ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

Чайка Юрій Іванович

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО СТАНУ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

05.23. 03 - "Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання"

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

м. Харків - 1997

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00751012 (G)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харк[illegible] університеті будівництва та архітектури.

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор
Редько Олександр Федорович;
кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник Черних Людмила Федорівна.

Офіційні опоненти

1. Доктор технічних наук, професор Строй А.Ф.
2. Кандидат технічних наук, доцент Хренов В.А.

Провідна установа: Харківська державна академія міського господарства.

Захист відбудеться 18. 09. 1997 р. об 11[00] на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.07.01 у Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури, за адресою: м. Харків, вул. Сумська, 40

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури

Автореферат розіслано "7" серпня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент _____ Конотило М.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Висока вартість теплової енергії зумовлює впроваджувати до практики будівництва енергозберігаючі технології. Одним з напрямків цієї галузі є підвищення опору теплопередачі зовнішніх огороджуючих конструкцій будівель за рахунок застосування нових матеріалів, проте процеси тепломасообміну у таких конструкціях вивчені недостатньо. Існуючі методики оцінки нестаціонарного тепло-вологісного стану огороджуючих конструкцій не враховують фазові перетворення вологи та фільтрацію повітря під час вибору конструктивного рішення, тому вдосконалення методики вирішення завдань тепло-вологісного стану зовнішніх огороджуючих конструкцій будівель, що базується на математичному моделюванні процесів тепломасообміну є актуальним.

Мета дисертаційної роботи - полягає в удосконаленні методики розрахунку нестаціонарного тепловологісного стану стінових огороджуючих конструкцій цивільних будівель, основаному на математичному моделюванні процесів тепломасообміну.

Завдання дослідження включають:

- уточнення фізико-математичного опису процесів дифузії водяної пари в огороджуючих конструкціях цивільних будівель;
- створення математичної моделі, програмного забезпечення, експериментального підтвердження правильності розробленої методики;
- вдосконалення методики тепловологісного розрахунку огороджуючих конструкцій з урахуванням фазових перетворень вологи та фільтрації повітря.

Наукова новизна. Полягає у наступному:

- вдосконалено методику розрахунку нестаціонарного тепловологісного стану огороджуючих конструкцій будівель з урахуванням нелінійності теплофізичних характеристик будівельних матеріалів, засновану на розв'язанні диференційних рівнянь тепло-масопереносу, що враховує фазові перетворення вологи, фільтрацію повітря;

- удосконалено положення методу елементарних балансів, що дозволять описувати вплив фільтрації повітря на тепловологісний стан неоднорідних зон огороджуючих конструкцій.

Практична цінність. Удосконалена методика розрахунку тепловологісного стану огороджуючих конструкцій будівель дозволяє виконувати оцінку теплотехнічної ефективності, давати обґрунтування рівня тепло- та вологозахисту деяких перспективних рішень, що впроваджуються до виробництва. Отримані апроксимаційні залежності коефіцієнтів вологопередачі, рівнянь сорбції водяної пари будівельними матеріалами можуть бути використані для оцінки вологісного стану огороджуючих конструкцій. Запропонована методика розрахунку зміни вологістного стану матеріалу, під дією повітря, що фільтрується, дозволяє визначати найбільш ефективні режимні параметри сушіння огороджуючих конструкцій.

Апробація праці. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми та перспективи ресурсозбереження у житлово-комунальному господарстві" (ХДАКГ, Харків 1995 р), 49-ій науково-технічній конференції ХДТУБА "Підвищення ефективності будівництва" (Харків 1994 р), 50-ій науково-технічній конференції ХДТУБА "Підвищення ефективності будівництва" (Харків 1995 р), 51-ій науково-технічній конференції ХДТУБА "Будувати - думати про майбутнє" (Харків 1996 р).

На захист виносяться:

- математична модель розрахунку нестаціонарного тепловологісного стану огороджуючих конструкцій будівель, що враховує фазові перетворення вологи, фільтрацію повітря;

- інженерний метод розрахунку нестаціонарного тепловологісного стану огороджуючих конструкцій будівель, заснований на розв'язанні диференційних рівнянь тепло-масопереносу, що враховує фазові перетворення вологи, фільтрацію повітря.

Результати дисертаційної роботи використані для теплотехнічних

розрахунків експериментальних стінових панелей відділом будівельної теплофізики КиївЗНДІЕП, під час корегування типових проектів крупнопанельних житлових будинків 94-ої серії, що виконувалися інститутом УКРМІСТБУДПРОЕКТ для різних ДБК України, проектування систем опалення цивільних та промислових будинків НВФ "Сантехпром".

Достовірність отриманих результатів підтверджена подібністю результатів розрахунків, даних натурних спостережень та лабораторних досліджень.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури з 173 найменувань та додатків, 42 сторінок малюнків, 14 сторінок таблиць, 124 сторінок основного тексту, всього 180 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. У вступі розглядається актуальність, наукова новизна та практична цінність досліджень, що виконувалися, визначена мета дисертаційної праці та основні задання, що слід розв'язати для досягнення поставленої мети.

Перший розділ. У першому розділі наведений огляд робіт, присвячених дослідженням теплового сприймання та самопочуття людей, що знаходяться у приміщеннях цивільних будівель, стану та перспективам методів проектування, розрахунку, виробництва та експлуатування зовнішніх огороджуючих конструкцій. Дані цих досліджень дозволяють твердити про необхідність проектування і застосування огороджуючих конструкцій цивільних будівель із підвищеним опором теплопередачі, що дає змогу підтримувати комфортні параметри температурно-вологісного режиму приміщення зі зменшеною витратою теплоти на опалення.

З грудня 1995 р. до березня 1996 р. проводилися натурні спостереження температурних полів зовнішніх огороджуючих конструкцій житло-

ЛНБ ім. В. Стефаника
АЦ України

вих будинків серій 163 та П-57 Ю А. Проведені спостереження довели, що перепад між температурою повітря та температурою внутрішньої поверхні несвітлопрозорих огороджуючих конструкцій складав 5-10°С, світлопрозорих огороджуючих конструкцій - 7-14°С, внаслідок використання мешканцями електрообігріваючих приладів та спалювання природного газу на потреби опалення у денний період відзначені різкі стрибки температури внутрішнього повітря протягом доби. Вночі відзначено значне охолодження приміщень. Протягом двох третин періоду проведення досліджень, при від'ємних температурах зовнішнього повітря на внутрішній поверхні світлопрозорих огороджуючих конструкцій, а також у зоні стику панелей зовнішнього куту помічена конденсація вологи. Ці дані свідчать про недостатній рівень теплозахисту зовнішніх огороджуючих конструкцій з R_0=0.88 м²*°С/Вт.

Зараз у виробництво впроваджуються тришарові стінові огороджуючі конструкції з R_0=1.6 - 2.5 м²*°С/Вт. Їхнє використання у поєднанні з конструкціями горищних та підвальних перекрить з R_0=2.3 - 3.0 м²*°С/Вт, світлопрозорими огороджуючими конструкціями R_0=0.39 - 0.5 м²*°С/Вт, дозволяє знизити витрату теплоти на опалення на 30 - 32% на м² житлової площі.

Підвищена вологість, що знижує теплозахисні якості визначається технологією виробництва тришарових огороджуючих конструкцій. Під час подальшого експлуатування у конструкціях інтенсивно протікають процеси масообміну.

Дослідження процесів тепломасообміну отримали глибоке освітлення у працях О. В. Ликова, В. М. Богословського, К. Ф. Фокіна, Ф. В. Ушкова, В. М. Ільїнського, В. І. Лук'янова. Вирішенню завдань даного класу присв'ячені праці О. В. Ликова, О. П. Ванічева, О. А. Самарського, М. М. Беляєва, О. А. Рядно, Г. М. Дульнєва, Ю. А. Матросова, Ю. А. Табунщикова.

