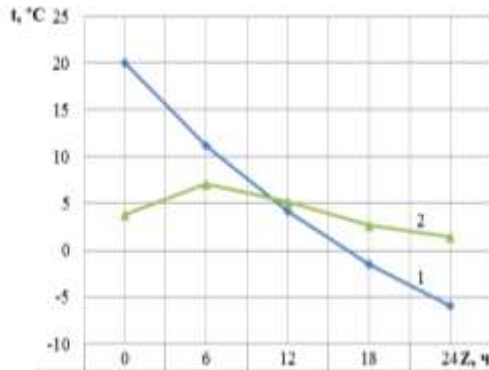


Рисунок 4 - Зміна температури внутрішнього повітря приміщення і градієнта температур ($t_g - \tau_g$) при охолодженні зі стаціонарного стану для I типу будівлі (при тривалій експлуатації): 1 - температура внутрішнього повітря; 2 - градієнт температур внутрішнього повітря і внутрішньої поверхні огорожувальної поверхні.

Згідно проведених раніше досліджень коливання температури внутрішнього повітря приміщень і температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій ($t_g - \tau_g$) $\leq 1,5 \div 2$ °С викликає дискомфортні тепловідчуття у людини. Це пояснюється закономірностями фізіологічного коливання температури тіла, яке для здорової людини не перевищує $0,3 \div 0,5$ °С.

Після обробки отриманих нами даних за допомогою пакету програм NUMERI встановлені наступні залежності.

Залежність динаміки охолодження внутрішнього повітря приміщення при виході зі стаціонарного стану:

$$y_{17} = 20 - 1,7907345x + 0,0369959x^2 - 0,0004782x^3 + 0,0000033x^4 \quad (14)$$

Залежність градієнта температур внутрішнього повітря і внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції при охолодженні зі стаціонарного стану:

$$y_{18} = 3,5 + 1,1772513x - 0,1728478x^2 + 0,0075985x^3 - 0,000111x^4 \quad (15)$$

В результаті проведених досліджень були встановлені залежності динаміки температури внутрішнього повітря та градієнта температур внутрішнього повітря і внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання для всіх шести типів будівель та їх вплив на умови праці.

Нами була отримана найбільш універсальна залежність,

$$Z = \ln \frac{t'_g - t_n}{t_g - t_n} \beta \quad (16)$$

При аналізі аварійних ситуацій, застосування отриманої нами залежності дає можливість встановлювати закономірності, які дозволяють прогнозувати час охолодження приміщень до критичних значень температури внутрішнього повітря з урахуванням категорії виконуваних робіт в приміщенні по тяжкості і до критичної температури роботи інженерних комунікацій, а також досягнення критичної температури води в інженерних комунікаціях зі збільшенням в'язкості при 4 °С, а в подальшому - закритичних значення 0 °С і нижче практично для будь-якого типу будівель по відомим значенням коефіцієнтів акумуляції тепла β при температурі зовнішнього повітря - холодної п'ятиденки і всього опалювального періоду (листопад - березень).

Після обробки отриманих нами результатів за допомогою пакету програм NUMERI встановлено ряд залежностей при відключенні системи теплопостачання для температури холодної п'ятиденки м. Дніпропетровська.

Залежність часу охолодження внутрішнього повітря приміщення до $t_g = 0$ °С :

$$y_{31} = -0,0000114 + 0,625716x - 8,8778E - 07x^2 + 1,33365E - 08x^3 - 5,32670E - 011x^4 \quad (17)$$

Залежність часу охолодження внутрішнього повітря приміщення до $t_g = 4$ °С:

$$y_{32} = -0,0000777 + 0,465397x - 9,2069E - 07x^2 + 8,1992E - 09x^3 - 2,30824E - 011x^4 \quad (18)$$

Залежність часу охолодження внутрішнього повітря приміщення до $t_g = 8$ °С:

$$y_{33} = -0,0000777 + 0,327247x - 9,2069E - 07x^2 + 8,1992E - 09x^3 - 2,30824E - 011x^4 \quad (19)$$

Залежність часу охолодження внутрішнього повітря приміщення до $t_g = 10$ °С:

$$y_{34} = -0,0000549 + 0,264712x - 3,1179E - 07x^2 + 2,1307E - 010x^3 + 7,6941E - 012x^4 \quad (20)$$

Залежність часу охолодження внутрішнього повітря приміщення до $t_g = 13$ °С:

$$y_{35} = -0,000053 + 0,1777071x - 1,10133E - 06x^2 + 1,34154E - 08x^3 - 4,9716E - 011x^4 \quad (21)$$

Надалі проведені дослідження з визначення часу охолодження внутрішнього повітря приміщень при виході з стаціонарного стану для середньомісячних температур місяців опалювального періоду (листопад - березень).

