

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ТЕПЛОВОЛОГІСНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВЛІ

Л. П. Шумська (ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка)

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗДАНИЯ

Л. П. Шумская (ПолтНТУ имени Юрия Кондратюка)

FEATURES OF TRANSITION THERMAL AND HUMIDITY PROCESSES OF BUILDING

L. P. Shumska

У статті розглядаються особливості тепловологісних процесів, що досліджувались експериментально в лабораторних умовах та в діючих будівлях. Для більш детального вивчення зазначених процесів створено математичну модель. На основі отриманих даних аналізувалися методи утеплення огорожувальних конструкцій, перебіг теплових і вологісних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях будівель. Отриману інформацію закладено в основу методики розрахунку параметрів мікроклімату у приміщеннях.

Ключові слова: теплоізоляційні вироби, математичне моделювання, огорожувальна конструкція, теплопровідність, тепловологісні процеси, енергоефективність.

В статье рассматриваются особенности тепловых и влажностных процессов, которые исследовались экспериментально в лабораторных условиях и в действующих зданиях. Для более детального изучения указанных процессов создана математическая модель. На основе полученных данных анализировались методы утепления ограждающих конструкций, протекание тепловых и влажностных процессов, происходящих в ограждающих конструкциях зданий. Полученную информацию заложено в основу методики расчета параметров микроклимата в помещениях.

Ключевые слова: теплоизоляционные изделия, математическое моделирование, ограждающая конструкция, теплопроводность, тепловлажностные процессы, энергоэффективность.

Nowadays, the problem of creating new porous insulation materials and production technologies are extremely important.

Also, one of the today current requirements is increasing of the buildings energy efficiency that primarily is implemented by increasing their thermal protection. Thermal protection increasing effect directly on improving thermal comfort rooms in the cold season. In addition, reducing the heat load for heating at enhancing thermal protection can reduce the temperature of the coolant. This leads to improved thermal comfort and air quality in premises.

The results of studies, which are carried out experimentally in the laboratory and in existing buildings, are considered. The features of transition thermal and humidity processes of building are described. Based on the results of studies, methods of covering constructions insulation, the flow of heat and humidity processes occurring in the protective structures of buildings are analyzed. Obtained information is incorporated in the basic method for microclimate parameters calculating in the premises.

Keywords: heat-insulation materials, mathematical modeling covering construction, thermal conductivity, heat-and-mass transfer, energy efficiency.

Вступ. Однією з актуальних вимог сучасності є підвищення енергетичної ефективності будівель, що реалізується, насамперед, за рахунок посилення їх теплового захисту. Посилення теплозахисту прямо позначається на поліпшенні теплового комфорту приміщень у холодну пору року. Крім того, зменшення теплового навантаження на опалення при посиленні теплозахисту дає змогу знизити температуру теплоносія. Це сприяє поліпшенню теплового комфорту і якості повітря у приміщенні.

У результаті впливу на приміщення зовнішнього середовища, системи опалення, вентиляції, тепло- та вологовиділень у приміщеннях формуються параметри мікроклімату будівлі.

Зовнішнє середовище впливає на теплові параметри мікроклімату через огорожувальні конструкції (тут спостерігаються такі процеси, як передача тепла і вологи, інфільтрація та ексфільтрація) та внутрішні енергетичні зв'язки між приміщеннями. Тому тепловий захист будівлі є пасивним чинником формування теплового мікроклімату. Система опалення активно формує внутрішній мікроклімат, нейтралізуючи негативний вплив зовнішнього середовища. Ефективність цих процесів залежить від ефективності теплозахисних властивостей теплоізоляції. У даній роботі вивчається можливість використання як теплоізоляції розробленого нами нового пористого матеріалу на основі розчинних гідросилікатів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі міститься багато інформації щодо різних схем утеплювальних конструкцій [2-6], теплофізичних властивостей нових теплоізоляційних матеріалів [4-9] та способів їх виробництва [6-12].

Наприклад, у роботах [2, 3] подано детальний аналіз структури матеріалів, залежності теплофізичних характеристик від структурних показників та

закономірності перебігу теплообмінних процесів, але немає інформації щодо впливу на ці процеси вологості.

У роботах [6-9], крім того, теоретично аналізуються процеси перенесення тепла в пористому середовищі, але не враховуються вологовміст та форма пор. Звісно, це призводить до зниженої оцінки теплопровідності.

Роботи [10-12] присвячено розробленню методів формування пористої структури. Але вологісні параметри не досліджувалися. Врахування впливу вологи на інтенсивність теплообмінних процесів у теоретичних моделях – задача складна і, ймовірно, не може бути повною мірою вирішена. Тому тільки експериментальні дані можуть дати реальні результати щодо зазначеного впливу вологості і їх, звичайно, слід використовувати в теоретичних моделях.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень було вивчення закономірностей формування теплових та вологісних параметрів у приміщеннях різного призначення з використанням нового пористого теплоізоляційного матеріалу.