Аналіз недоліків методик оцінки тепло-вологісного стану огород-

жуючих конструкцій дозволив твердити про необхідність удосконалення методики розрахунку нестаціонарних температурно-вологісних полів з урахуванням нелінійності та взаємопов`язаності процесів переносу тепла й маси, фазових перетворень вологи та фільтрації вологого повітря.

Наведений у першому розділі огляд стану проблеми, а також результати натурних спостережень дозволили поставити мету та визначити завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ. У другому розділі приведений уточнений опис процесів дифузії водяної пари з урахуванням фазових перетворень рідини, опис теоретичних основ методики розрахунку тепловологісного стану огороджуючих конструкцій, опис математичної моделі рішення задачі, наведена оцінка апроксимації, стійкості, співпадання та точності розрахункового методу.

Тепломасообмін у огороджуючих конструкціях з урахуванням фазових перетворень вологи та фільтрації повітря описується системою диференційних рівнянь у частинних похідних:

$$\begin{cases} c\rho\dfrac{\partial t}{\partial \tau}=\dfrac{\partial}{\partial n}\left[\lambda\ \dfrac{\partial t}{\partial n}\right]\pm\ \varepsilon_{1\text{-}2}*r_{1\text{-}2}*\rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}\pm\varepsilon_{2\text{-}3}*r_{2\text{-}3}*\rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}\pm\ W*c_p\dfrac{\partial t}{\partial n}, \\ \xi\rho\dfrac{\partial e}{\partial \tau}=\mu^{*}E_{\delta}*\ \dfrac{\partial e}{\partial n^2}\pm\varepsilon_{1\text{-}2}*\rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}\pm\ W*c_e\dfrac{\partial t}{\partial n}\ , \\ \rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}=\ \dfrac{\partial}{\partial n}\left[\beta\ \dfrac{\partial u_2}{\partial n}\right]\pm\ \varepsilon_{1\text{-}2}*\rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}\pm\varepsilon_{2\text{-}3}*\rho^{*}\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}\ , \\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}=\ \varepsilon_{2\text{-}3}\ *\ \dfrac{\partial u_2}{\partial \tau}, \\ \dfrac{\partial p}{\partial \tau}=0, \end{cases} \qquad (1)$$

Змішані граничні умови третього та четвертого роду для системи (1):

$$\begin{cases} \alpha_{\text{п}}*\left[t_{\text{п}}(\tau)-t_{\text{с}}(\tau)\right]_{x=0}-\lambda^{*}\left(\dfrac{\partial t}{\partial x}\right)\Big|_{x=0}+\lambda_{\text{с}}*\left(\dfrac{\partial t}{\partial x}\right)\Big|_{x=0}=0, \\ \alpha_{\text{п}}*\left[t_{\text{с}}(\tau)-t_{\text{п}}(\tau)\right]_{x=\delta}-\lambda^{*}\left(\dfrac{\partial t}{\partial x}\right)\Big|_{x=\delta}-\lambda_{\text{с}}*\left(\dfrac{\partial t}{\partial x}\right)\Big|_{x=\delta}=0, \\ \dfrac{1}{r_{\text{п}}}*\left[e_{\text{п}}(\tau)-e_{\text{с}}(\tau)\right]_{x=0}-\mu^{*}\left(\dfrac{\partial e}{\partial x}\right)\Big|_{x=0}-\mu_{\text{с}}*\left(\dfrac{\partial e}{\partial x}\right)\Big|_{x=0}=0, \\ \dfrac{1}{r_{\text{п}}}*\left[e_{\text{с}}(\tau)-e_{\text{п}}(\tau)\right]_{x=\delta}-\mu^{*}\left(\dfrac{\partial e}{\partial x}\right)\Big|_{x=\delta}-\mu_{\text{с}}*\left(\dfrac{\partial e}{\partial x}\right)\Big|_{x=\delta}=0, \end{cases} \qquad (2)$$

Умови сполучення на межі розділення двох матеріалів із різними тепло-фізичними властивостями мають вигляд:

$$\begin{cases} \bar{t}_1|_{x=0} = \bar{t}_2|_{x=0}, \\ \bar{e}_1|_{x=0} = \bar{e}_2|_{x=0}, \\ \bar{P}_1|_{x=0} = \bar{P}_2|_{x=0}, \\ (\overline{u_1})_2|_{x=0} = (\overline{u_2})_1 * \eta(\overline{u_1})_1|_{x=0}, \end{cases} \quad (3)$$

Умови сполучення теплового потоку та потоку вологи на межі фазового переходу рідина - криофаза:

$$\begin{cases} -\lambda_1 * \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)|x_{t-0} = -\lambda_2 * \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)|x_{t+0} \pm r_{2-3} * \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{2-3}, \\ -\beta_1 * \left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)|x_{t-4} = -\beta_2 * \left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)|x_{t+0} \pm \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{2-3}, \\ \rho * \left(\frac{\partial u_3}{\partial x}\right) = \pm \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{2-3}, \end{cases} \quad (4)$$

Умови сполучення теплового потоку, потоків водяної пари та вологи у площині фазового переходу рідина - пара:

$$\begin{cases} -\lambda_1 * \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)|x_{t-0} = -\lambda_2 * \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)|x_{t+0} \pm r_{1-2} * \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{1-2}, \\ -\mu * \left(\frac{\partial e}{\partial x}\right)|x_{t-0} = -\mu * \left(\frac{\partial e}{\partial x}\right)|x_{t+0} \pm \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{1-2}, \\ -\beta_1 * \left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)|x_{t-4} = -\beta_2 * \left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)|x_{t+0} \pm \rho * \left(\frac{\partial x}{\partial \tau}\right) * \Delta u_{1-2}, \end{cases} \quad (5)$$

Стартові умови:

$$\begin{cases} t(x,0) = f(x), \\ e(x,0) = f(x), \\ u_2(x,0) = f(x), \\ u_3(x,0) = f(x), \\ P(x,0) = f(x), \end{cases} \quad (6)$$

Залежно від величини потенціалу переносу тепла, вологи, температури та вологості матеріалів огороджуючої конструкції можливі варіанти процесів дифузії водяної пари.

Дифузія водяної пари крізь конструкцію, див. мал. 1.а:

$$\varphi_в \cdot E_в (t_в) > \varphi_н \cdot E_н (t_н), \varphi_i < 1,$$
$$u_i = f(\varphi_i \cdot Es(t_i), \varphi_в \cdot E_в(t_в), \varphi_н \cdot E_н(t_н), x/\mu), \text{grad } t \neq 0, \quad (7)$$

Дифузія з конденсацією частини водяної пари у конструкції, див. мал. 1.б:

$$\varphi_в \cdot E_в(t_в) > \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ \varphi_i = 1,$$
$$u_i = f(\varphi_i \cdot E_в(t_i),\ \varphi_в \cdot E_в(t_в),\ \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ x/\mu,\ \tau),\ \text{grad}\ t \neq 0, \qquad (8)$$

Осушення конструкції при grad t= 0, див. мал. 1.в:

$$\varphi_в \cdot E_в(t_в) < \varphi_i \cdot E_в(t_i) > \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ \varphi_i = 1,$$
$$u_i = f(\varphi_в \cdot E_в(t_в),\ \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ x/\mu,\ \tau),\ \text{grad}\ t = 0, \qquad (9)$$