При $t_g = 0$ °С рівняння регресії для періоду «грудень-лютий» буде мати вигляд:

$$Z = 1,65\beta - 0,2 \quad (r = 0,95) \quad (22)$$

При $t_g = 13$ °C рівняння регресії для цього ж періоду буде мати вигляд:

$$Z = 0,85 + 0,3\beta \quad (r = 0,99) \quad (23)$$

Високі значення коефіцієнтів кореляції вказують на високий рівень одержаних залежностей.

Взаємодія між зовнішніми кліматичними умовами і мікрокліматом приміщення впливає, головним чином, на огороджувальні конструкції, де відбувається взаємодія двох зустрічних енергетичних потоків, тому очевидно, що саме тут повинен здійснюватися контроль за енергетичними процесами при оцінці та регулюванні параметрів мікроклімату.

Для досягнення цієї мети необхідно, щоб будівля задовольняла трьом основним вимогам: 1) будівля повинна виконувати функції сонячного колектора; 2) будівля має бути сонячним акумулятором; 3) будівля повинна добре утримувати тепло, тобто бути теплової «пасткою».

Враховуючи необхідність управління процесом підтримки параметрів мікроклімату приміщень, нами були проведені дослідження впливу сонячної радіації і вітру в опалювальний період для м. Дніпропетровська.

В результаті досліджень була визначена температура середовища (зовнішнього повітря):

- з урахуванням сонячної радіації:

$$t_c = t_n^{mec} + t_{рад}^{mec} \quad (24)$$

$$t_c = t_n^{mec} + t_{рад}^{mec} - t_{ветр}^{mec} \quad (25)$$

На підставі обробки отриманих даних за допомогою пакету програм NUMERI нами були отримані закономірності інтенсивності охолодження внутрішньої поверхні стінки для I і III типів будинків, які дозволяють робити оцінку умов мікроклімату приміщень при відключенні системи теплопостачання з урахуванням сонячної радіації в січні місяці.

Для керамзитобетону в січні місяці опалювального періоду:

$$y_{25} = 18,1 - 1,5058333x + 0,1038194x^2 - 0,0037616x^3 + 0,0000502x^4 \quad (26)$$

Для залізобетону в січні місяці опалювального періоду:

$$y_{26} = 11,8 - 1,8766667x + 0,1502315x^2 - 0,0066019x^3 + 0,0001155x^4 \quad (27)$$

Проведені дослідження 6 типів будівель показали, що втрати теплової енергії, які визначаються теплозахисні властивості застосовуваних будівельних матеріалів, істотно позначаються на зміні температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій при відключенні систем теплопостачання. Представлені залежності

зміни температури внутрішньої поверхні зовнішньої стіни τ_g в приміщеннях, які охолоджуються I типу і III типу (рис. 5) дозволяють нам оцінити вплив сонячної радіації та вітру в опалювальний період для м. Дніпропетровська при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання.

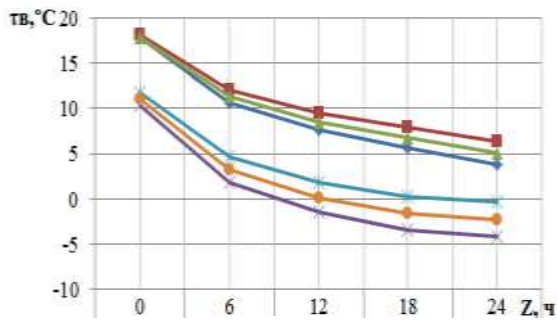


Рисунок 5 - Залежності зміни температури на внутрішній поверхні зовнішньої стіни τ_g в приміщеннях, які охолоджуються I типу (■ - з урахуванням сонячної радіації; ▲ - з урахуванням сонячної радіації і вітру; ◆ - без урахування сонячної радіації і

вітру) та III типу (* - з урахуванням сонячної радіації; ● - з урахуванням сонячної радіації і вітру; ✖ - без урахування сонячної радіації і вітру) будівель від часу Z для січня.