Задача досліджень – створення математичної моделі переносу тепла і вологи через огорожувальні конструкції будівель, аналіз впливу матеріалу теплоізоляції на зазначені процеси.

Основна частина дослідження. Для розроблення математичної моделі теплових та вологісних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях в умовах динамічного мікроклімату, було створено фізичну модель будівлі (рис. 1).

Розглядалась будівля, яка складається з таких елементів:

- зовнішні теплоємні огорожувальні конструкції з нового матеріалу (стіни, надпідвальні перекриття, горища);
- зовнішні малотеплоємні конструкції (вікна, балконні двері тощо);

- внутрішні теплоємні огорожувальні конструкції з нового матеріалу (внутрішні перегородки та стіни);

- водотрубна система опалення;
- внутрішнє середовище приміщень (повітря, меблі тощо).

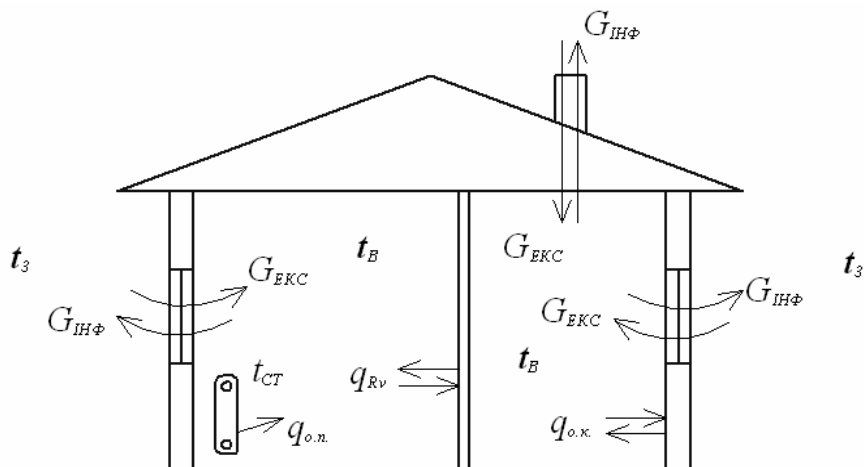


Рис. 1. Схема розподілення теплових потоків адміністративної будівлі:

t_3 — температура зовнішнього повітря; t_B — температура внутрішнього повітря будівлі; t_{CT} — температура поверхні системи опалення; $q_{o.n.}$ — тепловий потік, який надходить у будівлю від системи опалення; $q_{o.к.}$ — тепловий потік, який надходить у приміщення і відходить з нього через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі; q_{Rv} — тепловий потік, який проходить через внутрішні огорожувальні конструкції будівлі; $G_{IH\Phi}$ — об'єм інфільтраційного повітря; G_{EKC} — об'єм ексфільтраційного повітря

Рівняння теплового балансу повітряного середовища приміщень для такої будівлі буде мати вигляд:

$$-c_B m_B \frac{dt_{B(z)}}{dz} = \sum q_{3H}^K F_{3H}^K + \sum q_{BH}^K F_{BH}^K + q_{C.O.}^K F_{C.O.}^K \pm \sum_{l=1}^n q_{M.K.}^K F_{M.K.}^K + Q_{IH\Phi} + Q_{\Pi}^K \quad (1)$$

де c_B — питома теплоємність повітря; m_B — маса внутрішнього повітря опалювальних приміщень; q_{3H}^K , q_{BH}^K , $q_{o.п.}^K$, $q_{M.K.}^K$ — конвективні теплові потоки відповідно до зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; F_{3H}^K , F_{BH}^K , $F_{o.п.}^K$, $F_{M.K.}^K$ — площі теплообмінних поверхонь відповідно до конвективних теплових потоків зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій,

опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $Q_{IH\Phi}$ — інфільтраційні тепловиділення; Q_{Π}^K — конвективні побутові (технологічні) тепловиділення.

$$c_B m_B = \sum c_i m_i, \quad (2)$$

де c_i — питома теплоємність повітряного середовища приміщень; m_i — маса елементів повітряного середовища приміщень.

Рівняння теплового балансу променевих теплових потоків повітряного

середовища приміщень будівлі матиме вигляд:

$$\sum q_{\text{ЗН}}^{\text{П}} F_{\text{ЗН}}^{\text{П}} + \sum q_{\text{ВН}}^{\text{П}} F_{\text{ВН}}^{\text{П}} + q_{\text{С.О.}}^{\text{П}} F_{\text{С.О.}}^{\text{П}} \pm \sum q_{\text{М.К.}}^{\text{П}} F_{\text{М.К.}}^{\text{П}} + Q_{\text{ПБ}}^{\text{П}} = 0, \quad (3)$$

де $q_{\text{ЗН}}^{\text{П}}$, $q_{\text{ВН}}^{\text{П}}$, $q_{\text{О.П.}}^{\text{П}}$, $q_{\text{М.К.}}^{\text{П}}$ – променеві теплові потоки відповідно зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $F_{\text{ЗН}}^{\text{П}}$, $F_{\text{ВН}}^{\text{П}}$, $F_{\text{О.П.}}^{\text{П}}$, $F_{\text{М.К.}}^{\text{П}}$ – площі теплообмінних поверхонь відповідно до променевих теплових потоків зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $Q_{\text{ПБ}}^{\text{П}}$ – променеві побутові (технологічні) тепловиділення.

Для оцінки кількісного ефекту утеплення будівлі була створена математична модель перехідних теплових процесів цієї будівлі.

Основними елементами, що розглядаються, є зовнішні та внутрішні огорожувальні конструкції, система опалення будівлі та внутрішній мікроклімат приміщення.

При постановці даної задачі були використані такі спрощувальні умови: реальна система опалення замінена еквівалентним за тепловіддачею опалювальним приладом; розглядаються багат шарові зовнішні огорожувальні конструкції з ідеальним тепловим контактом між шарами; температурне поле в них одномірне; питомі теплоємності в робочому діапазоні температур постійні; теплоакумульовальна ємність малотеплоємних огорожувальних конструкцій (вікна, двері) дорівнює нулю; нерівномірністю розподілу температури повітря у приміщенні нехтуємо.

Як початковий розподіл температур можна задати умову стаціонарного режиму. Як збурювальна дія використовується

графік температур теплоносія в умовах «якісного» програмного регулювання.

Робота автоматичного регулятора в режимі програмного регулювання описується рівнянням, у якому є декілька невідомих. Автоматичний регулятор дає змогу регулювати температуру теплоносія в системі опалення залежно від температури зовнішнього та внутрішнього повітря будівлі. Розрахункова температура теплоносія в системі опалення описується рівнянням:

$$\tau_{10} = t_B + (t_{\text{О.П.}}^{\text{CP}} - t_B) \cdot Q^{0.8} + (\tau_1 - t_{\text{О.П.}}^{\text{CP}}) \cdot Q, \quad (4)$$

де t_B – температура внутрішнього повітря будівлі (наприклад, 18 °С); $t_{\text{О.П.}}^{\text{CP}}$ – середня температура опалювального приладу (наприклад, 82,5 °С); τ_1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення, що приймається за опалювальним графіком (наприклад, з параметрами 95/70 °С); Q – відносна кількість теплоти, необхідної для системи опалення, яка залежить від температури зовнішнього повітря та визначається за формулою:

$$Q = \frac{t_B - t_3}{t_B + t_{3P}}, \quad (5)$$

де t_3 – діюча температура зовнішнього повітря навколо будівлі.

Необхідна температура теплоносія в системі опалення описується рівнянням:

$$\tau_{10}^{\text{НЕОБХІД}} = t_{10} + K_t \cdot 0,1 \cdot (t_B^{\text{НЕОБХІД}} - t_B^{\text{ФАКТИЧ}}), \quad (6)$$

де K_t – коефіцієнт впливу температури внутрішнього повітря будівлі, який приймається у межах 1 - 99.

Робота клапана регулятора описується рівнянням:

$$\operatorname{Re} g = \frac{1}{X_p} \left[(\tau_{10}^{\text{НЕОБХІД}} - \tau_{10}) + \frac{1}{z} \int (\tau_{10}^{\text{НЕОБХІД}} - \tau_{10}) dz \right], \quad (7)$$

де X_p – зона пропорційності регулятора (для даного регулятора приймається у межах 1 - 250);

τ_{10} – температура теплоносія в системі опалення, °C.

Робота автоматичного регулятора пропорційно-інтегрального типу в режимі програмного регулювання описується рівнянням:

$$\tau_{10}^{\text{НЕОБХІД}} = t_{10} + K_t \cdot 0,1 \cdot (t_B^{\text{НЕОБХІД}} - t_B^{\text{ФАКТИЧ}}), \quad (8)$$

Система рівнянь теплового балансу еквівалентного опалювального приладу водотрубною системи опалення має вигляд:

$$\begin{cases} \tau_{2(\infty)} = t_{CT} + (\tau_1 - t_{CT}) e^{-\frac{a_1 F_1}{cG}} \\ c_1 m_1 \frac{d\tau_{2(z)}}{dz} = (c_1 G + a_1 F_1)(\tau_{2(\infty)} - \tau_{2(z)}) \\ c_1 m_1 \frac{d\tau_{CP(z)}}{dz} = c_1 G(\tau_1 - \tau_{2(z)}) - a_1 F_1(\tau_{CP(z)} - t_{CT(z)}) \\ c_{CT} m_{CT} \frac{dt_{CT(z)}}{dz} = a_1 F_1(\tau_{CP(z)} - t_{CT(z)}) - [a_2^K F_2^K (t_{CT(z)} - t_B) + a_2^H F_2^H (t_{CT(z)} - t_R)] \end{cases} \quad (9)$$

де c_1, m_1 – питома теплоємність і вага теплоносія системи опалення; z – час; G – витрата теплоносія у квартальній тепловій мережі (до елеватора); τ_1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі квартальної теплової мережі; τ_{CP} – середня температура теплоносія в системі опалення; a_1 – коефіцієнт теплообміну на внутрішній поверхні стінки еквівалентного опалювального приладу; α_2^H, α_2^K – відповідно коефіцієнт променевого та конвективного теплообміну на зовнішній поверхні стінки еквівалентного

опалювального приладу; F_1 – площа внутрішньої поверхні опалювального приладу; F_2^H, F_2^K – відповідно площа зовнішньої поверхні опалювального приладу конвективної та променевої складової; c_{CT}, m_{CT}, t_{CT} – відповідно питома теплоємність, вага і температура стінки еквівалентного опалювального приладу; t_B – температура внутрішнього повітря приміщення; t_R – середня радіаційна температура внутрішнього повітря приміщення.

Рівняння теплового балансу внутрішнього повітря будівлі має вигляд:

$$\begin{aligned}
c_B m_B \frac{dt_{B(z)}}{dz} = & a_2^K F_2(t_{CT(z)} - t_{B(z)}) - a_2^П F_2(t_{CT(z)} - t_{R(z)}) - \\
& - a_B F_{3K}(t_{B(z)} - t_{HK(0,z)}) - a_B F_{BK} \times (t_{B(z)} - t_{BK(\delta/2,z)}) - c_{\Pi} G_{\Pi H}(t_{B(z)} - t_{H(z)}) - \\
& \Sigma a_B^K F_{MK}(t_{B(z)} - t_{MK(z)}) - \Sigma a_B^П F_{MK}(t_{R(z)} - t_{MK(z)})
\end{aligned} \quad (10)$$

де c_B – питома теплоємність повітря; m_B – вага внутрішнього повітря опалювальних приміщень; a_B – коефіцієнт теплообміну на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій; F_{3K} , F_{BK} , F_{MK} – площі відповідно зовнішніх, внутрішніх огорож і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $t_{3K(0,z)}$, $t_{BK(\delta/2,z)}$, $t_{MK(z)}$ – температури відповідно на внутрішніх поверхнях зовнішніх, внутрішніх і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $G_{\Pi H}$ – витрата інфільтраційного повітря.

Наступним елементом математичної моделі тепловологісних процесів є система диференціальних рівнянь, що описує нестационарний тепловий режим теплоємних огорожувальних конструкцій і дозволяє знайти температуру на поверхні та в перерізі зовнішніх багат шарових теплоємних огорожувальних конструкцій (рис. 2).

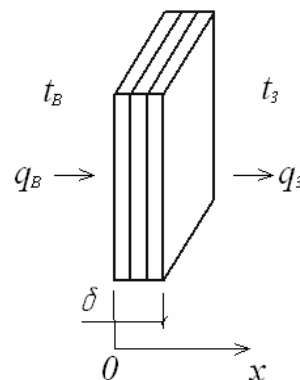


Рис. 2. Багат шарова зовнішня огорожувальна конструкція

Ця система складається з диференціального рівняння теплопровідності Фур'є для кожного i -го шару конструкції:

$$\frac{\partial t_{3K(x,z)}}{\partial z} = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \cdot \frac{\partial^2 t_{3K(x,z)}}{\partial x^2}, \quad (11)$$

при граничних умовах біля зовнішньої поверхні ($x = \delta$):

$$-\lambda_{3K} \frac{\partial t_{3K}}{\partial x}(\delta, z) = \alpha_3^{K+П} (t_{3K(\delta,z)} - t_{3(z)}) \quad (12)$$

і біля внутрішньої поверхні ($x = 0$):

$$-\lambda_{3K} \frac{\partial t_{3K}}{\partial x}(0, z) = \alpha_B^K (t_{B(z)} - t_{3K(0,z)}) + \alpha_B^П (t_{R(z)} - t_{3K(0,z)}) \quad (13)$$

Між шарами конструкції застосовуються граничні умови четвертого роду.

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1}(\delta, z) = \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x_2}(0, z), \quad (14)$$

де $t_{3K(X,Z)}$ — температура у товщі зовнішньої стіни, яка залежить від координати x і часу z , °C;

λ_i — теплопровідність i -го шару конструкції, Вт/м·°C;

λ_{3K} — теплопровідність зовнішньої стіни, Вт/м·°C;

δ_i — товщина i -го шару зовнішньої стіни, м;

α_3^{K+II} — коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні огорож, Вт/м²·°C;

$\alpha_B^K, \alpha_B^{II}$ — коефіцієнти відповідно конвективного та променевого теплообміну біля внутрішньої поверхні огорож, Вт/м²·°C.

Початкові умови задаються стаціонарним розподілом температур у кожному шарі:

$$t(x_i, \infty) = t(0, \infty) - x_i(t(0, \infty) - t(\delta_i, \infty)) / \delta_i, \quad (15)$$

де δ_i — товщина i -го шару;

x_i — просторова координата;

t — температура i -го шару.

Температуру на поверхні внутрішніх огороджувальних конструкцій (перегородки, міжповерхові перекриття) можна знайти, розв'язуючи систему рівнянь теплового балансу цих конструкцій.

Теплові процеси в теплоємних внутрішніх огороджувальних конструкціях описуються системою рівнянь, яка

складається з диференціального рівняння теплопровідності (рис. 3):

$$\frac{\partial t_{BK(X,Z)}}{\partial z} = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \cdot \frac{\partial^2 t_{BK(X,Z)}}{\partial x^2}; \quad (16)$$

при граничних умовах у центрі стіни:

$$-\lambda_{BK} \frac{\partial t_{BK}}{\partial x}(0, z) = 0$$

і на її зовнішній поверхні:

$$-\lambda_{BK} \frac{\partial t_{BK}}{\partial x}(\delta_i, z) = \alpha_B^K (t_{BK(\delta_i, Z)} - t_{B(Z)}) + \alpha_B^{II} (t_{BK(\delta_i, Z)} - t_{R(Z)}) \quad (18)$$

та граничні умови 4-го роду на межі матеріалів:

$$\lambda_i \frac{\partial t_i}{\partial x_i}(\delta, z) = \lambda_{i+1} \frac{\partial t_{i+1}}{\partial x_{i+1}}(0, z). \quad (19)$$

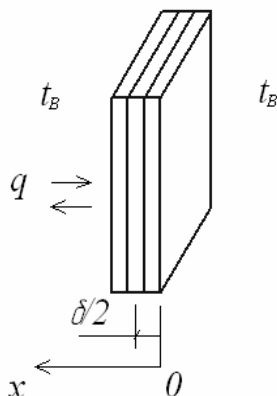


Рис. 3. Багатошарова внутрішня огорожувальна конструкція

Температуру на внутрішній поверхні малотеплоємних зовнішніх огорож можна знайти, скориставшись рівністю теплових

потоків на внутрішній і на зовнішній поверхнях цих конструкцій:

$$\begin{cases} q_{MK} = \alpha_3 (t_{MK(\delta)} - t_H) \\ q_{MK} = \frac{\lambda_{MK}}{\delta_{MK}} (t_{MK(0)} - t_{MK(\delta)}) \\ q_{MK} = \alpha_B^K (t_B - t_{MK(0)}) + \alpha_B^H (t_R - t_{MK(0)}) \end{cases} \quad (20)$$

де q_{MK} — тепловий потік через малотеплоємні зовнішні конструкції; $t_{MK(\delta)}, t_{MK(0)}$ — температура на зовнішній і на внутрішній поверхні цієї огорожувальної конструкції.

В основі визначення вологості матеріалів конструкції лежить диференціальне рівняння дифузії водяної пари в сорбційному середовищі:

$$\xi_i \rho_i \frac{\partial e}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_i \frac{\partial e}{\partial x} \right), \quad (21)$$

де ξ_i — відносна пароемність і-го шару матеріалу, г/кг; ρ_i — густина і-го шару матеріалу, кг/м³; e — парціальний тиск, Па; z — час переміщення водяної пари, с; μ_i — коефіцієнт паропроникності і-го шару

матеріалу, г/(м·с·Па); x — просторова координата, м.

Для розрахунку вологісних процесів огорожувальних конструкцій будівель рівняння (21) необхідно доповнити граничними умовами 3-го роду. Ці граничні умови біля внутрішньої та зовнішньої поверхонь зовнішньої стіни можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} \mu_1 \frac{\partial e_{1,z}}{\partial x} &= \beta_B (e_B - e_{1,z}) \\ \mu_n \frac{\partial e_{n,z}}{\partial x} &= -\beta_3 (e_{n,z} - e_3) \end{aligned} \quad (22)$$

де μ_1, μ_n — коефіцієнт паропроникності відповідно внутрішнього та зовнішнього шару конструкції, г/(м·с·Па); β_B, β_3 — коефіцієнт вологообміну біля внутрішньої та зовнішньої поверхонь,

$g/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$; e_B, e_3 – парціальний тиск водяної пари в повітрі відповідно з внутрішнього та зовнішнього боку стіни, Па; e_1, e_n – парціальний тиск водяної пари відповідно на внутрішній та зовнішній поверхнях конструкції, Па.

Відносну паросмість матеріалу можна визначити за формулою, g/kg ,

$$\xi_i = 1000 \frac{d\omega_i}{d\phi_i}, \quad (23)$$

де ω_i – масова вологість i -го шару матеріалу, %; ϕ_i – відносна вологість повітря, %.

Коефіцієнт вологообміну β_B залежить від температури, вологості, рухливості повітря біля поверхні. В умовах природної конвекції його можна розрахувати за формулою, $g/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$,

$$\beta_B = 1,192 \cdot 10^{-8} \Delta t^{\frac{1}{3}} \Delta e^{\frac{2}{5}}, \quad (24)$$

де Δt – різниця температур між повітрям та поверхнею огорожувальної конструкції, $^{\circ}C$; Δe – різниця парціальних тисків у повітрі і на поверхні стінки, Па.

$$\Delta e = e_B - e_{1,z}, \quad (25)$$

$$\Delta t = t_B - t_{1,z}. \quad (26)$$

Парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, яка міститься в повітрі в інтервалі температур $-30 \div +20^{\circ}C$, може апроксимуватися залежністю:

$$E = 479 + (11,52 + 1,62t)^2. \quad (27)$$

Головним завданням дослідження був пошук шляхів підвищення економії теплової енергії при утепленні зовнішніх стін будівлі пінобетоном.

Розглядався температурний режим приміщення адміністративної будівлі міста Полтави. Для розрахунку приймалось приміщення з такими параметрами:

- будівля цегляна;
- товщина зовнішніх стін – 0,72 м;

Початкові умови: коефіцієнт теплообміну біля зовнішньої поверхні стіни – $23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}C$; коефіцієнт теплообміну біля внутрішньої поверхні стіни – $8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}C$; температура внутрішнього повітря – $18^{\circ}C$.

Для визначення економії енергоресурсів на прикладі такої будівлі було виконано розрахунки для утеплювання зовнішніх стін пінобетоном товщиною 100 мм.

Тепловтрати через зовнішні стіни зменшуються на

$$\Delta Q = \frac{R_{II}}{R_{CT}} = \frac{\frac{\delta_2}{\lambda_2}}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3}} = \frac{\frac{0.1}{0.21}}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.72}{0.64} + \frac{0.1}{0.21} + \frac{1}{23}} = 0.27, \quad (28)$$

тобто на 27 %. Проте для даної будівлі тепловтрати через зовнішні стіни складають лише 39 %. Інші втрати теплоти відбуваються через засклення, за рахунок підігріву інфільтраційного повітря, через горище та підлогу 1-го поверху. З

урахуванням цих тепловтрат, економія енергоресурсів для будівлі в цілому (при $+5^{\circ}C$) складатиме $27 \cdot 0,39 = 10,6\%$. У холодний період зниження температури зовнішнього повітря призводить до збільшення витрат інфільтраційного

повітря в будівлях з гравітаційними системами вентиляції. Ці витрати можна

розрахувати за формулою:

$$L_t = L_{+5} \sqrt{\frac{\Delta P_t}{\Delta P_{+5}}} = L_{+5} \sqrt{\frac{\rho_{t_3} - \rho_B}{\rho_{+5} - \rho_B}}, \quad (29)$$

де ρ_{t_3} – густина зовнішнього повітря, кг/м³; ρ_B – густина внутрішнього повітря, кг/м³; ρ_{+5} – густина зовнішнього повітря при розрахунковій зовнішній температурі (+5 °C), кг/м³.

При будь-якій температурі густину повітря визначаємо за формулою, кг/м³

$$\rho_t = \frac{353}{273+t}. \quad (30)$$

Результати розрахунку для різних температур зовнішнього повітря зображені на рис. 4.

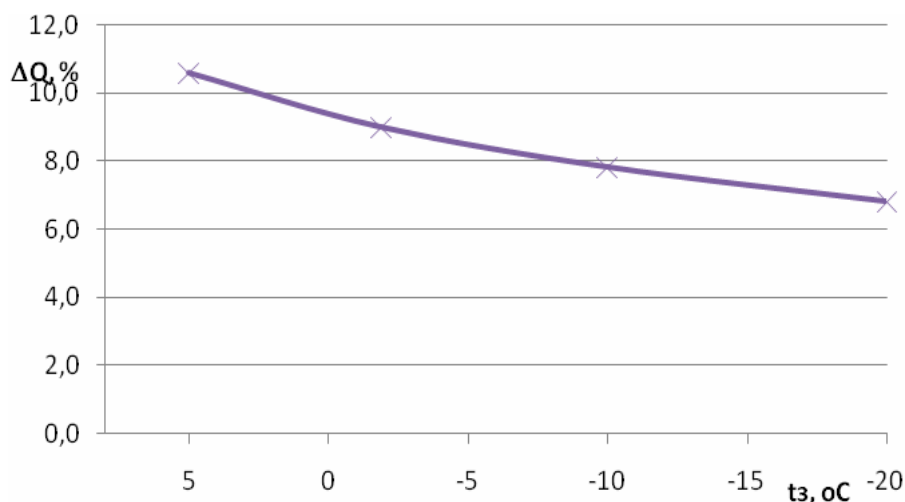


Рис. 4. Економія теплоти при утепленні зовнішніх стін будівлі при різних температурах зовнішнього повітря

Утеплення існуючих зовнішніх стін цегляної будівлі дає відчутний енергозберігаючий ефект (для м. Полтава у розмірі 9,1 %), проте цей захід потребує додаткових капітальних витрат.

Розрахунки перехідних режимів було виконано на основі математичної моделі, яка дозволяє визначити температуру та вологість огорож в будь-якій її точці в

довільний момент часу для різних типів матеріалів. Результатами розрахунку є графіки розподілу вологості матеріалів зовнішньої стіни. Розподіл вологи товщі стіни показано на рис. 5, 6.

З графіка (рис. 5) видно, що річна вологість, накопичена в зовнішній стінці приміщення, значно менша за допустиму вологість (4 %).

1. Утеплення зовнішньої стіни ззовні:

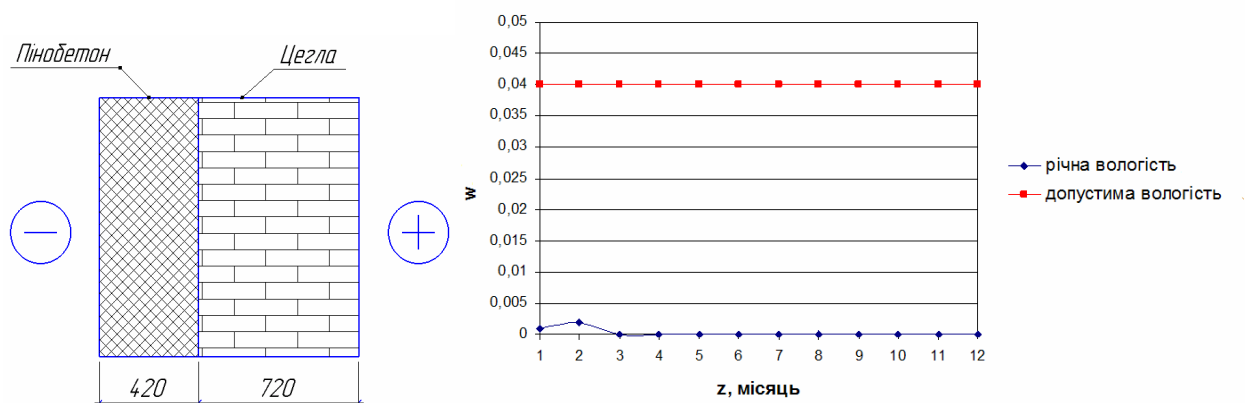


Рис. 5. Річний розподіл вологи всередині утепленої ззовні огорожувальної конструкції

2. Утеплення зовнішньої стіни всередині приміщення:

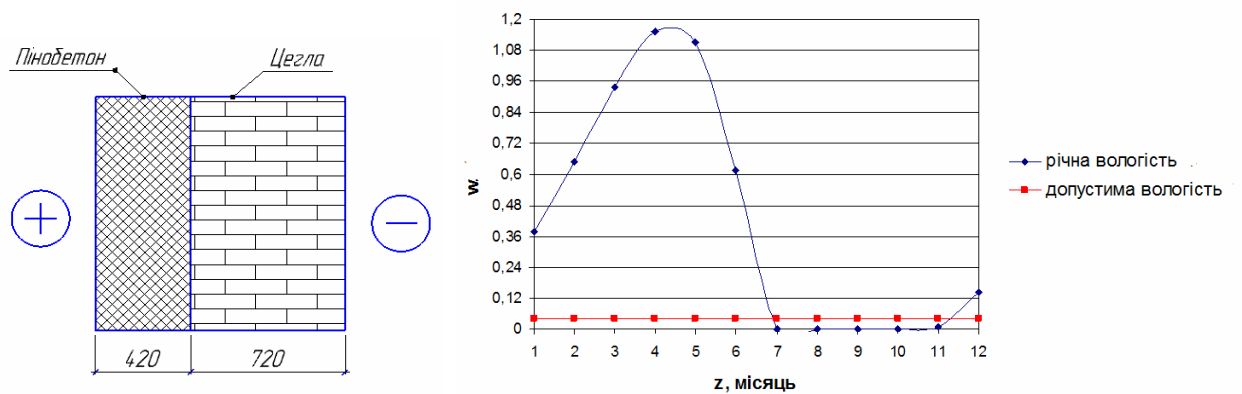


Рис. 6. Річний розподіл вологи всередині утепленої зсередини приміщення огорожувальної конструкції

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розрахунки показують, що у разі внутрішнього утеплення річна вологість, накопичена в зовнішній стіні приміщення, приблизно в 30 разів перевищує допустиме значення вологості матеріалу. Тому можна зробити остаточний висновок про недоцільність внутрішнього утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій пінобетоном у разі стабілізації

внутрішнього мікроклімату опалюваних приміщень.

Для створення динамічного мікроклімату можуть застосовуватися огорожувальні конструкції, утеплені з обох боків. Для таких конструкцій виникає необхідність у з'ясуванні теплофізичних характеристик, при яких вологість конструкції не перевищує максимального нормативного рівня. Особливо важливою є максимальна товщина внутрішнього теплоізоляційного шару.

Список використаних джерел

1. Pavlenko, A. M. Determination of energy parameters of technology of thermal pore formation [Text] / A.M. Pavlenko, L.P. Shumska // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 11. – P. 99-104.
2. Пористі теплоізоляційні матеріали [Текст]: монографія / Е. Г. Братута, А. В. Кошлак, А. М. Павленко, О. В. Кругляков. – Харків: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 107 с.
3. Боднарева, Л. Поведение легкого керамзита, бетона, подверженных воздействию высоких температур [Текст] / Л. Боднарёва, Р. Гела, М. Губертова, И. Новакова // Международный журнал гражданского, экологического, структурного строительства и архитектурного проектирования. – 2014. – № 8. – С. 1205-1208.
4. Nimmo, J.R., 2004, Porosity and Pore Size Distribution, in Hillel, D., ed. Encyclopedia of Soils in the Environment: [Text] London, Elsevier, v. 3. – P. 295-303.
5. Pavlenko, A. Analys is of thermal peculiarities of alloy in gwith special properties [Text] / A. Pavlenko, B. Usenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №2. – P. 50-55.
6. Lopez-Pamies, O. Effects of internal pore pressure on closed-cellelastomericfoams [Electronic resource] / O. Lopez-Pamies, P. Ponte Castañeda, M. Idiart // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – № 49. – from [http: 10.1016/j.ijsol-str.2012.02.024](http://10.1016/j.ijsol-str.2012.02.024).
7. Aboudi, J. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach [Text] / J. Aboudi, S. Arnold, B. Bednarczyk. – Elsevier, 2012. – 1006 p.
8. Pavlenko, A. Design of processes of thermal bloating of silicates [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1. – P. 123-127.
9. Pavlenko, A. Production of porous material with projected ther mophysical characteristics [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015.– №1. – P. 50-55.
10. Pavlenko, A. M. Peculiarities control the forming of the porous structure [Text] / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak, B. O. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Issue 6. – P. 50-55.
11. Pavlenko, A. Thermal conductivity of the gas in small spase [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, B. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №2. – P. 20-24.
12. Pavlenko, A. Study of theformation of gas-vapor in the liquid mixture [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheilytko, M. Nosov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №5(82). – P.58-65.

Шумська Любов Петрівна, директор Полтавського коледжу нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, здобувач кафедри теплопостачання, вентиляції та теплоенергетики Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.
Тел.: 050-9137315. E-mail: schumska@gmail.com.

Shumska Lyubov, Director of Poltava Oil and Gas College of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, aspirant of Department of heat and gas supply, ventilation and heat power engineering of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: 050-9137315. E-mail: schumska@gmail.com.

Стаття прийнята 24.03.2017 р.