Осушення конструкції при grad t≠ 0, див. мал. 1.г:

$$\varphi_в \cdot E_в(t_в) < \varphi_i \cdot E_в(t_i) > \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ \varphi_i = 1,$$
$$u_i = f(\varphi_в \cdot E_в(t_в),\ \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ x/\mu,\ \tau),\ \text{grad}\ t \neq 0, \qquad (10)$$

Зволоження огороджуючої конструкції за рахунок сорбції водяної пари з навколишнього повітря, див. рис. 2.а:

$$\varphi_в \cdot E_в(t_в) > \varphi_i \cdot E_в(t_i) < \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ \varphi_i < 1,$$
$$u_i = f(\varphi_в \cdot E_в(t_в),\ \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ x/\mu,\ \tau),\ \text{grad}\ t = \neq 0, \qquad (11)$$

Осушення конструкції на сорбційній стадії вологості матеріалу, див. мал. 2.б:

$$\varphi_в \cdot E_в(t_в) < \varphi_i \cdot E_в(t_i) > \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ \varphi_i < 1,$$
$$u_i = f(\varphi_в \cdot E_в(t_в),\ \varphi_н \cdot E_в(t_н),\ x/\mu,\ \tau),\ \text{grad}\ t = \neq 0, \qquad (12)$$

Зміна вологості матеріалу в зоні фазового переходу залежно від фронту розташування фазового переходу в [%] у товщі однорідного матеріалу:

$$\Delta u_{1\text{-}2} = \frac{L_к * \Delta \tau}{10 * \Delta x_i * \rho_i}, \qquad (13)$$

На поверхні конструкції:

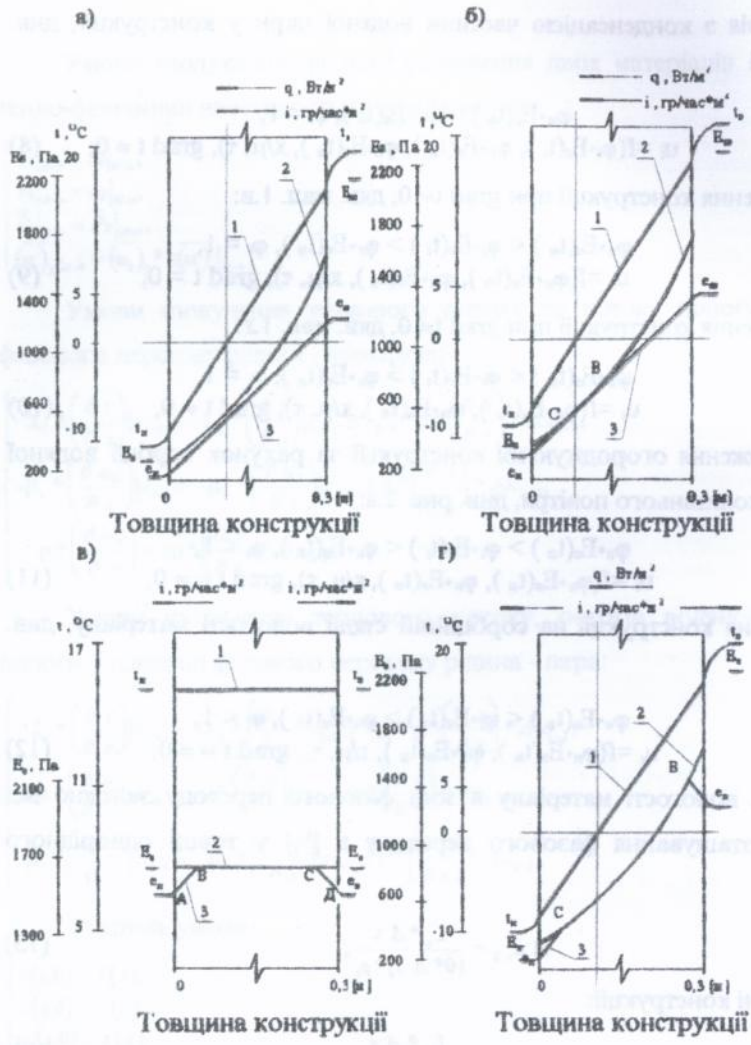
$$\Delta u_{1\text{-}2} = \frac{L_к * \Delta \tau}{5 * \Delta x_i * \rho_i}, \qquad (14)$$

У площині зіткнення матеріалів, для і-того та і+1-го шару матеріалу конструкції:

$$\Delta u_{1\text{-}2_i} = \frac{L_к * \Delta \tau}{5 * (\Delta x_i * \rho_i + \Delta x_{i+1} * \rho_{i+1})} * \frac{Po_i}{Po_i + Po_{i+1}}, \qquad (15)$$

$$\Delta u_{1\text{-}2_{i+1}} = \frac{L_к * \Delta \tau}{5 * (\Delta x_i * \rho_i + \Delta x_{i+1} * \rho_{i+1})} * \frac{Po_{i+1}}{Po_i + Po_{i+1}}, \qquad (16)$$

Перелічені процеси дифузії водяної пари в огороджуючій конструк-



Малюнок 1. Розподіл температури t, парціального е та тиску насиченої водяної пари Es у керамзитобетонній конструкції: а) під час дифузії водяної пари; б) під час дифузії з конденсацією частини водяної пари у огороджуючій конструкції; в) під час осушення та відсутності градієнту температури; г) під час осушення та наявності градієнту температури.

1 - стаціонарне розподілення температур;

2 - розподіл максимального тиску водяної пари;

3 - стаціонарне розподілення парціального тиску водяної пари.

Малюнок 2. Розподіл температури, парціального й тиску насиченої водяної пари у керамзитобетонній конструкції в процесах на сорбційній стадії зволоження: а) осушення; б) зволоження.

1 - стаціонарне розподілення температур;
2 - розподіл максимального тиску водяної пари;
3 - стаціонарне розподілення парціального тиску водяної пари.

ції можуть бути ускладнені молярним переносом вологого повітря. Параметр, що відповідає за здатність вологого повітря утримувати водяну пару - c_e, являє собою аналог теплоємкості повітря у процесах передачі теплоти, та визначається за формулою [г/кг*Па]:

$$c_e = \frac{622 * P_б}{\left(P_б - \frac{\varphi_{возд}}{100} * E_s\right)^2}, \qquad (17)$$

Розподіл температури, парціального та тиску насичення водяної пари у огороджуючій конструкції з урахуванням фільтрації повітря наведений у третьому розділі.

В загальному випадку на розрахункову область наноситься нерівномірна сітка, визначаються величини об'ємних концентрацій компонентів багатокомпонентної системи скелет матеріалу - вологе повітря - рідина - лід у вузлах сітки. Коефіцієнт теплопровідності λ багатокомпонентної системи та ефективна об'ємна теплоємкість визначається залежно від об'ємних концентрацій та фазового складу вологи. Величина коефіцієнту воло-

гопровідності β визначається залежно від структури матеріалу, характеру зв'язку вологи з матеріалом, температури та фазового складу вологи.

Для визначення полів потенціалів переносу теплоти та маси на наступному часовому відрізку були використані співвідношення:

- при знаходженні вузла сітки у площині зіткнення матеріалів із різноманітними теплофізичними властивостями:

$$t_{\tau+\Delta\tau} = A_1 * t + A_2 * t_{x-\Delta x_1} + A_3 * t_{x+\Delta x_2} + A_4 * t_{y-\Delta y_1} + A_5 * t_{y+\Delta y_2} + A_6 * t_{z-\Delta z_1} + A_7 * t_{z+\Delta z_2} + A_8 * t_{x-\Delta x_1} + A_8 * t_{x+\Delta x_2} \pm A_9 \quad (18)$$

Коефіцієнти, що входять до рівняння:

$$A_1 = 1 - \sum_{i=2}^{7} A_i,$$

де A_i - коефіцієнти:

$$A_2 = \left(\frac{\lambda_1 * \Delta y_2 * \Delta z_1 + \lambda_2 * \Delta y_2 * \Delta z_2 + \lambda_3 * \Delta y_1 * \Delta z_1 + \lambda_4 * \Delta y_1 * \Delta z_2}{4 * c\rho * \Delta x_1} \right) * \Delta \tau$$

$$A_3 = \left(\frac{\lambda_5 * \Delta y_2 * \Delta z_1 + \lambda_6 * \Delta y_2 * \Delta z_2 + \lambda_7 * \Delta y_1 * \Delta z_1 + \lambda_8 * \Delta y_1 * \Delta z_2}{4 * c\rho * \Delta x_2} \right) * \Delta \tau,$$

$$A_4 = \left(\frac{\lambda_3 * \Delta x_1 * \Delta z_1 + \lambda_4 * \Delta x_1 * \Delta z_2 + \lambda_7 * \Delta x_2 * \Delta z_1 + \lambda_8 * \Delta x_2 * \Delta z_2}{4 * c\rho * \Delta y_1} \right) * \Delta \tau,$$

$$A_5 = \left(\frac{\lambda_1 * \Delta x_1 * \Delta z_1 + \lambda_2 * \Delta x_1 * \Delta z_2 + \lambda_5 * \Delta x_2 * \Delta z_1 + \lambda_6 * \Delta x_2 * \Delta z_2}{4 * c\rho * \Delta y_2} \right) * \Delta \tau, \quad (19)$$

$$A_6 = \left(\frac{\lambda_1 * \Delta x_1 * \Delta y_2 + \lambda_3 * \Delta x_1 * \Delta y_1 + \lambda_5 * \Delta x_2 * \Delta y_2 + \lambda_7 * \Delta x_2 * \Delta y_1}{4 * c\rho * \Delta z_1} \right) * \Delta \tau,$$

$$A_7 = \left(\frac{\lambda_3 * \Delta x_1 * \Delta y_2 + \lambda_6 * \Delta x_2 * \Delta y_2 + \lambda_4 * \Delta x_1 * \Delta y_1 + \lambda_8 * \Delta x_2 * \Delta y_1}{4 * c\rho * \Delta z_2} \right) * \Delta \tau$$

$$A_8 = W * c_p * \left(\frac{\Delta y_2 * \Delta z_1 + \Delta y_2 * \Delta z_2 + \Delta y_1 * \Delta z_1 + \Delta y_1 * \Delta z_2}{8 * c\rho} \right) * \Delta \tau$$

$$A_9 = \frac{r_{1-2} * I_w * \Delta \tau}{10 * c\rho},$$

де ср:

$$\left(\frac{\Delta x_1 * \Delta y_2 * \Delta z_1 * c_1 * \rho_1 + \Delta x_1 * \Delta y_2 * \Delta z_2 * c_2 * \rho_2 + \Delta x_1 * \Delta y_1 * \Delta z_1 * c_3 * \rho_3 + \Delta x_1 * \Delta y_1 * \Delta z_2 * c_4 * \rho_4 + \Delta x_2 * \Delta y_2 * \Delta z_1 * c_5 * \rho_5 + \Delta x_2 \Delta y_2 * \Delta z_2 * c_6 * \rho_6 + \Delta x_2 * \Delta y_1 * \Delta z_1 * c_7 * \rho_7 + \Delta x_2 * \Delta y_1 * \Delta z_2 * c_8 * \rho_8}{8} \right)$$

- при знаходженні вузла сітки на межі розподілу твердого та рідкого

середовища (поверхня конструкції):

$$t_{x+\Delta\tau} = Б_1 * t + Б_2 * t_{x-\Delta x_1} + Б_3 * t_{x+\Delta x_2} + Б_4 * t_{y-\Delta y_1} + Б_5 * t_{\infty} + Б_6 * t_{z-\Delta z_1} + Б_7 * t_{z+\Delta z_2} + Б_8 * t_{x-\Delta x_1} + Б_8 * t_{x+\Delta x_2} \pm Б_9 \quad (20)$$

Коефіцієнти, що входять до рівняння:

$$Б_1 = 1 - \sum_{l=2}^{7} Б_l,$$

де $Б_i$ - коефіцієнти:

$$Б_2 = -\left(\frac{\lambda_1 * \Delta y * \Delta z_1 + \lambda_2 * \Delta y * \Delta z_2}{4 * c\rho * \Delta x_1}\right) * \Delta\tau \quad Б_3 = \left(\frac{\lambda_3 * \Delta y * \Delta z_2 + \lambda_4 * \Delta y * \Delta z_1}{4 * c\rho * \Delta x_2}\right) * \Delta\tau,$$

$$Б_4 = \left(\frac{\lambda_1 * \Delta x_1 * \Delta z_1 + \lambda_2 * \Delta x_1 * \Delta z_2 + \lambda_3 * \Delta x_2 * \Delta z_2 + \lambda_4 * \Delta x_2 * \Delta z_1}{4 * c\rho * \Delta y}\right) * \Delta\tau$$

$$Б_5 = \alpha * \left(\frac{\Delta x_1 * \Delta z_1 + \Delta x_1 * \Delta z_2 + \Delta x_2 * \Delta z_2 + \Delta x_2 * \Delta z_1}{4 * c\rho}\right) * \Delta\tau, \quad (21)$$

$$Б_6 = \left(\frac{\lambda_1 * \Delta x_1 * \Delta y + \lambda_4 * \Delta x_2 * \Delta y}{4 * c\rho * \Delta z_1}\right) * \Delta\tau, \quad Б_7 = \left(\frac{\lambda_2 * \Delta x_1 * \Delta y + \lambda_3 * \Delta x_2 * \Delta y}{4 * c\rho * \Delta z_2}\right) * \Delta\tau,$$

$$Б_8 = W * c_p * \left(\frac{\Delta x_1 * \Delta z_1 + \Delta x_1 * \Delta z_2 + \Delta x_2 * \Delta z_2 + \Delta x_2 * \Delta z_1}{8 * c\rho}\right) * \Delta\tau$$

$$Б_9 = \frac{\eta_{1-2} * I_v * \Delta\tau}{5 * c\rho},$$

Де $c\rho$:

$$\left(\frac{\Delta x_1 * \Delta y * \Delta z_1 * c_1 * \rho_1 + \Delta x_1 * \Delta y * \Delta z_1 * c_2 * \rho_2 + \Delta x_2 * \Delta y * \Delta z_2 * c_3 * \rho_3 + \Delta x_2 * \Delta y * \Delta z_1 * c_4 * \rho_4}{8}\right),$$

Перевірка стійкості, апроксимації та співпадання розрахункової схеми довела, що при здрібненні відрізків розподілу розрахункової області по τ та x, при дотриманні умов виду:

$$\frac{1-\theta_1}{2*a} * \left(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2\right) \geq \Delta\tau, \quad \frac{1}{c_p} * \left(\frac{2*\lambda_1}{\Delta x_2}\tau - \theta_4\right) \geq W, \quad (22)$$

$$\frac{1-\theta_2}{\left(\frac{2*a}{\Delta x^2} + \frac{2*a}{\Delta y^2} + \frac{2*a}{\Delta z^2} + \frac{2*\alpha}{\Delta x * c\rho}\right)} \geq \Delta\tau, \quad \frac{1}{c_p} * \left(\frac{2*a}{\Delta x} - \frac{\theta_2 * \Delta x}{\Delta\tau}\right) \geq W, \quad (23)$$

$$\frac{1-\theta_3 * (c\rho_1 * \Delta x_1 + c\rho_2 * \Delta x_2)}{2 * \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} + \frac{\lambda_1 * \Delta x_1 + \lambda_2 * \Delta x_2}{\Delta y^2} + \frac{\lambda_1 * \Delta x_1 + \lambda_2 * \Delta x_2}{\Delta z^2}\right)} \geq \Delta\tau, \quad \frac{1}{c_p} * \left(\frac{2*a}{\Delta x} - \theta_6\right) \geq W, \quad (24)$$

де a - найбільше значення коефіцієнту температуропровідності на області, що розраховується; $\theta_{1,2,3,4,5,6}$ - додатне число, укладене між 0 та 1, схема збігається до точного рішення з першим порядком за часовою та другим порядком за просторовою координатою. Оцінка точності схеми за критерієм Рунге на вкладених нерівномірних сітках дала величину відносної помилки рішення, що не перевищує 6 %.

Залежно від геометричних та теплофізичних властивостей області, що розглядається, за (22, 23, 24) визначаються максимально можливі величини часового відрізку та масової витрати повітря для процесів теплопередачі, паропроникнення та вологопровідності, виходячи з умови стійкості розрахункової схеми. За розрахунковий $\Delta\tau$ приймають мінімальний. Якщо $W_{розр} > W_{max}$, необхідно або зменшувати витрату повітря, або спинити розрахунок. Далі за (18), (20) розраховуються температурні поля на наступному часовому відрізку. За результатами розрахунків температурних та полів вологості матеріалу огороджуючої конструкції визначаються величини парціального тиску водяної пари у середовищі навколо розрахункової області, а також у самій конструкції. Для обчислення величини парціального тиску водяної пари у конструкції, використані ізотерми сорбції матеріалів. Якщо вологість матеріалу конструкції у даному перетині перевищує максимальну сорбційну вологість при $\varphi_в$ =100%, у перетині водяна пара знаходиться у насиченому стані Es. Якщо вологість матеріалу в перетині менш максимальної сорбційної вологості при $\varphi_в$ = 100%, необхідно шукати корені рівняння ізотерми сорбції даного матеріалу в проміжку $\varphi_в$ 0 ÷ 100%. Якщо водяна пара у порах матеріалу знаходиться у ненасиченому стані, визначається відносна пароємкість матеріалу. Враховуючи фільтрацію вологого повітря у розрахунковій схемі, вираховуємо величину вологоємкості повітря для всіх вузлів сітки.

Далі за (18), (20) визначаються величини парціального тиску водяної пари на наступному часовому відрізку. При наявності зони фазового переходу рідина- пара, визначаються величини вологи що змінює фазо-

вий стан, далі відбувається перехід до розрахунку вологопровідності. При відсутності у огороджуючій конструкції зон фазового переходу пар - рідина розрахунки продовжуються до необхідного моменту, що задається в умовах, після чого відбувається перехід до розрахунку поля вологості у матеріалі.

За результатами розрахунку температурного та поля парціального тиску водяної пари, якщо температура у деяких перетинах конструкції нижче температури замерзання (кінця відтаювання) вологи у порах, визначається кількість незамерзлої вологи, а також кількість криофази у порах матеріалу.

Розрахунок поля вологості матеріалу виробляється від зон із найменшим до зон із найбільшим відносним потенціалом вологості. При цьому, в межах одного шару матеріалу конструкції розрахунок ведеться від зони з найменшої до зони з найбільшою вологістю.

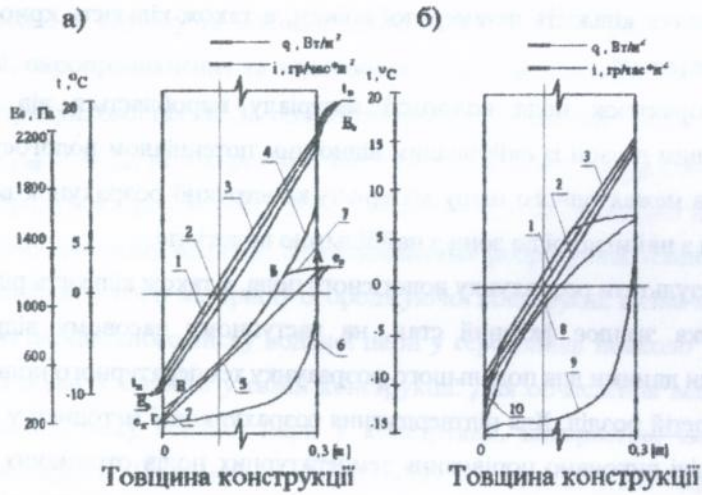
Результати розрахунку вологісного поля, а також кількість рідини та пари, яка змінює фазовий стан, на наступному часовому відрізку є вхідними даними для подальшого розрахунку температурного поля.

Третій розділ. Для підтвердження розрахункової методики у третьому розділі виконано порівняння температурних полів отриманих розрахунковим шляхом із даними натурних спостережень температурного режиму одношарової віброгазосилікатної панелі. Розходження розрахункових та даних натурних спостережень не перевищувало 8 - 10%.

Зміна вологісного стану одношарової пінобетонної огороджуючої конструкції при фільтрації вологого повітря показана на мал. 3.а. Якщо grad $t \neq 0$ та grad $e \neq 0$, в умовах ексфільтрації, у конструкції утворюється зона конденсації водяної пари мал. 3.а, лінія БВ. Дані чисельних досліджень довели, що розмір зони конденсації у значній мірі залежить від величини масової витрати повітря, що фільтрується крізь огороджуючу конструкцію, ніж від величини парціального тиску водяної пари повітря приміщення. Тому ексфільтрація зумовлює збільшення вологості огород-

жуючих конструкцій навіть у будинках із сухим режимом експлуатації.

Фільтрація холодного зовнішнього повітря виявляє осушуючу дію на огороджуючі конструкції. Шляхом обробки значень полів парціального тиску водяної пари показано, що зниження температури точки роси у перерізах матеріалу за рахунок інфільтрації зовнішнього холодного повітря в кілька разів вище зниження температури матеріалу, навіть коли величина масової витрати повітря мала, див. мал. 3.б.



Малюнок 3. Розподіл температури та тиску водяної пари при фільтрації повітря: а) розподіл температури та тиску водяної пари; б) розподіл температури.

1 - стаціонарне розподілення температур;

2 - те ж, при інфільтрації, видатку повітря W=0, 4 [кг/година];

3 - те ж, при ексфільтрації;

4 - розподіл максимального тиску водяної пари;

5 - стаціонарне розподілення парціального тиску водяної пари;

6 - те ж, при інфільтрації, витраті повітря W=0, 4 [кг/година];

7 - те ж, при ексфільтрації;

8 - розподіл температури точки роси, обчислений за стаціонарним розподілом парціального тиску водяної пари;

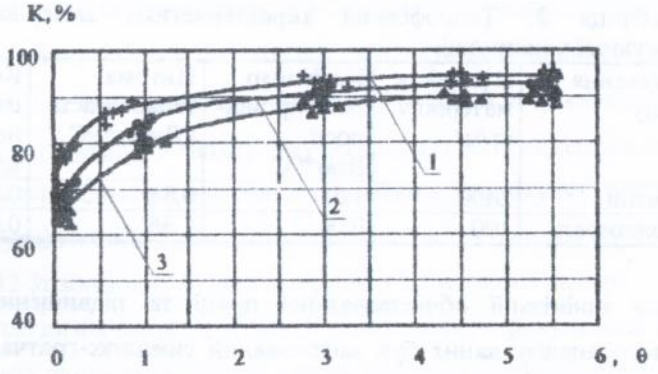
9 - розподіл температури точки роси, обчислений за стаціонарним розподілом парціального тиску водяної пари з урахуванням інфільтрації, при видатку повітря W=0, 4 [кг/година];