Так, наприклад, в січні місяці для I типу будівлі темп охолодження внутрішньої поверхні зовнішньої стіни з урахуванням сонячної радіації зменшиться через 24 години на $2,5^\circ\text{C}$; для III типу будівлі - на $3,8^\circ\text{C}$. Вітер робить істотний вплив на зміну температури внутрішньої поверхні огорожень в середині опалювального періоду, особливо в грудні та січні. Однак вплив сонячної радіації є більш значимим. Це необхідно враховувати при забезпеченні і нормалізації параметрів мікроклімату приміщень при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання.

Надалі нами були проведені дослідження зміни температури внутрішнього повітря приміщень при аварійних ситуаціях в системах теплогазопостачання для більшого спектра значень коефіцієнтів акумуляції тепла будівель, а саме $\beta = 26$ год, $\beta = 62$ год і $\beta = 80$ год для п'яти місяців опалювального періоду.

На підставі обробки отриманих даних за допомогою пакету програм NUMERI нами були отримані закономірності інтенсивності охолодження внутрішнього повітря приміщень будинків з коефіцієнтами теплоакумуляції $\beta = 26$ год, $\beta = 62$ год і $\beta = 80$ год, які дозволяють робити оцінку умов мікроклімату приміщень при відключенні системи теплопостачання з урахуванням сонячної радіації і вітру в січні.

Темп охолодження внутрішнього повітря приміщень при $\beta = 26$ год:

$$y_{47} = 20 - 0,8993514x + 0,0171168x^2 - 0,0002025x^3 + 0,0000013x^4 \quad (28)$$

Темп охолодження внутрішнього повітря приміщень при $\beta = 62$ год:

$$y_{48} = 20 - 0,3769306x + 0,002934x^2 - 8,87346E - 006x^3 - 9,64506E - 008x^4 \quad (29)$$

Темп охолодження внутрішнього повітря приміщень при $\beta = 80$ год:

$$y_{49} = 20 - 0,12929028x + 0,0019248x^2 - 0,0000143x^3 + 1,60751E - 007x^4 \quad (30)$$

Проведені дослідження з визначення часу охолодження внутрішнього повітря для еталонного приміщення до досягнення нижньої межі температури в залежності від категорії виконуваних робіт, а також критичного значення температури для роботи інженерних комунікацій з урахуванням впливу сонячної радіації та вітру при коефіцієнтах акумуляції тепла $\beta = 26$ год, $\beta = 62$ год і $\beta = 80$ год в найхолодніший місяць опалювального періоду – січень дозволили встановити залежності часу охолодження приміщень при різних значеннях коефіцієнту акумуляції тепла з урахування розташування їх в будівлі.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень були отримані залежності зміни температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій, які дозволяють забезпечувати підтримку параметрів мікроклімату приміщення з урахуванням типу будівлі, розташування приміщень в будівлі, впливу сонячної радіації та вітру при аварійних ситуаціях в системах тепlopостачання.

Результати досліджень впроваджені на виробництві. Розроблена методика розрахунку теплотривкості будівель та система автоматизованого контролю параметрів мікроклімату при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах тепlopостачання, що дозволяє управляти процесом забезпечення необхідних параметрів мікроклімату з урахуванням виду діяльності та досягненням критичного рівня по забезпеченню безпечних умов праці та життєдіяльності. Впровадження результатів досліджень з контролю та забезпеченню необхідних параметрів мікроклімату приміщень в торговельному комплексі АТБ у м. Дніпропетровську дозволили отримати економічний ефект за рахунок зменшення енергоспоживання за опалювальний період в середньому на 23%.

