

УДК 514.18

Якусевич Сергій Григорович

Аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Плоский Віталій Олексійович

Доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри архітектурних конструкцій КНУБА, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ВЛАШТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДИНКУ

***Анотація.** В роботі порушуються важливі аспекти ефективного підбору товщини утеплювача будівель та споруд. Системно проаналізовано основні чинники, що впливають на вибір матеріалу утеплювача, місця його влаштування та його товщини. Наведено принципи й найбільш уживані математичні закономірності, що дозволяють визначати ключові фізичні величини, які характеризують процеси переносу теплової енергії крізь товщу конструкції й відповідно втрати енергії. Запропоновано алгоритм раціонального розподілу матеріалу для утеплення в залежності від тепловтрат зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій з застосуванням пінополіуретану та полістиролу.*

***Ключові слова:** теплопередача; тепловий потік; тепловтрати; температурні ізополя; фактор форми огорожувальної конструкції; тепла ізоляція*

Постановка проблеми

На сьогоднішній день, враховуючи економічну й політичну ситуації в країні, питання вітчизняного енергоресурсозбереження виходять на перший план.

Якщо зосередитися на загальному обсязі вироблення теплової енергії у різних секторах України, то виявиться, що за останні роки з 270 млн. МВт·год близько 182 млн. МВт·год припадає на котельні централізованих систем теплопостачання, а це понад 67%! Цікаво, що з решти виробленого тепла лише 20% відходить на потреби промисловості.

Ще одним вагомим фактом є те, що згідно оновленої «Енергетичної стратегії України до 2030 р.» планується збільшення вироблення теплоти в котельних: до 2030 року з 270 до 426 млн. МВт·год, причому для найбільшого сектору – будівництва та житлово-комунального господарства – споживання зростає з 181 млн. МВт·год до 187 млн. МВт·год, а це лише на 3.3%.

Все це свідчить про те, що загальне зростання споживання енергетичних ресурсів має частково стабілізуватися та врівноважуватися в основному за рахунок економії у секторі будівництва та житлово-комунального господарства.

Саме тому особливої уваги потребують питання енергозбереження в будівництві і

архітектурі, причому не лише в області нового будівництва, але й області теромодернізації вже існуючого будинкового фонду, оскільки відсоток новобудов дуже малий у порівнянні зі старою забудовою.

Розглядаючи загальний енергетичний баланс переважної більшості будівель (як сучасних, так і збудованих за радянських часів), легко помітити, що близько 80% теплової енергії втрачається через огорожувальні конструкції (стіни, покрівля, вікна, двері тощо). Решта 20% – переважно втрати через вентиляційні системи та за рахунок інфільтраційних процесів загалом.

Очевидно, що при такому розподілі тепловтрат, основним інструментом для їх перешкодження або усунення є заходи з підвищення ефективності роботи теплоізоляційної оболонки огорожувальних конструкцій будівель та споруд. Саме тому на теперішній момент активно розробляються та вже діють спеціальні загальнодержавні та місцеві програми з підтримки механізмів покращення енергетичних показників будівель, особливо в розділах утеплення стінових конструкцій, конструкцій покриття та заміни вікон.

На фоні вище зазначеного, стає очевидним: не менш важливою технічною задачею є раціональне застосування матеріалів для утеплення, що може дати відчутний економічний ефекти.

Методологія проектування утеплення

При проектуванні утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій інженери та архітектори мають вирішити три основні задачі:

1) відповідно до специфіки умов подальшої експлуатації обрати оптимальний матеріал (матеріали) для утеплення;

2) виходячи із конструктивних міркувань, визначитися з принципом кріплення утеплювача та з типом фасадної системи у цілому;

3) спираючись на теплотехнічні розрахунки підібрати відповідну товщину утеплювача.

При вирішенні першої задачі враховуються: призначення будівлі (житлова, громадська, промислова, сільсько-господарського призначення, і.т.д.); кліматологічні особливості району розміщення будинку (середня температура в холодну пору року, вологість повітря, агресивність середовища, наприклад, кислотність та ін.); особливості режиму провітрювання та режим експлуатації за санітарно-гігієнічними вимогами (з вологим, мокрим, сухим, нормальним режимами, або з надлишковим виділенням тепла).