10 - те ж, з урахуванням ексфільтрації.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень процесу сушіння матеріалів під час продування їх повітрям, отримана залежність, що пов'язує основні характеристики матеріалу, що сушиться з термодинамічними параметрами повітря, що фільтрується:

$$\Delta\tau = \frac{0{,}016 * \gamma * \rho * (u_{нач} - u_к) * \left(P_б - \frac{\varphi_{повд}}{100} * E_в\right)^2}{P_б * W * \left(\frac{k}{100} * E_в - \frac{\varphi_{повд}}{100} * E_в\right)}, \qquad (25)$$

де k - ступінь насичення водяною парою повітря, що виходить, визначається в % у вигляді функції відношення вологості матеріалу до максимальної сорбціонної вологості при φ=100%, θ=u/$u_{max\ сорб}$, а також часу зіткнення елементарного об'єму повітря з вологим матеріалом $\tau_c = V_{мат}/W_V$, де $V_{мат}$ - об'єм сушимого матеріалу м³, W_V - об'ємна витрата повітря м³/с. Для визначення k=f (θ, τ_c) у вигляді поліному другого порядку був використаний метод ортогонального центрального композиційного планування експерименту. На мал. 4 показані криві залежності ступеню насичення водяною парою повітря, що виходить під час продування вологих пінопластів.



Малюнок 4. Криві залежності ступеню насичення водяною парою повітря, що виходить k=f (θ, τ_c), в %.

1)τ_c - 0.45 с; 2)τ_c - 0.42 с; 3)τ_c - 0.41 с;

Рівняння регресії для діапазону $0 \le \theta_1 \le 2$:

$$k = 83{,}8 + 16{,}3 * \frac{\theta_1 - 1}{1} + 5 * \frac{\tau - 0{,}425}{0{,}025} - 12{,}3 * \left(\frac{\theta_1 - 1}{1}\right)^2, \quad (26)$$

Для діапазону $2 \le \theta_2 \le 5$:

$$k = 91{,}8 + 2{,}1 * \frac{\theta_2 - 3{,}5}{1{,}5} + 3 * \frac{\tau_c - 0{,}425}{0{,}025} - 1{,}3 * \frac{\theta_2 - 3{,}5}{1{,}5} * \frac{\tau_c - 0{,}425}{0{,}025} - 1{,}8 * \left(\frac{\theta_2 - 3{,}5}{1{,}5}\right)^2 - 0{,}3 * \left(\frac{\tau_c - 0{,}425}{0{,}025}\right)^2, \quad (27)$$

Оцінка адекватності отриманих рівнянь (26, 27) проводилася за критерієм Фішера. Згідно даним експерименту для обох рівнянь $K_\phi \le K_{\phi T}$.

Дослідження показали, що найінтенсивніше сушіння відбувається коли $\theta \ge 1$, $t_в$ вище +10 °С. За даних параметрах початкова вологість повітря незначно впливає на швидкість сушіння.

Використовуючи засіб сушіння, що пропонується, витрата теплоти складає 2,5 - 10 МДж на 1 м² зовнішніх стін.

З метою встановлення геометричних параметрів - товщини захисного δ_1, теплоізоляційного δ_2 та несучого шарів δ_3 тришарової огороджуючої конструкції при яких швидкість природнього сушіння максимальна, проведене чисельне моделювання вологісного режиму конструкції, тепло- фізичні характеристики матеріалів шарів якої наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. Теплофізичні характеристики матеріалів шарів огороджуючої конструкції

Найменування матеріалу	Щільність матеріалу кг/м³	Коефіцієнт теплопровідності Вт/м*°С	Питома теплоємкість кДж/кг*°С	Коефіцієнт паропроникнення мг/м*час*Па
Залізобетон	2400	1.51	0.84	0.03
Пінополістирол	100	0.04	1.36	0.05

Для мінімізації обчислювальної праці та підвищення точності чисельного аналізу даних був застосований симплекс-гратчастий метод планування обчислювального експерименту.

Зміна вологості Δu за проміжок часу 2 роки визначалася у вигляді функції товщин шарів тришарової огороджуючої конструкції за

фіксованою загальною товщиною L=0.35 м. $\Delta u=f(\delta_1, \delta_2, \delta_3)$, у діапазоні варійованих параметрів:

$$0.05 \text{ м} \le \delta_1 \le 0.11 \text{ м.}, \quad 0.12 \text{ м} \le \delta_2 \le 0.18 \text{ м.}, \quad 0.12 \text{ м} \le \delta_3 \le 0.18 \text{ м.}, \qquad (28)$$

Рівняння регрессії, за даними експерименту має вигляд:

$$Y=25{,}22*\left(\frac{\delta_1}{0{,}06}-0{,}833\right)+60{,}15*\left(\frac{\delta_2}{0{,}06}-2{,}0\right)+48{,}69*\left(\frac{\delta_3}{0{,}06}-2{,}0\right)-44{,}46*\left(\frac{\delta_1}{0{,}06}-0{,}833\right)*\left(\frac{\delta_2}{0{,}06}-2{,}0\right)-$$
$$-19{,}54*\left(\frac{\delta_1}{0{,}06}-0{,}833\right)*\left(\frac{\delta_3}{0{,}06}-2{,}0\right)+0{,}32*\left(\frac{\delta_2}{0{,}06}-2{,}0\right)*\left(\frac{\delta_3}{0{,}06}-2{,}0\right) \qquad (29)$$

Перевірка адекватності прийнятої моделі за результатами чисельного експерименту в контрольних точках довела, що розбіжність між прийнятою моделлю та експериментальними даними не перевищує ± 3%.

Найбільша швидкість сушіння досягається у конструкції з такими параметрами: товщина захисного шару δ_1 - 0.05 м., теплоізоляційного δ_2- 0.18 м., несучого δ_3 - 0.12 м. Аналіз кількості випарованої вологи за шарами показує, що величина зменшення вологості у шарі утеплювача для варіантів δ_1 - 0.05 м., δ_2 - 0.18 м., δ_3 - 0.12 м. та δ_1 - 0.05 м., δ_2 - 0.12 м., δ_3 - 0.18 м. змінюється незначно. Проте, при варіанті конструкції з δ_2 - 0.18 м. відбувається значне зменшення вологості у несучому шарі Δu=48.9%, а при δ_2 - 0.12 м. Δu дорівнює лише 32.7%. Збільшення товщини зовнішнього захисного шару при будь-якому співвідношенні δ_2 та δ_3 зменшує величину потоку вологи, що дифундує до зовнішньої поверхні конструкції. При максимальному значенні δ_1 - 0.11 м. Δu складає 25.2%.

Четвертий розділ. У четвертому розділі для експериментального підтвердження вірогідності розробленої методики розрахунку огороджуючих конструкцій наведені дані лабораторних іспитів панелей марки Н1-8б, Н2-3п та Н2-3т житлових будинків серії 94 у кліматичній камері.

З метою визначення вірогідності зіставлення розрахункових та експериментальних даних вироблялася оцінка надійних інтервалів останніх при надійності Рн=0,95. Для цього визначалася сумарна абсолютна помилка виміру температур та теплових потоків у конструкціях, що досліджували-

ся. Відносна помилка виміру температур поверхнь не перевищувала 2%, внутрішніх та зовнішніх температур повітря - 4%, теплових струменів 6%.

Розрахунки теплопередачі крізь конструкції, що досліджуювалися проводилися за розробленою методикою. Експериментальні та розрахункові дані величини опору теплопередачі дільниць конструкцій з теплопровідними включеннями (гнучкі та жорсткі зв'язки) наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Експериментальні та розрахункові дані величини опору теплопередачі дільниць конструкцій з теплопровідними включеннями

№/№	Найменування зони, що досліджується	Опір теплопередачі дільниці, що досліджується експериментальне / розрахункове, $м^2°С/Вт$		
		Н1-8б	Н2-3п	Н2-3т
1	Зона впливу гнучкого зв'язку	2.12/2.26	-	-
2	Зона впливу жорсткого зв'язку	-	2.03/2.14	1.46/1.52

Розбіжність між розрахунковою та експериментальною величиною опору теплопередачі не перевищувала 6.2%.

П'ятий розділ. У п'ятому розділі наведене термо - економічне обґрунтування рівня теплозахисту огороджуючих конструкцій житлових будинків за величиною наведених витрат. Для оптимізації системи, що розглядається контрольною поверхнею виділені: тришарова огороджуюча конструкція, система опалення та система природної вентиляції. Для оптимізації були складені матеріальний, енергетичний та ексергетичний баланси системи, що розглядається. Ексегія, що підведена до системи: з потоком теплоносія $e_т$ та тарифом $ц_т$; з електроенергією $e_{эл}$ та тарифом $ц_{эл}$. Втрати ексергії у системі: втрати ексергії внаслідок зовнішнього теплообміну з навколишнім середовищем $d_{Qт}$; втрати ексергії з вентиляційним повітрям, що викидається до атмосфери $d_{Qв}$; втрати ексергії внаслідок необоротного переходу теплоти від теплоносія до повітря приміщення $d_т$;

За характеристику обладнання, що використовується взяті сумарні відрахування від його вартості, віднесені до однієї години праці:

$$z_i = \frac{\left(k_м + k_р + k_{рем}\right) * C_i}{\tau_г}, \qquad (30)$$

де $k_н$ - нормативний коефіцієнт відрахувань від вартості обладнання; $k_р$ - нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію; $k_{рем}$ - нормативний коефіцієнт відрахувань на ремонт; C_i - вартість і-того елементу; $\tau_р$ - час у годинах праці обладнання на рік.

Вартість обладнання системи опалювання лінійно залежить від теплового навантаження, вартість теплозахисту огороджуючої конструкції обернено пропорційна кількості тепла, що проходить крізь огородження:

$$C_{со}=A_{со}+B_{со}*Q_{со}, \qquad C_{огр}=A_{огр}+B_{огр}*R, \qquad (31)$$

Для тришарових огороджуючих конструкцій, що впроваджуються до виробництва, характерна наявність теплотехнічної неоднорідності, що характеризується коефіцієнтом r. За статистичними оцінками, заводи ЗБК України випускають тришарові панелі з величиною коефіцієнту теплотехнічної однорідності r=0.55-0.91.

Вираз для визначення товщини шару утеплювача з урахуванням теплотехнічної неоднорідності конструкції:

$$\delta_у = \lambda_у * \left[\frac{1}{\sqrt{r}} * \sqrt{\frac{ц_т * 3600 * \tau_г * \beta_1 * \beta_2 * \left(t_в - t_н^{ср\,о}\right) * \left(\left(1 - \frac{T_{ос}^{ср\,о}}{T_в}\right) + \left(\frac{T_{ос}^{ср\,о}}{T_в} - \frac{2 * T_{ос}^{ср\,о}}{T_в + T_о}\right)\right) + \left(k_{н\,огр} + k_{р\,огр} + k_{рем\,огр}\right) * B_{огр}}{\left(k_{н\,со} + k_{р\,со} + k_{рем\,ср}\right) * \left(B_{со} * \left(t_в - t_{ос}^{min}\right) * \beta_1 * \beta_2\right) - \left(\sum R_в - R_у\right)}} \right], \qquad (32)$$

де $R_у$ - величина опору теплопередачі шару утеплювача, м²*°С/Вт; $t_{ср\,о}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період; $t_{н\ min}$ - температура зовнішнього повітря для проектування системи опалення, °С.

За (32) проведені розрахунки варіантів теплоізоляційного шару для конструктивого рішення тришарової огороджуючої конструкції з параметрами: захисний шар - важкий бетон ρ - 2400 кг/м³, δ - 0.08 м., λ - 1.86 Вт/м*°С, несучий шар - важкий бетон ρ - 2400 кг/м³, δ - 0.15 м., λ - 1.86 Вт/м*°С, у діапазоні зміни коефіцієнту теплотехнічної однорідності r=0,55

- 0,91 для кліматичних умов першої температурної зони України. Дані розрахунків, для різноманітних матеріалів теплоізоляційного шару свідчать про те, що зі зменшенням коефіцієнту теплотехнічної однорідності, товщина теплоізоляційного шару зростає не лінійно. При збільшенні товщини теплоізоляційного шару, зростають витрати на виробництво конструкції, тому для отримання економічно доцільної величини рівня теплозахисту тришарових огороджуючих конструкцій слід застосовувати засоби перев'язки конструктивних шарів, при яких r прагнув би до 1.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналогії процесів тепло- масопереносу розроблена фізико - математична модель розрахунку процесів вологоперенесення у огороджуючих конструкціях при фільтрації вологого повітря.

2. Для чисельного моделювання процесів тепло- вологопередачі у огороджуючих конструкціях з врахуванням фільтрації вологого повітря та фазових перетворень рідини отримані рівняння, що описують вплив повітря, що фільтрується на температурне й поле парціального тиску водяної пари для неоднорідних огороджуючих конструкцій. Перевірена апроксимація, стійкість та співпадання розрахункового методу. Показано, що при дотриманні умов $\Delta\tau < \Delta\tau_{max}$, $\Delta W < \Delta W_{max}$ обчислених виходячи з теплофізичних та геометричних характеристик розрахункової області схема стійка та сходиться до точного вирішення.

4. Точність розробленої методики розрахунку температурно-вологісних полів підтверджена порівнянням з даними натурних спостережень температурних полів проведених автором, експериментальними дослідженнями теплотехнічних якостей огороджуючих конструкцій з теплопровідними включеннями, виконаних спільно з колективом відділу будівельної теплофізики КиївЗНДІЕП, а також порівнянням з даними аналітичних рішень. Максимальна розбіжність даних не перевищувала 8 - 10%.

5. Аналіз температурних та полів парціального тиску водяної пари при grad $t \neq 0$, grad $e \neq 0$, в умовах фільтрації вологого повітря показує, що

при ексфільтрації в огороджуючих конструкціях утворюється зона конденсації, розмір якої залежить від величини масової витрати повітря. Фільтрація холодного зовнішнього повітря виявляє осушуючий вплив на огороджуючу конструкцію.

6. Запропонована методика розрахунку процесу сушіння будівельних конструкцій при фільтрації вологого повітря. Встановлені режимні параметри процесу - температури $t_в$ та відносної вологості $\varphi_в$ повітря за якими даний спосіб сушіння ефективний. Показано, що при температурах повітря вище +10°С початкова вологість повітря виявляє незначний вплив на швидкість сушіння.

7. Максимальна швидкість природного сушіння для типорозміру тришарової огороджуючої конструкції товщиною L=0,35 м. досягнута для варіанту конструкції з параметрами - захисний шар 0.05 м, шар утеплювача 0.15 м$\leq \delta_2 \leq$ 0.18 м, несучий шар 0.12 м$\leq \delta_3 \leq$ 0.15 м., тобто товщини зовнішнього захисного та внутрішнього несучого шарів мінімальні.

8. Виконано термоекономічне обґрунтування товщини теплоізоляційного шару для тришарових конструкцій з коефіцієнтом теплотехнічної однорідності r=0.5-1. Показана необхідність застосування конструкцій з r близьким до одиниці.

9. Розроблені рекомендації щодо застосування методики розрахунку нестаціонарного тепловологісного стану огороджуючих конструкцій, зміні конструктивних параметрів існуючих тришарових стінових огороджуючих конструкцій цивільних будинків, застосуванню сушіння конструкцій при фільтрацфії повітря.

10. Результати роботи використовувались для теплотехнічних розрахунків експериментальних стінових панелей відділом будівельної теплофізики КиївЗНДІЕП, при корегуванні зовнішніх огороджуючих конструкцій типових проектів житлових будинків 94-ої серії, що виконувалися інститутом УКРМІСТБУДПРОЕКТ для ДБК України, проектування систем опалення цивільних будівель м. Харкова НВФ "Сантехпром".

Будівництво житла за проектами що відкореговувались, дозволить знизити витрати теплоти на потреби опалювання на 5-10%, забезпечити параметри середовища приміщення у зоні комфортної обстановки.

Основні положення дисертації опубліковані в працях:

1. Чайка Ю.И. О точности решения одного дифференциального уравнения, встречающегося в теории тепломассопереноса. В сб.: "Повышение эффективности строительства." Тезисы докладов 50-й научно-технической конференции. Х.: ХГТУСА. 1995 г. 137 с.
2. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Анализ теплотехнических качеств ограждающих конструкций. В сб.: "Повышение эффективности строительства" Тезисы 49-й научно-технической конференции. Х.: ХГТУСА. 1994 г. 134 с.
3. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Метод расчета влагопередачи пористой стенки при фильтрации влажного воздуха. В сб.: "Повышение эффективности строительства." Тезисы докладов 50-й научно-технической конференции. Х.: ХГТУСА. 1995 г. 137 с.
4. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Энергосбережение в строительстве. В сб.:" Проблемы и перспективы ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве " Тезисы международной научно-практической конференции. Х.: ХГАКХ. 1996 г. 254 с.
5. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Учет фазовых превращений жидкости при теплотехнических расчетах ограждающих конструкций. / ХГТУСА . Харьков. 1996. - 9 с. Деп в УкрНИИТИ 01.07.96. №. 1522 - Ук 96.
6. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Паропроницание и фильтрация воздуха в пористом ограждении. / ХГТУСА . Харьков. 1996. - 11 с. Деп в УкрНИИТИ 01.07.96. №. 1520 - Ук 96.
7. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Метод расчета тепловлагопереноса в ограждающих конструкциях зданий с учетом фазовых превращений. В сб.: "Строить - значит думать о будущем." Тезисы докладов 51-й научно-технической конференции. Х.: ХГТУСА. 1996 г. 197 с.
8. Редько А.Ф., Чайка Ю.И. О сроках проведения теплотехнических испытаний ограждающих конструкций. В сб.: "Строить - значит думать о будущем." Тезисы докладов 51-й научно-технической конференции. Х.: ХГТУСА. 1996 г. 197 с.
9. Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Черных Л.Ф. Застосування автоматизації проектних робіт для рішення проблем енергозбереження у будівництві./ Будівництво України № 2. 1997 г.
10. Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Черных Л.Ф. Исследование сушки Строительных материалов." В сб.: "Коммунальное хозяйство городов." Вып. № 9. Киев: "Техніка." 1997 г.
11. Редько А.Ф., Маляренко В. А., Чайка Ю.И., Черных Л.Ф. Исследование естественной сушки трехслойных ограждающих конструкций жилых зданий. В сб.: "Коммунальное хозяйство городов." Вып. № 9. Киев: "Техніка." 1997 г.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

τ- час, сек; t - температура, ^{O}C; Es - максимальний тиск водяної пари при температурі t, Па; e - парціальний тиск водяної пари, Па; u - загальна вологість матеріалу, %; u_2 - вологість матеріалу, %; u_3 - величина криофази,%; φ - вологість повітря, %; λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м^{O}C; μ - коефіцієнт паропроникнення, мг/м*час*Па; β - коефіцієнт вологопровідності, г/м*година*%; c - питома теплоємкість, Дж/кг*^{O}C; ср - изобарна теплоємкість повітря, Дж/кг *^{O}C; ρ - щільність матеріалу, кг/м^3; a - коефіцієнт температуропровідності, м^2/сек; q - величина теплового потоку, Вт; c_e - питома вологоємкість повітря, г/кг*Па; ξ_o - відносна пароємкість, г/(кг*%); W - масова витрата повітря, кг/м^2*сек; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м^2*^{O}C; r - коефіцієнт теплотехнічної однорідності; R - термічний опір δ/λ, м^2*^{O}C/Вт; Δx, Δy, Δz - крок розподілу сітки по координаті x, y, z; $\Delta\tau_{max}$ - максимально можливий розрахунковий проміжок часу, сек;ΔW_{max} - максимально можлива розрахункова масова витрата повітря, кг/м^2*сек; P - повний тиск вологого повітря, Па; $r_{1\text{-}2,2\text{-}3}$*Iv - інтенсивність внутрішніх джерел тепловиділення, Дж/м^3*сек; L_k - кількість вологи що змінює фазовий стан г/м^2*час; Po - відносний потенціал вологості, ^{O}B.

Чайка Ю. И. Совершенствование методики расчета нестационарного тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 - "Вентиляция, освещение и теплогазоснабжение" Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры. Харьков 1997. На защиту выносится - математическая модель расчета нестационарного тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий с учетом фазовых превращений влаги, фильтрации влажного воздуха; инженерный метод расчета нестационарного тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий основанный на решении дифференциальных уравнений тепломассопереноса. На основании математического моделирования нестационарного тепловлажностного режима, с целью повышения сопротивления теплопередаче R_0, разработаны рекомендации по изменению конструктивных параметров существующих трехслойных стеновых ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. Предложена методика рас-

чета процесса сушки строительных конструкций при продувке их влажным воздухом. Результаты работы использовались при корректировке наружных ограждающих конструкций типовых проектов жилых домов 94-й серии, проектирования систем отопления. Результаты диссертации изложены в 11 научных трудах.

Chaika Y.I. Improvement of calculation method of non-stationary temperature-moisture regime of enclosed building constructions.

Thesis for a technical scientific degree on speciality 05.23.03 - ventilation, lighting and heat, gas supply, the Kharkov State Technical University of Construction and Arxitecture. Kharkov 1997. Mathematical calculation model of non-stationary temperature-moisture regime of enclosed building constructions, which take into account phase conversion moisture, moisture air filtration; technical of calculation method of non-stationary temperature-moisture regime of enclosed building constructions, based on the solution of differential equations of temperature-moisture carrying are presented for a scientific degree. On the basis of mathematical modeling of non-stationary temperature-moisture regime, with the purpose of resistance of heat R_o increasing recommendations on the design data changing of the existing three-layer wall of enclosed constructions of the public buildings are developed. Method of process calculation of building constructions drying while blowing by humid air are proposed. The results of research while making corrections of enclosed constructions of dwelling buildings of series № 94, systems of heat designing are used. The thesis results are presented in 11 scientific publications.

Ключові слова рус. - укр. - англ.: теплопередача - теплопередача - heat transfer, влагопередача - вологопередача - moisture transfer, сушка - сушіння - drying, влажность - вологість - moisture.

Підп. до друку 4.08.1997 Формат 60x84 1/16
Папір друк. №2. Друк офсетний Зам. № 93
Умов.-друк. аркушів 1,0 Тираж 100 прим.
Безкоштовно

Дільниця множувальної техніки ХДТУБА
Україна, 310002, м. Харків , вул. Сумська, 40.

АВ 38.299