ВИСНОВКИ

На підставі теоретичних досліджень проведено обґрунтування застосування датчика з кільцевим і плоским нагрівачем для визначення теплофізичних властивостей будівельних огорожуючих конструкцій з несиметричною схемою укладання з одного боку досліджуваної конструкції і визначено початкові і граничні умови застосування таких датчиків при дослідженні теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій будівель. Вперше проведено дослідження теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій в процесі тривалої експлуатації (понад 10 років) для шести типів найбільш поширених будівель у Дніпропетровську. В результаті проведених досліджень встановлено, що в процесі впливу навколишнього середовища і кліматичних умов при тривалій експлуатації в будівельних конструкціях внаслідок структурних змін (ущільнення, перебудова мінералогічного складу, карбонізації, міграції вологи і т.д.) відбуваються значні зміни теплотехнічних характеристик від початкових, що знижує їх термічний опір і суттєво впливає на забезпечення нормальних умов мікроклімату в приміщенні.

Встановлено закономірність зміни температури внутрішнього повітря та мікроклімату приміщень при охолодженні зі стаціонарного режиму при відключенні системи тепlopостачання для шести типів експлуатованих будівель з урахуванням застосованих огорожувальних конструкцій.

Встановлено час досягнення критичних температур мікроклімату та роботи інженерних мереж для різних типів будівель при різних коефіцієнтах теплоакумуляції при температурах зовнішнього повітря - холодної п'ятиденки і місяців опалювального періоду.

Для контролю температури внутрішнього повітря в період охолодження і своєчасного включення системи резервно-переривчастого опалення при досягненні мінімальної температури розроблена автоматизована система контролю та подачі теплової енергії, яка впроваджена на підприємстві (торгівельний комплекс АТБ) і дозволила отримати економічний ефект за рахунок зменшення енергоспоживання в середньому на 23%. Впровадження результатів досліджень з контролю і забезпечення необхідних умов мікроклімату приміщень на виробництві дозволили встановити залежності, які дозволяють визначити величину відносної резервної теплоподачі і час відновлення нормального теплопостачання при різній теплоакумуляуючій здатності огороджувальних конструкцій будівель і споруд з урахуванням забезпечення необхідних параметрів мікроклімату приміщень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беликов, А. С. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии / А. С. Беликов, А. П. Кожушко, В. В. Сафонов. – Днепропетровск : ЧП Федоренко А. А., 2010. – 528 с.
2. Грудзинский, М. М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М. М. Грудзинский, В. Н. Ливчак, М. Я. Поз. – Москва : Стройиздат, 1982. – 256 с
3. Губернский, Е. Д. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий / Е. Д. Губернский, Е. И. Корневская. – Москва : Медицина, 1978. – 192 с.
4. Дуганов, Г. В. Новые приборы, применяемые для измерения теплофизических характеристик горных пород / Г. В. Дуганов, В. Л. Чистяков, Э. Е. Стрежекуров // Приборостроение. – Киев, 1972. – Вып.12. – С. 3-5
5. Колесник, И. А. Теоретические исследования по разработке и применению датчиков с кольцевым нагревателем для определения теплотехнических свойств ограждающих конструкций / И. А. Колесник, А. С. Беликов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : сб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2015. – № 4 – С. 41-48.
6. Исследование влияния теплопроводных включений на параметры микроклимата помещений при отключении системы отопления / И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, И. А. Колесник, А. А. Шевченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 70. – С. 65-69.
7. Беликов, А. С. Влияние окружающей среды на параметры внутреннего воздуха помещений в отопительный период / А. С. Беликов, И. А. Колесник // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 49 : Безопасность жизнедеятельности в XXI веке - качество жилой среды 2009 : материалы IX Укр. науч.-практ. конф. – С. 112-115.

REFERENCES

1. Belikov, A.S., Kozhushko, A.P. and Safonov, V.V. (2010), *Okhrana truda na predpriyatiyakh strtoitelnoy industriyi* [Protection of labour on the enterprises of build industry], Dnepropetrovsk, UA.
2. Grudzynsky, M. M., Livchak, V.N. and Poz, M. Ya (1982) *Otopstelvo-ventilyatsionniye sistemy zdaniy povyshennoy etazhnosti* [Heating-ventilation systems of buildings of the promoted floor], Stroyizdat, Moscow, SU.
3. Gubernsky, Ye.D. and Korenevskaya, Ye. I. (1978), *Gigiyenicheskiye osnovy konditsionirovaniya mikroklimata zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Hygienic bases of conditioning of microclimate of dwelling and public buildings], Medicine, Moscow, SU.
4. Duganov, G.V., Chistyakov, V.L and Strezhekurov, T. Ye. (1972), «New devices applied for measuring of heating - physical descriptions of mine breeds», *Pryboroostroenye*, no. 12, pp 3-5.