При вирішенні другої задачі оцінюються конструктивні особливості несучих огорожувальних конструкцій, механічні властивості їх матеріалів та здатність до сприйняття додаткових навантажень від системи утеплення.

При вирішенні третьої задачі беруться до уваги теплотехнічні характеристики матеріалів несучих та самонесучих огорожувальних конструкцій будинку. Головним призначенням утеплення є перешкоджання надмірним тепловтратам через товщу відповідних огорожувальних конструкцій. Основною характеристикою, що відображає здатність матеріалу пропускати теплову енергію, є опір теплопередачі, і чим цей опір вищий, тим менше тепла пропускає стіна виконана з досліджуваного матеріалу. Згідно з ДБН В.2.6-31-2006 [1], якщо непрозора огорожувальна конструкція термічно однорідна, то аналізується її загальний опір теплопередачі R_{Σ} , який розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = R_3 + \sum_{i=1}^n R_i + R_B = \frac{1}{\alpha_3} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_{jP}} + \frac{1}{\alpha_B}, \quad (1)$$

де: R_B та R_3 – опори теплопередачі (або термічні опори) внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$; α_B та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі цих поверхонь, $\text{Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$; δ_i та λ_{iP} – це товщина та теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, що вимірюються в м та $\text{Вт} / (\text{m} \cdot \text{K})$

відповідно; n – кількість шарів конструкції.

Якщо ж огорожувальна конструкція термічно неоднорідна і включає різні за теплопровідністю матеріали, то аналізується її приведений опір теплопередачі, який розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma np} = R_3 + \sum_{j=1}^n \frac{R_{ie} \cdot F_i}{F_{\Sigma}} + R_B. \quad (2)$$

Тут: F_i – площа i -ї термічно однорідної зони, m^2 ; F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, m^2 ; R_{ie} – термічний опір i -ї однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі моделювання двовимірного або тривимірного температурного поля, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$, й розраховується за формулою:

$$R_{ie} = \frac{\bar{\tau}_{iB} - \bar{\tau}_{i3}}{q_i}, \quad (3)$$

де: $\bar{\tau}_{iB}$ та $\bar{\tau}_{i3}$ – середні температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь i -ї термічно однорідної зони, $^{\circ}\text{C}$; q_i – щільність теплового потоку через термічно однорідну зону, $\text{Вт} / \text{m}^2$.

Відповідно до діючої нормативної документації (ДБН В.2.6-31-2016 «Теплова ізоляція будівель» [2]) для зовнішніх огорожувальних конструкцій має виконуватися обов'язкова вимога:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{q \min}, \quad (4)$$

де: $R_{q \min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$.

Для підбору $R_{q \min}$ огорожувальних конструкцій промислових будівель додатково розраховують величину теплової інерції D :

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_{iP}, \quad (5)$$

де: s_{iP} – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Визначившись із оптимальним матеріалом системи утеплення (знаючи його теплотехнічні характеристики, й у тому числі коефіцієнт теплопровідності – λ_{nP}), проектувальники користуються вкрай простим принципом: підставляють до рівності (4) праву частину виразу (1) та виражають з одержаної тотожності товщину утеплювача δ_n :

$$\delta_n \geq \lambda_{nP} \cdot \left(R_{q \min} - R_3 + \sum_{i=1}^{n-1} R_i + R_B \right). \quad (6)$$

Визначивши мінімальну товщину необхідного утеплення, проектувальники уточнюють її фактичним значенням, що відповідає товщині матеріалу того чи іншого виробника. При цьому остаточна товщина має бути не меншою за розрахункову.

Окрім того, ще однією вагомою вимогою [2], виконання якої слід обов'язково перевіряти після підбору утеплення, є неперевищення максимально допустимої різниці ΔT_{\max} між температурою внутрішнього повітря у приміщенні t_B й приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\tau_{B np}$:

$$\Delta T_{np} = t_B - \tau_{B np} < \Delta T_{\max}, \quad (7)$$

Наприклад, для зовнішніх стін житлових будинків $\Delta T_{\max} = 4^\circ\text{C}$, а для покриттів та перекриттів горищ $\Delta T_{\max} = 3^\circ\text{C}$. Приведена температура $\tau_{B np}$ становить:

$$\tau_{B np} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_{Bi} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}. \quad (8)$$

Середні температури $\bar{\tau}_{iB}$ розраховуються з наступних міркувань [3]. Кількість тепла Q , яке проходить за час $\xi = 1$ год. крізь площу термічно однорідного огороження $F = 1 \text{ м}^2$, складає:

$$Q = F \cdot \xi \cdot \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} = \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}}. \quad (9)$$

де: t_B та t_3 – це відповідно температури повітря в приміщенні та зовні (на вулиці). При цьому кількість тепла Q_B , що сприймається тою самою площею поверхні від внутрішнього повітря складає:

$$Q_B = F \cdot \xi \cdot \frac{t_B - \tau_B}{R_B} = \frac{t_B - \tau_B}{R_B}. \quad (10)$$

В умовах стаціонарного теплового потоку величина Q має бути рівною величині Q_B :

$$Q = Q_B \text{ або } \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} = \frac{t_B - \tau_B}{R_B}, \quad (11)$$

звідки отримаємо температуру поверхні τ_B :

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B}{R_{\Sigma}} \cdot (t_B - t_3). \quad (12)$$

За аналогічним принципом можна визначити температуру в будь-якому m -му перерізі користуючись наступною формулою:

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B + \sum_{i=1}^m R_i}{R_{\Sigma}} \cdot (t_B - t_3). \quad (13)$$

Таку процедуру підбору товщини утеплювача й його перевірку необхідно повторювати для кожної ділянки зовнішніх огорожувальних конструкцій з відмінними стіновими матеріалами, товщиною, геометричними конфігураціями або теплопровідними включеннями.

Містки холоду

Наявність теплопровідних включень та зміни геометричної форми зовнішніх огорожувальних

конструкцій потребують особливої уваги, оскільки ці два випадки вагомо впливають на зміну розподілу ліній току теплової енергії в товщі конструкцій (див. рис. 1).

Теплопровідні включення значною мірою знижують опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Якщо включення займає велику ділянку стінової конструкції, то процес теплопередачі відбувається за одновимірною схемою – прямолінійно [4]. Однак на межі між теплопровідним та основним матеріалом стіни виникає двовимірне (або навіть тривимірне) температурне поле. При цьому температура на внутрішній поверхні межі змінюється від τ_B на поверхні основного матеріалу стінової конструкції до температури τ_T віддалено від межі на поверхні теплопровідного матеріалу. При великій ширині включення температура τ_X в його середній частині близька до τ_T . При менших розмірах включення температура τ_X відрізнятиметься і від τ_T , і від τ_B . Для окремих випадків геометричної конфігурації включення температура τ_X в його середині не є найнижчою. Більш низькою може виявитися температура на поверхні біля межі. Хоча різниця між цими температурами незначна. Для аналізу впливу включення на теплотехнічні властивості огорожувальної конструкції зручно користуватися показником відносно надлишкової температури η :

$$\eta = \frac{\tau_B - \tau_X}{\tau_B - \tau_T}, \quad (14)$$

що показує, на яку частку від перепаду температур $\tau_B - \tau_T$ знизилася температура τ_X в середині включення відносно τ_B . Зі зростанням відношення ширини включення до товщини стіни від 0 до 2 величина η змінюється від 0 до 1. Відтак, якщо відоме значення η для даного включення (як містка холоду), то, знаючи типові величини τ_B та τ_T , можна визначити й τ_X .

Такий же принцип може застосовуватися й для характеризування будь-яких інших містків холоду довільної природи (включаючи ті, що спричинені геометрією конструкцій). Якщо в якості η прийняти відношення різниці мінімальної температури поверхні й температури зовнішнього повітря ($\tau_{\min} - t_B$) до різниці температур зовні й в середині ($t_3 - t_B$):

$$\eta = \frac{\tau_{\min} - t_B}{t_3 - t_B}, \quad (15)$$

то, знаючи величину η (розуміючи природу містка холоду) та температури t_3 і t_B , можна визначити найнижчу температуру внутрішньої поверхні.

Пошук містків холоду та їх усунення чи передбачення на етапі проектування

теплоізоляційної оболонки є дуже важливою задачею, пов'язаною з санітарно-гігієнічними міркуваннями. Річ у тім, що часто у місцях виникнення містків холоду через постійні переохолодження й утворення конденсату утворюється цвіль, яка негативно впливає на здоров'я людини та спричиняє руйнівну дію на матеріали огорожувальних конструкцій.

Нажаль, через усереднені підходи у визначенні теплотехнічних показників конструктивних вузлів огорожувальних конструкцій (див. формули (2) та (8)), деякі з містків холоду та надмірні тепловтрати просто не вдається ідентифікувати. І як результат запроєктована товщина теплоізоляційного шару є рівномірною на більшій частині поверхні, не враховуючи змінний характер розподілу тепловтрат.

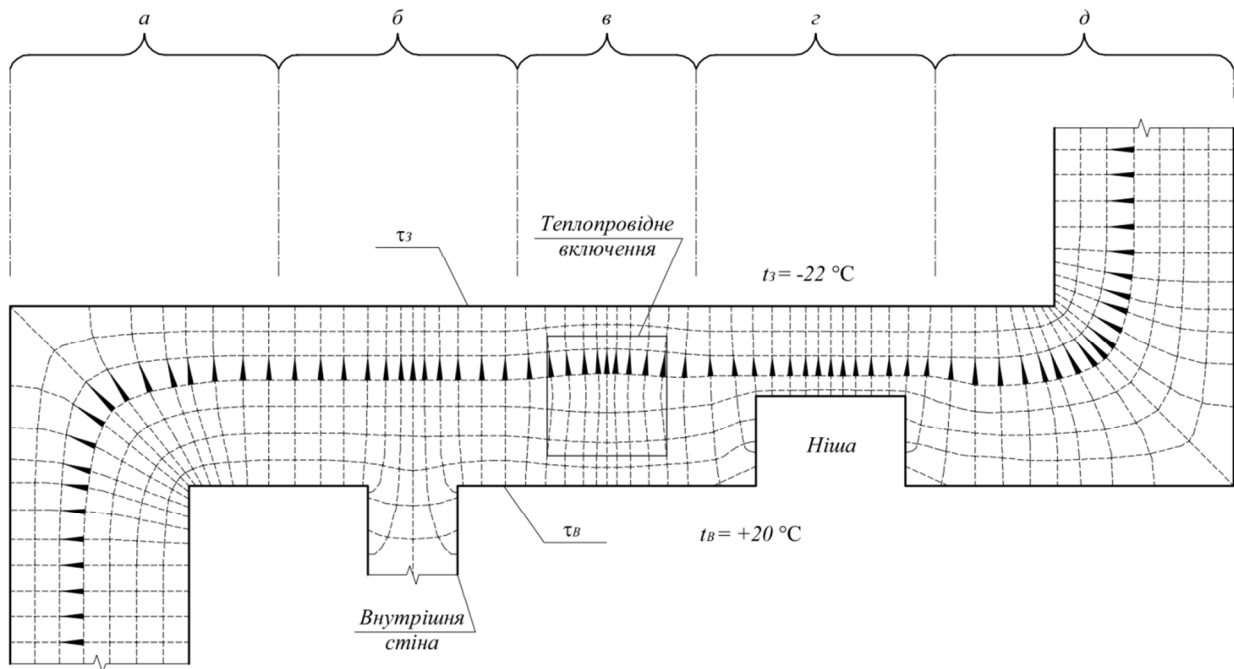


Рисунок 1 – Розподіл ізотерм та ліній току теплового потоку в зовнішній огорожувальній конструкції.

a – зовнішній кут будівлі; *б* – фрагмент приєднання внутрішньої стіни до зовнішньої огорожувальної конструкції; *в* – фрагмент із теплопровідним включенням; *г* – фрагмент із внутрішнім заглибленням (нішою) в товщі зовнішньої стіни; *д* – внутрішній кут будівлі

Розрахунок теплових полів конструкцій.

Вплив геометричних та фізичних факторів

Найбільш ефективним підходом до підбору товщини утеплювача є аналіз характеру теплових ізополів у перерізах досліджуваних огорожувальних конструкцій. Для побудови температурного поля можна застосовувати один із методів чисельного моделювання [5, 6, 7, 8, 9], що базуються на переході від диференціальної форми запису рівнянь теплопровідності до дискретної, шляхом складання системи лінійних рівнянь для множини визначених упорядкованих точок (вузлів) досліджуваної ділянки конструкції з подальшим розв'язанням одержаної системи відносно невідомих вузлових температур. Ця задача досить трудомістка, тому інженери намагаються використовувати спрощені моделі та методи. Так для відносно протяжних однорідних плоских

ділянок стін користуються одновимірними моделями та вдаються до простих аналітичних розрахунків на основі формул типу (12) і (13). Якщо стінова конструкція має складну форму і побудови двовимірного поля не уникнути, то часто застосовують графічний метод побудови ізополів. Цей метод оснований на побудові ортогональної сітки криволінійних квадратів, утвореній лініями току тепла й ізолініями. В межах кожного квадрату намагаються середню відстань між сусідніми ізотермами зробити рівною відстані між сусідніми лініями току [4]. Підраховуючи число труб (утворених сусідніми лініями току), та їх довжини визначають величини теплових втрат, приведені опори теплопередачі та інше. На рисунку 1 продемонстровано фрагмент стінової конструкції з ізотермами й лініями току, побудованими графічним методом. Існують й більш складні напіваналітичні методи розрахунків, такі як метод суперпозицій та метод електротеплової аналогії. Звичайно, застосування всіх цих методів вимагає значного

досвіду розрахунків й інженерної практики.

В результаті відтворення повної картини температурного поля стає можливою оцінка щільності ліній току теплової енергії. Це, в свою чергу, дозволяє прослідкувати усі траєкторії теплових втрат від нагрітих внутрішніх поверхонь до холодних зовнішніх граней зовнішніх стін. Такий підхід дає змогу порівняти площу внутрішніх нагрітих системою опалення та іншими джерелами теплової енергії стінових конструкцій (включаючи примикаючі до зовнішніх стін внутрішні несучі стіни й перегородки) та зовнішню площу огорожень, крізь яку внутрішнє тепло покидає будівлю. Саме на основі даних розрахунків й визначаються фактори форми геометрично складних ділянок та теплопровідних включень [4]. Для прикладу розглянемо фрагмент зовнішньої стіни з двома кутами (зовнішнім та внутрішнім), примиканням внутрішньої міжкімнатної стіни, зміною товщини та теплопровідним включенням (див. рис. 1).

Розподіл ліній току на зовнішньому куті стіни (див. рис. 1.а) демонструє причину того, чому в середині приміщення температура цієї зони завжди нижча за температуру на протяжних гладких ділянках. Очевидно, що в результаті сходження в кутовому з'єднанні двох плоских ділянок стіни, кожна з яких в однаковій мірі втрачає теплову енергію, на лінії перетину внутрішніх площин виникає концентрація ліній витоку теплової енергії (які перпендикулярні ізотермам). З фізичної точки зору площа зовнішньої кутової поверхні, яка за рахунок трансмісійного переносу віддає тепло назовні значно більша, ніж площа внутрішньої поверхні стіни, з якої ця енергія надходить у глибокий матеріал огороження. Це спричиняє пониження температури внутрішньої поверхні зовнішнього кута. При цьому температурне поле в цьому місці має двовимірний характер і через суміжні ділянки (калібри – ділянки відповідні товщині стіни) кутовий фрагмент частково компенсує розподіл власних втрат тепла. Саме тому в межах відстані, рівної двом калібрам від зовнішнього кута по зовнішній поверхні, кількість тепла, яке втрачається, на 32% менше ніж втрачається через таку ж площу на стіновій гладі. Через внутрішню поверхню зовнішнього кута втрачається на 18% більше, ніж на внутрішній гладі на відстані 2-х калібрів від кута. Очевидно, що першопричина тепловтрат в цьому випадку носить суть геометричний характер.

На внутрішньому куті будинку (див. рис. 1.д) виникає зворотна проблема. Через аналогічний характер розподілу ізотерм при зворотному напрямку поширення ліній току на зовнішній

поверхні внутрішнього кута тепловтрати на 32% вищі, а на внутрішній – на 18% нижчі.

В місцях, де з внутрішньою поверхнею огорожувальної конструкції з'єднуються внутрішні міжкімнатні стіни або перегородки (див. рис. 1.б) виникає підвищення інтенсивності теплового потоку, який надходить безпосередньо від добре прогрітої з двох сторін внутрішньої стіни. Цей потік за умови трансмісії тепла спричиняє підвищені втрати енергії на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції.

Проблема, яка виникає при тепловтратах у місцях зменшення товщини стіни (див. рис. 1.г) також частково носить геометричний характер, оскільки бічні поверхні заглиблень (ніш) збільшують загальну внутрішню площу поверхні огороження, яка поглинає більшу кількість тепла й передає відповідно на меншу площу зовнішніх стін. В результаті, на зовнішній поверхні стін в місцях та біля ніш тепловтрати зростають. Окрім того, ця проблема носить й фізичний характер, оскільки зменшення товщини стіни призводить до зниження опору її теплопередачі.

У випадках наявності теплопровідних включень (див. рис. 1.в), проблематика надмірних тепловтрат носить суто фізичний характер через зниження загального показника опору теплопередачі в місцях включень.

В переважній більшості випадків причини надмірних тепловтрат носять змішаний характер та обумовлюються як фізичними, так і геометричними особливостями огорожувальних конструкцій, що легко побачити на прикладі перехідних зон на рисунку 1.

Раціональне проектування теплоізоляції

Як зазначалося раніше, проектування теплоізоляційної оболонки будинку доцільно розпочинати з відтворення температурних полів різних фрагментів огорожувальних конструкцій для чіткого розуміння характеру тепловтрат на різних ділянках. Підбір товщини утеплювача за формулою (6) може здійснюватися лише на значних за протяжністю прямолінійних ділянках без примикання внутрішніх перегородок, ніш, теплових включень та за відсутності інших складних конструктивних вузлів з додатковим геометричним ускладненням. Те ж стосується і формули (9) для визначення величини тепловтрат через товщу огороження. При цьому аналіз тепловтрат є найбільш об'єктивним інструментом при підборі товщини обраного типу утеплювача, оскільки, якщо спиратися на величини опорів теплопередачі конструкцій за приведеними показниками

температур та площ поглинаючих й віддаючих тепло поверхонь, то існує висока ймовірність не врахувати значну площу поверхонь, переохолоджених за рахунок наявності містків холоду.

Відтак, пропонується наступний алгоритм дій.

1. Чисельне моделювання температурного поля. На основі проведеного розрахунку мають бути зафіксовані показники температур на зовнішній та внутрішній поверхнях огорожувальної конструкції. Ще перед початком моделювання варто визначитися із оптимальним кроком решітки вузлів розрахункової моделі. Вибір кроку має обумовлюватися загальною геометрично складністю будинку та може змінюватися на окремих ділянках стін. Також, крок сітки необхідно згущувати в зонах підвищення температури зовнішньої поверхні та в зонах пониження температури внутрішніх поверхонь.

2. Розрахунок інтенсивності та кількості тепловтрат на поверхні типової протяжної ділянки огорожувальної конструкції та визначення опору теплопередачі цієї ділянки.

3. Розрахунок товщини утеплення для типової протяжної ділянки огорожувальної конструкції. Після цього необхідно перевірити виконання усіх санітарно-гігієнічних нормативних вимог в тому числі умови (7).

4. Визначення інтенсивності та кількості тепловтрат на поверхні інших фрагментів зовнішніх огорожувальних конструкцій із обраним кроком.

5. Визначення товщини утеплення на усіх досліджуваних ділянках (з обраним кроком) зовнішніх огорожувальних конструкцій шляхом інтерполювання на основі значень тепловтрат та товщини утеплення типової протяжної ділянки зовнішньої стіни.

Запропонований алгоритм передбачає, що товщина утеплення буде змінною й пропорційною тепловтратам в кожній точці огорожувальної конструкції. На відміну від класичного способу підбору й влаштування теплоізоляційних матеріалів, даний підхід передбачає раціоналізацію витрат теплоізоляційних матеріалів, на основі мінімізації й рівномірного перерозподілу втрати тепла між усіма фрагментами огорожувальної конструкції.

Для практичного втілення запропонованого підходу утеплення найбільш доцільно звернутися до сучасних технологій улаштування теплоізоляції із напилувального пінополіуретану. В такому випадку нанесення утеплювача можна буде здійснювати з точністю до одного сантиметра, без різких перепадів й чіткого розмежування шарів наплення (рис. 2). Зважаючи на високу ціну такого типу утеплення, оптимізація його витрат є особливо актуальною.

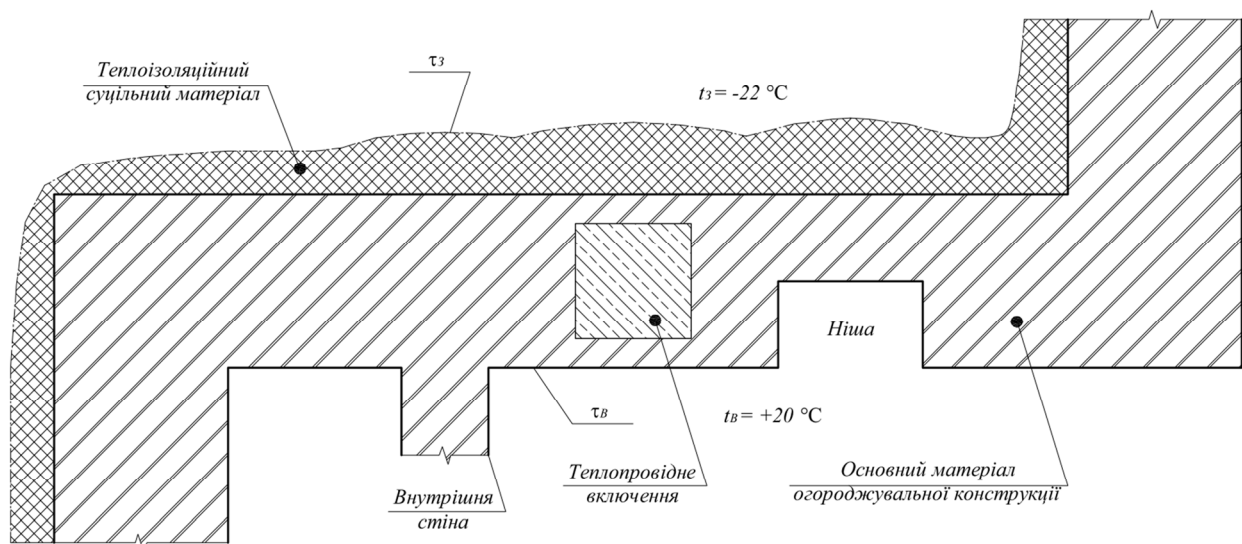


Рисунок 2 – Улаштування суцільного шару утеплювача (з напилувального пінополіуретану, наприклад)

Цілком допустимим є й влаштування пошарової теплової ізоляції з використанням полістирольних плит, наприклад (рис. 3). В такому випадку теплоізоляція носитиме більш дискретний характер та не дозволить досягти економії матеріалу

в повному обсязі у зв'язку з тим, що полістирольні плити випускаються лише у певних типорозмірах та з певною товщиною листа. Натомість, даний підхід не вимагає високої кваліфікації виконавців.

Висновки

Запропонований алгоритм визначення змінної товщини теплоізоляційного шару представляє інтерес не лише для громадських будинків, але й для будівель та споруд промислового або сільськогосподарського призначення. Особливий інтерес представляє його застосування з використанням технології напіння пінополіуретану. Доцільно застосовувати такий тип утеплення при проектуванні й улаштуванні систем вентиляційного фасаду.

Слід додати, що представлений алгоритм потребує подальшого розвитку й удосконалення,

оскільки вимагає визначення величин тепловтраг на різних ділянках фасаду, що є досить складною і трудомісткою задачею.

Перспективним напрямком досліджень являється також розробка математичного апарату моделювання теплових полів без застосування громіздких чисельних методів розрахунків. Наприклад, застосування інтерполяційних формул для відтворення температурних полів в досліджуваній зоні могло б значно скоротити витрати часу при побудові ліній току, розрахунку тепловтраг, а також при пошуку містків холоду в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

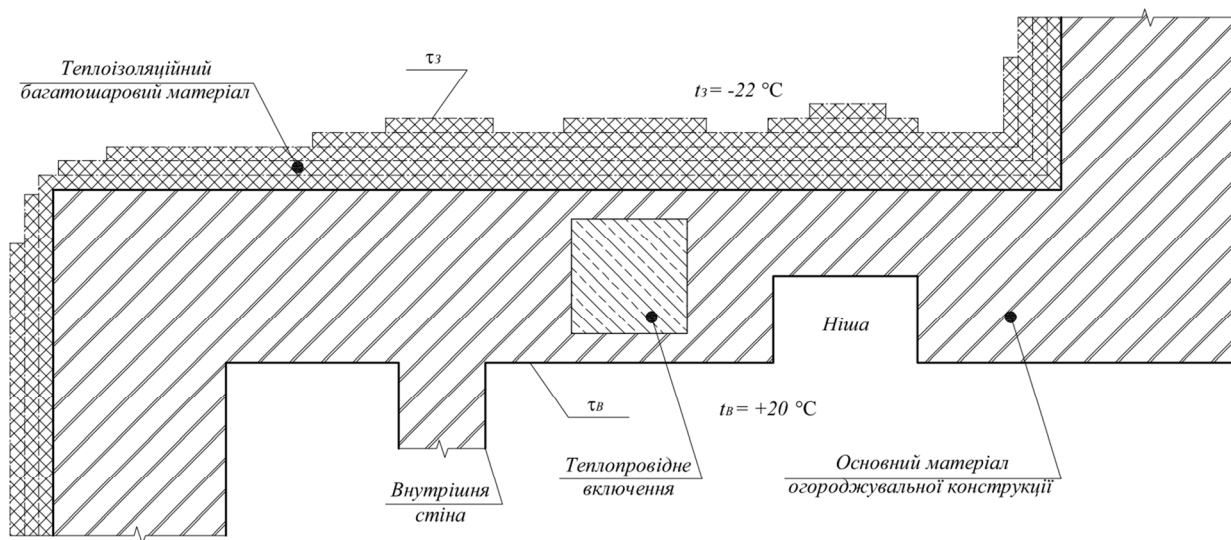


Рисунок 3 – Улаштування багатошарового утеплювача (з полістиролу, наприклад)

Література

1. ДБН В.2.6-31-2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 73 с.
2. ДБН В.2.6-31-2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва, та житлово-комунального господарства України, 2017. – 33 с.
3. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 3-е, перераб. и доп. / К. Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
4. Богославский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. Н. Богославский – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Несис Е. И. Методы математической физики / Е. И. Несис. – М.: «Просвещение», 1977. – 199 с.
6. Пехович А. И. Расчёты теплового режима твёрдых тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Ленинград: «Энергия», 1976. – 352 с.
7. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. – 553 с.
8. Самарский А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
9. Самарский А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 432 с.
10. Wong H. Y. Handbook of Essential and Data on Heat Transfer for Engineers / H. Y. Wong. – London – New York: Longman Group, 1977. – 216 p.

Стаття надійшла в редколегію 01.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Сергейчук, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Якусевич Сергей Григорьевич

Аспирант кафедры архитектурных конструкций КНУБА,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Плоский Виталий Алексеевич

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой архитектурных конструкций КНУСА, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ДОМА

Аннотация. В работе поднимаются важные аспекты эффективного подбора толщины утеплителя зданий и сооружений. Системно проанализированы основные факторы, влияющие на выбор материала утеплителя, места его устройства и его толщины. Приведены принципиальные и наиболее употребляемые математические закономерности, позволяющие определять ключевые физические величины, характеризующие процессы переноса тепловой энергии через толщину конструкции и соответственные потери энергии. Предложен алгоритм рационального распределения материала для утепления в зависимости от теплопотерь внешних непрозрачных ограждающих конструкций с применением пенополиуретана и полистирола.

Ключевые слова: теплопередача; тепловой поток; теплопотери; температурные изополя; фактор формы ограждающей конструкции; тепловая изоляция

Yakusevych Serhii

Postgraduate student at the department of Architectural Structures of KNUCA,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Ploskyi Vitalii

Doctor of Technical Science, Professor,

Head of the department of Architectural Structures of KNUCA, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

CERTAIN ASPECTS OF AN EFFECTIVE SETTING UP OF THERMAL INSULATION LAYER OF BUILDING

Abstract. In this work important aspects of the effective selection of insulation layer thickness of buildings and structures are raised. Systematically the main factors affecting the choice of insulation material, the location of its setting up and its thickness are analyzed. Principled and most used mathematical laws were shown, allowed to determine the key physical quantities, characterizing the processes of thermal energy transfer through the thickness of the structure as well as the energy loss. An algorithm for the rational distribution of material for thermal insulation depending on the heat loss of external opaque enclosing structures using polyurethane foam and polystyrene is proposed.

Keywords: heat transfer; heat flow; heat loss; temperature isopoles; factor of enclosing structure shape; thermal insulation