5. Kolesnik, I. A. and Belikov, A.S (2015), «Theoretical researches on development and application of sensors with a circular heater for determination of heating engineering properties of barriering constructions», *Visnyk SHEI «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architektury»*, no 4, pp 41-48.

6. Vetytsky, I.L., Kaspyytseva, V.Yu, Kolesnik, I.A. and. Shevchenko, A.A. (2013), «Research of influencing of hot-water system inclusions on the parameters of microclimate of apartments in case of setting off system of heating» , *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye: sb. nauch. trudov, SHEI «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architektury»*, , Vyp. 70, pp. 65-69.

7. Belikov, A.S. and Kolesnik, I.A..(2009,) «Influence of environment on the parameters of internal air of apartments in a heating period», *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye: sb. nauch. trudov, SHEI «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architektury»*, Vyp. 49, pp. 112-115.

Про автора

Колесник Інна Олександрівна, асистент, кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, ДВНЗ «ПРидніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпропетровськ, Україна, inna-vlada@i.ua

About the author

Kolesnik Inna Aleksandrovna, Master of Science, assistant, Department of heating, ventilation and air quality, SHEI "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Dnepropetrovsk, Ukraine, inna-vlada@i.ua

Аннотация. Выполнен анализ параметров микроклимата помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения, их влияние на жизнедеятельность человека, рассмотрено влияние теплостойкости зданий на микроклиматические условия помещений, проанализированы методы контроля теплообмена ограждающих конструкций с внешней и внутренней средой.

Проведено научное и экспериментальное обоснование применение датчиков с кольцевым и плоским нагревателями и определены предельные условия их применения. Выполнены экспериментальные исследования параметров микроклимата помещений для шести видов ограждающих конструкций зданий в г. Днепропетровске. Найдены закономерности динамики охлаждения внутреннего воздуха и внутренних поверхностей ограждающих конструкций помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

Разработана методика определения времени охлаждения внутреннего воздуха в зависимости от коэффициента аккумуляции тепла ограждающих конструкций без учета и с учетом солнечной радиации и ветрового действия при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

Проведено внедрение результатов исследований контроля и обеспечения необходимых условий микроклимата помещений на производстве, что позволило установить зависимости, которые позволяют определить величину относительной резервной теплоподдачи и время возобновления нормального теплоснабжения при разной теплоаккумулирующей способности ограждающих конструкций зданий и сооружений с учетом обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений.

Ключевые слова: микроклимат, безопасность жизнедеятельности, санитарно-гигиенические условия, аварийные ситуации, система контроля и управление, критическая температура, динамика охлаждения, коэффициент теплоаккумуляции.

Abstract. In the paper the analysis of microclimate in the premises of scarce emergency situations in heating systems and their impact on human activity, the influence teplotryvkosti buildings on the premises microclimate conditions are analyzed methods to control heat walling with external and internal environment.

The scientific substantiation and experimental use of sensors with ring and flat heaters and certain boundary conditions of their application. Experimental study of microclimate premises for six types of walling buildings in the city. Dnepropetrovsk. Found laws of dynamics of internal air cooling and internal surfaces walling areas in emergency situations in scarce supply systems.

The method of determining the internal air cooling time depending on the coefficient of heat accumulation walling and without considering solar radiation and wind action in emergency situations in scarce supply systems.

An application of research results of monitoring and ensuring the necessary microclimate conditions in the production areas, it is possible to establish dependence for determining the relative heat supply backup and restoring normal heat at different heat accumulating capacity walling buildings and structures with a view to ensuring the necessary parameters of microclimate premises.

Keywords: climate, safety, sanitary conditions, emergency situations scarce, control and management, critical temperature, dynamic cooling, rate teploakumulyatsiyi.

Статья поступила в редакцию 8.06.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько