

УДК 620.9.004.18

**ОЦІНКА ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ З ШАРОМ УТЕПЛЮВАЧА НА ПРИКЛАДІ БУДІВЛІ
НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ НУБІП УКРАЇНИ**

Є. О. Антипов, кандидат технічних наук, доцент

О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук, доцент

С. Є. Тарасенко, кандидат технічних наук, доцент

Л. В. Мартинюк, старший викладач

К. В. Вороніна, студентка магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Проведена оцінка вологісного режиму зовнішніх непрозорих огороджувальних конструкцій будівлі з шаром утеплювача на зовнішній та внутрішній стороні, а також без утеплювача, при якій враховані теплофізичні характеристики всіх матеріалів зовнішньої стіни будинку. Отримані результати досліджень дозволяють чітко визначитися з конструктивним рішенням зовнішніх огороджень вже на стадії розробки проєктної документації. Для кожного конкретного конструктивного рішення встановлено оптимальне місце розміщення утеплювача, виходячи з умови не накопичення вологи в товщі досліджуваної конструкції. При правильній оцінці вологісного режиму конструкції з внутрішнім утепленням не можуть бути застосовані. Для такої конструкції відбувається конденсація вологи в товщі утеплювача, що є недопустимим. Показано, що цегляна кладка без утеплення для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну у приміщеннях будівлі. Однак, останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних втрат будівлею. Доведено, що при проектуванні житлових і громадських будинків результати оцінки вологісного режиму зовнішніх огороджувальних конструкцій та енергетичних показників будівлі на відповідність діючим вимогам є дуже важливим критерієм при виборі постачальника будівельних матеріалів зі значного асортименту на ринку, який може виявитися вирішальним у прийнятті конкретного проєктного рішення.

Ключові слова: *огороджувальна конструкція, вологісний режим, точка роси, парціальний тиск, водяна пара*

Актуальність. Вологісний стан матеріалів огорожувальної конструкції визначає її довговічність, придатність конструкції до експлуатації, рівень теплових потоків в опалювальний період року і, відповідно, характеристики енергоефективності та теплової надійності. Тому вже на етапі проектування зовнішніх огорожень треба вживати заходів щодо запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальної конструкції, виключення можливості конденсації водяної пари як на внутрішній поверхні, так і в товщі огороження. Все це свідчить про виняткову важливість проєктних розрахунків вологісного режиму огорожувальних конструкцій [1].

При проектуванні теплоізоляційної оболонки існуючих будинків на основі багат шарових конструкцій під час їх термомодернізації чи капітального ремонту існує потреба у виборі оптимальної товщини утеплювача та місця його розташування (з внутрішньої чи зовнішньої сторони зовнішньої стіни будівлі). За ДБН В.2.6-33 та ДСТУ Б В.2.6-34 шари із теплоізоляційних матеріалів слід розташовувати з зовнішньої сторони несучої частини стіни, використовуючи при цьому конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Застосовувати конструктивні рішення з шарами із теплоізоляційних матеріалів з внутрішньої сторони конструкції не рекомендується через можливе надмірне накопичення вологи в теплоізоляційному шарі, що призводить до незадовільного тепловологісного стану конструкції й приміщення в цілому, а також до зниження теплової надійності оболонки будинку. Дослідженню та підтвердженню останнього твердження і буде присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зважаючи на особливий статус питання, Науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій (НДІБК) було розроблено автоматизовану програму розрахунків для оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожень. Програма називається «Вологісний режим огорожувальних конструкцій» і призначена для прикладних розрахунків інженерами-проектувальниками вологісного режиму за алгоритмом ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель». При розробці програми

враховувався позитивний досвід аналогічної розробки – комп'ютерної версії програми розрахунку Енергетичного паспорту будинку.

Результатом розрахунків є графічне представлення розподілу по товщині конструкції її температурно-вологісних показників з наведенням інформації щодо можливості конденсації вологи, шару матеріалу, де відбувається конденсація та відносне збільшення його вологості [1].

Однак, нині для більшості типових конструкцій у відкритому доступі відсутні графічні представлення розподілу по товщині конструкції її температурно-вологісних показників, що вказує на необхідність щоразу виконувати розрахунки щодо оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожень.

Мета дослідження – визначити місце оптимального розташування утеплювача з точки зору будівельної фізики.

Матеріали і методи дослідження. Для проведення досліджень вихідними умовами будуть такі характеристики зовнішніх стін будівлі навчального корпусу №8 НУБіП України: із кладки керамічної повнотілої цегли (9), товщиною 510 мм, утеплюються мінераловатними плитами ($\lambda = 0,045$ Вт/(м·°С), $\gamma = 135$ кг/м³), товщиною 150 мм (7), клеючим розчином Ceresit (5, 8), товщиною 5 мм, зовнішнього оздоблення (клеючого розчину Ceresit (2-4), товщиною 2 мм, та декоративної штукатурки (1), товщиною 2,5 мм) і внутрішньої (10) цементно-піщаної штукатурки ($\delta = 20$ мм).

Розрахунок опору теплопередачі термічно однорідної непрозорій огорожувальної конструкції розраховується за формулою [2]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}. \quad (1)$$

де $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ м²·К/Вт - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні захищення за п.3 дод. Б [2];

$\alpha_{\text{з}} = 23$ м²·К/Вт - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні захищення за п.3 дод. Б [2]; $\delta_1 \dots \delta_n$ - товщини відповідних шарів захищення, м;

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ - коефіцієнти теплопровідності відповідних шарів в розрахункових умовах експлуатації (розрахункова теплопровідність відповідно Б-нормальний), Вт/(м·К);

n – кількість шарів огорожувальної конструкції.

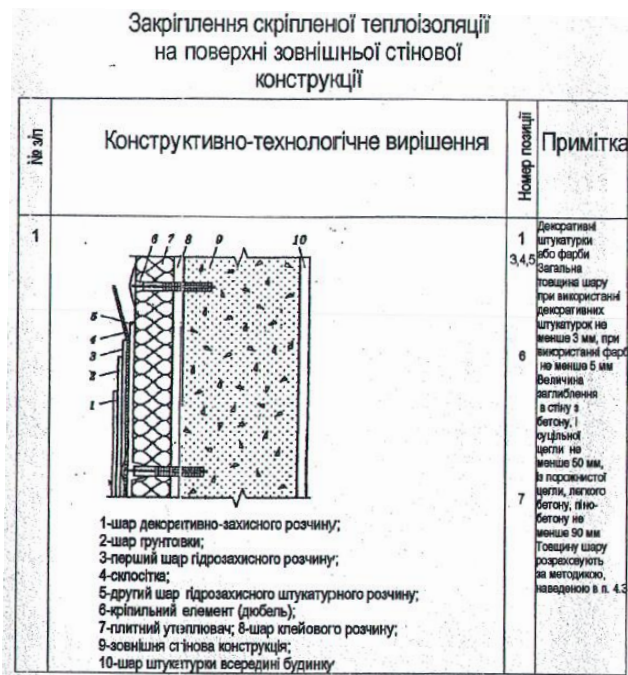


Рис. 1. Конструкція зовнішньої стіни навчального корпусу НУБіП України

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції становитиме:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,005}{0,87} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,002}{0,87} + \frac{0,0025}{0,87} + \frac{1}{23} = 4,16, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розрахунок опору теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції всієї будівлі розраховується за формулою 3 [18]:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_{i-1}}{R_i} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k}, \text{ м}^2 \cdot \text{К / Вт}, \quad (2)$$

де відповідно до ДСТУ Б В.2.6-189 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» F_{Σ} – загальна площа конструкції (зовнішніх стін);

R_i – приведений опір теплопередачі між типами конструкцій;

k_j - лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення;

L_j – лінійний розмір лінійного теплопровідного включення;

ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення;

N_k – загальна кількість точкових теплопровідних включень.

При цьому загальна площа зовнішніх стін F_{Σ} має наступний вигляд:

$$F_{\Sigma} = F_i + F_w = \sum_{j=1}^{I=3} F_j + \sum_{j=1}^{I=3} F_w = F_{\text{тип1}} + F_{w1} = 1506,5 + 308 = 1814,5 \text{ м}^2,$$

де F_i – сумарна площа зовнішніх стін, приймаємо $F_i = 1506,5 \text{ м}^2$;

F_w – площа віконних та дверних відкосів (ширина відкосу прийнята 0,27 м), $F_w = 308 \text{ м}^2$.

Кількість, довжина теплопровідних включень та їх коефіцієнти теплопередачі, які наявні на зовнішніх стінах зазначені в таблиці 1.

1. Кількість, довжина теплопровідних включень та їх коефіцієнти теплопередачі

Найменування теплопровідного включення	Протяжність, м	Кількість, шт.	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, k, Вт(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, ψ , Вт/К
Віконний відкос у зоні перемички	372,0	--	0,081	--
Віконний відкос у зоні підвіконня	372,0	--	0,064	--
Віконний відкос у зоні рядового примикання	768,8	--	0,071	--
Дюбель для кріплення	--	3013	--	0,005

Лінійні коефіцієнти теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень взяті з додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189-2013. «Методи вибору теплоізоляцій», точкові коефіцієнти теплопередачі - з додатку Д.

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції всієї будівлі становитиме:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_i} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} = \frac{1814,5}{\frac{1506,5}{4,16} + 1506,5 \cdot 0,005 \cdot 2 + 372 \cdot 0,081 + 372 \cdot 0,064 + 768,8 \cdot 0,071} = 3,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{3,74} = 0,27, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (3)$$

Нижче наведемо температурне поле вузла кутового сполучення стін (рис. 3).

2. Лінійні коефіцієнти теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень

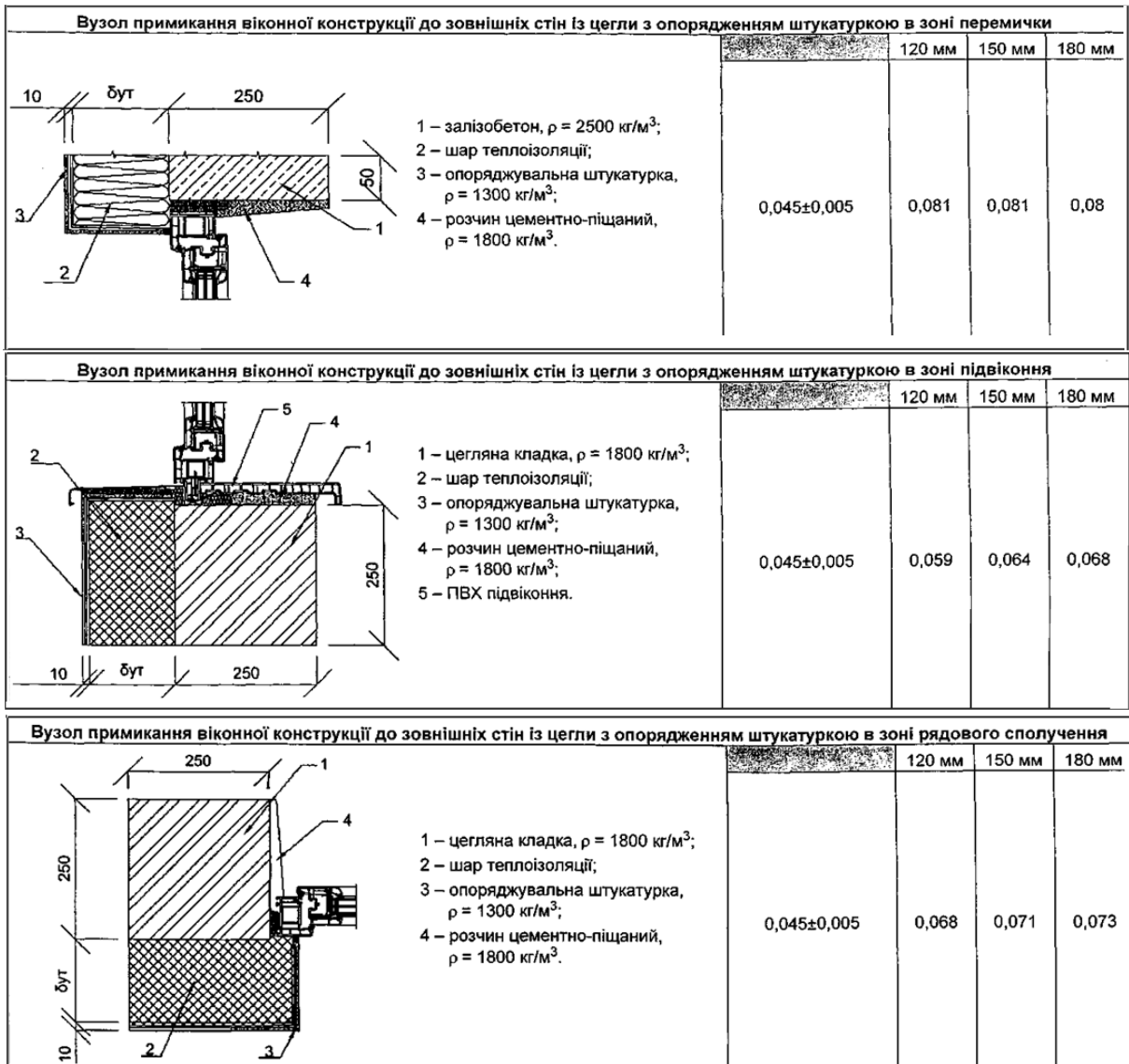


Рис. 2. Лінійні коефіцієнти теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень

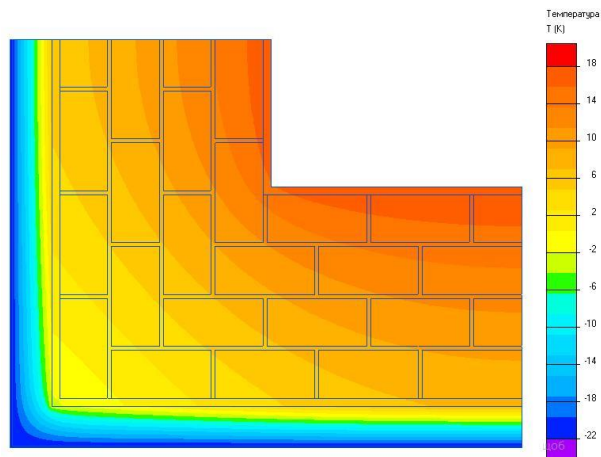


Рис. 3. Температурне поле вузла кутового сполучення стін

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі внутрішньої конструкції

$R_{g \min}$ п.6.3 [3], яка розмежовує приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на 4 °С (теплі горища, стіни, перекриття, вікна, тощо), і приміщення з поквартирним регулюванням теплоспоживання, визначають за формулою А1 [3]:

$$R_{g \min} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}{\Delta T_{\text{cr}} \cdot \alpha_{\text{в}}} = \frac{20 - (-22)}{4 \cdot 8,7} = 1,21, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}. \quad (4)$$

де $t_{\text{в}}$ – розрахункова температура повітря в приміщеннях будівлі, $t_{\text{в}} = 20$ °С за табл. В.2 [3];

$t_{\text{з}}$ – температура зовнішнього повітря, $t_{\text{з}} = -22$ °С (з розділу 2.4 для І кліматичної зони);

ΔT_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції за табл. 5 [3], $\Delta T_{\text{cr}} = 4$ °С;

$\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкції, за п.1 дод. В [18], $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м·К).

Перевіряємо на виконання умови:

$$R_{\Sigma \text{пр}} > R_{g \min} \rightarrow 3,74 > 1,21 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}. \quad (5)$$

Необхідна умова виконана.

Приймаємо мінімально допустимі значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій будівлі для І температурної зони за табл. 3 [3] та проводимо розрахунок відповідно до розділу 5 [2].

Визначаємо температуру на внутрішній поверхні зовнішньої стіни:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}{R_{\Sigma \text{пр}} \cdot \alpha_{\text{в}}} = 20 - \frac{20 - (-22)}{3,74 \cdot 8,7} = 18,7, \text{ } ^\circ\text{С}. \quad (6)$$

Для розрахунку «точки роси» будуємо діаграму тепловологісного стану огороджувальної конструкції із використанням програмного продукту [4]. Знаходимо за діаграмою нижче температуру «точки роси» при $t_{\text{в}} = 20$ °С і $\varphi_{\text{в}} = 55$ % для стіни із цегляної кладки та отримуємо для зовнішньої стіни будівлі – $\tau_{\text{р}} = 10,4$ °С.

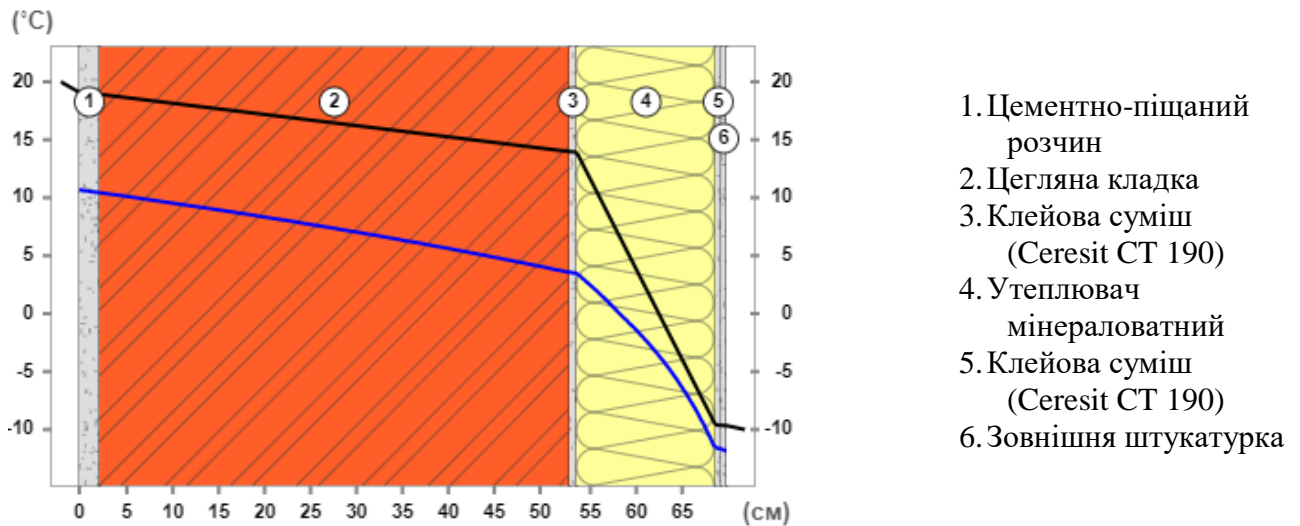


Рис. 4. Діаграма тепловологісного стану огорожувальної конструкції

Конденсат на площині внутрішньої поверхні стіни буде утворюватися в тому випадку, якщо $t_{в} \leq t_p$. Оскільки:

$$18,7 \text{ }^{\circ}\text{C} > 10,4 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

то конденсації не буде і конструкція зовнішньої стіни задовольняє вимоги діючих норм [3].

У той же час, за умовою (5) ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій має бути менший або дорівнювати допустимому показнику за санітарно-гігієнічними вимогами:

$$\Delta T_{пр} \leq \Delta T_{ср}. \quad (7)$$

Температурний перепад $\Delta T_{пр}$ для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління не більше ніж 0,18 при виконанні умови за формулою (5) ДБН В.2.6-31:2016 розраховується тільки для непрозорої частини огорожувальної конструкції за формулою:

$$\Delta T_{пр} = t_{в} - t_{впр}, \quad (8)$$

де $t_{впр}$ – зведена температура внутрішньої поверхні $^{\circ}\text{C}$ термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції, що розраховується при розрахунковому значенні температури внутрішнього повітря $t_{в}$, прийнятому залежно від

призначення будівлі згідно з В.2 [3], і розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря $t_{\text{з}}$, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будинку за В.4 [3] за формулою:

$$t_{\text{внр}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{вн}i} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}, \quad (9)$$

де $t_{\text{вн}i}$, F_i – відповідно середня температура внутрішньої поверхні, °С та площа, м², і-го елемента огорожувальної конструкції;

F_{Σ} - загальна площа внутрішньої поверхні, м², огорожувальної конструкції.

У такому випадку розрахунок зведеного показника температури внутрішньої поверхні термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції буде виглядати так:

$$t_{\text{внр}} = 18,7.$$

Зводимо отриманні дані в таблицю 3.

3. Зведений показник температури внутрішньої поверхні термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції

Зовнішня стіна	$\Delta T_{\text{пр}}$	$\Delta T_{\text{ср}}$
Цегляна кладка керамічної повнотілої цегли з утеплювачем	20 – 18,7 = 1,3	≤ 4

За результатами проведених розрахунків, які зведені в таблицю 3, бачимо, що показник $\Delta T_{\text{пр}}$ конструкцій $\leq \Delta T_{\text{ср}}$, на основі чого стверджуємо, що умова (5) ДБН В.2.6-31:2016 виконується.

Далі, проведемо дослідження та розрахунки спрямовані на вибір оптимального місця розташування утеплювача з точки зору будівельної фізики з урахуванням ряду умов [3]:

$$\Delta w \leq \Delta w_{\text{д}}, \quad (10)$$

де Δw - збільшення вологості матеріалу в товщі шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація вологи за холодний період року, % за масою;

$\Delta w_{\text{д}}$ - допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу в шарі якого може відбуватися конденсація вологи, % за масою, що встановлюється згідно з таблицею 4 залежно від виду матеріалу.

4. Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу Δw_d в конструкції в холодний період року

Найменування матеріалу	Значення Δw_d , %
Мінераловатні та скловолокнисті вироби	2,5
Пінополістирол	2,0
Пінополіуретан	3,0
Плити з карбам ідо-формальдегідних пінопластів	7,0
Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат тощо)	1,2
Бетони легкі	1,2
Вироби перлітові	2,0
Плити з природних органічних та неорганічних матеріалів	7,0
Вироби з кремнезиту	2,5
Цегляне мурування	1,5
Піногазоскло	1,5
Мурування з силікатної цегли	2,0
Засипки з керамзиту, шунгізиту	3,0
Важкий бетон, цементно-піщаний розчин	2,0

Зона конденсації визначається за характером розподілу парціального тиску водяної пари $e(x)$ і насиченої водяної пари $E(x)$ в товщі шарів огорожувальної конструкції. Парціальний тиск водяної пари в товщі шару матеріалу в перерізі x , Па, визначається за формулою

$$e(x) = e_6 - \frac{e_6 - e_3}{R_{e\Sigma}} R_{ex}, \quad (11)$$

де e_6 - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, що визначається за розрахунковим значенням відносної вологості $\varphi_{в\theta}$ залежно від призначення будинку згідно з додатком Г і значенням парціального тиску насиченої водяної пари E_6 , що залежить від температури, за формулою

$$e_6 = 0,01\varphi_{в\theta} E_6, \quad (12)$$

де e_3 - парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, що визначається за [ДСТУ-Н Б В.1.1-27](#) для періоду найбільш холодного місяця року, Па;

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot год \cdot Па/мг$;

R_{ex} - опір паропроникненню огорожувальної конструкції на відстані x від внутрішньої поверхні, $m^2 \cdot год \cdot Па/мг$.

Парціальний тиск насиченої водяної пари $E(x)$, Па, визначається за довідковими даними залежності $E(t)$ за розподілом температури в товщі конструкції $t(x)$, що розраховується за формулою

$$t(x) = t_e - \frac{t_e - t_{ze}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right), \quad (13)$$

де t_{ze} - розрахункова температура зовнішнього повітря для процесу накопичення вологи в конструкції, яка визначається за [ДСТУ-Н Б В.1.1-27](#) для періоду найбільш холодного місяця року °С.

Опір паропроникненню огорожувальної конструкції та окремих її шарів розраховується за формулами:

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (14)$$

$$R_{ex} = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{x - \sum_{i=1}^m \delta_i}{\mu_{m+1}}, \quad (15)$$

де n - загальна кількість шарів у конструкції;

m - кількість повних шарів від внутрішньої поверхні до перерізу x ;

δ_i - товщина i -го шару, м;

μ_i - паропроникність матеріалу i -го шару, мг/(м · год · Па), що визначається за таблицею Л додатка Л;

μ_{m+1} - паропроникність матеріалу шару, мг/(м · год · Па), де розташований переріз x .

У разі, якщо $e(x) < E(x)$ для будь-якого $x \in [0, \delta]$, умова за формулою (10) вважається виконаною.

У разі, якщо $e(x) = E(x)$ у будь-якому з перерізів огорожувальної конструкції, проводиться розрахунок приросту вологи в шарі матеріалу Δw , в якому відбувається конденсація вологи (в разі розташування зони конденсації на межі шарів приріст розраховується для шару, прилеглого до зони конденсації з боку внутрішньої поверхні), за формулою

$$\Delta w = \frac{P}{\delta_x \rho_k} 100, \quad (16)$$

де P - кількість вологи, що конденсується в товщі огорожувальної конструкції за період накопичення вологи в конструкції, $\text{кг}/\text{м}^2$, що розраховується за формулою

$$P = \left(\frac{e_6 - e_k}{R_{ek}} - \frac{e_k - e_3}{R_{e\Sigma} - R_{ek}} \right) Z \cdot 10^{-6}, \quad (17)$$

де e_k - парціальний тиск водяної пари, Па, у зоні конденсації, що визначається за формулою (12);

R_{e_k} - опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції від внутрішньої поверхні до зони початку конденсації, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, що визначається за формулою (16);

$R_{e\Sigma}$ - те саме, що у формулі (15);

Z - період накопичення вологи в конструкції, год, що дорівнює періоду із середньодобовими температурами зовнішнього повітря менше ніж 8°C за [ДСТУ-НБ В.1.1-27](#);

δ_k - товщина шару матеріалу, м, в якому відбувається накопичення вологи, що конденсується (від зони конденсації до внутрішньої поверхні шару);

ρ_k - густина шару матеріалу, в якому відбувається конденсація вологи, $\text{кг}/\text{м}^3$, що визначається за таблицею Л.1 [додатка Л](#) ДБН В.2.6-31 «Теплова ізоляція будівель».

Опір паропроникненню замкнених повітряних прошарків приймається рівним нулю незалежно від розташування та товщини цих прошарків.

Результати дослідження та їх обговорення. Оцінка вологісного режиму огорожувальних конструкцій здійснювалась згідно з вимогам розділу 6 ДБН В.2.6-31 для глухих ділянок основного поля зовнішніх стін. Спочатку наведено результати дослідження конструкції зовнішньої стіни з кладки керамічної повнотілої цегли з утеплювачем із зовнішньої (тип 1), далі – із внутрішньої сторони (тип 2) та без утеплювача (тип 3), яка характерна для навчального корпусу №1 НУБіП України (будівля відноситься до пам'ятки архітектури місцевого значення), що унеможливорює її утеплення із зовнішньої сторони. Інші дослідження проведені авторами наведені у [5-8].

Основні технічні та теплофізичні характеристики будівельних конструкцій матеріалів зовнішньої непрозорої огорожувальної конструкції будинку наведено у таблиці 5.

5. Основні технічні та теплофізичні характеристики будівельних конструкцій матеріалів зовнішньої стіни

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності (мг/м·год·Па)	Опір паропроникненню (м ² ·гоПа)/мг	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ Б В.2.6-189:2013 (*додатку Л ДБН В.2.6-31:2006)
1	Внутрішня штукатурка	0,02	0,81	0,025	0,12	0,17	66
2	Цегляна кладка	0,51	0,81	0,63	0,11	4,64	74
3	Клей для приклейки	0,005	0,87	0,006	0,098	0,05	67
4	Мінеральна вата	0,15	0,045	3,33	0,41	0,37	6*
5	Клей для приклейки	0,002	0,87	0,002	0,098	0,02	67
6	Фасадна штукатурка	0,0025	0,87	0,003	0,098	0,03	67

За таблицею В.2 ДБН В.2.6-31:2016 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $t_v = 20$ °С, відносна вологість повітря $\varphi_v = 55$ %.

За таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_v = 2340$ Па – при температурі внутрішнього повітря 22 °С;

$E_z = 412$ Па – при температурі зовнішнього повітря -4,7 °С (в січні).

$\varphi_z = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e_v = 0,01\varphi_v \cdot E_v = 0,01 \cdot 55 \cdot 2340 = 1287 \text{ Па};$$

$$e_z = 0,01\varphi_z \cdot E_z = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}.$$

Визначаємо розподіл температур $t(x)$, °С, по товщині конструкції за формулою:

$$t(x) = t_s - \frac{t_s - t_z}{R_z} \left(\frac{1}{\alpha_s} + R_x \right)$$

де t_v - внутрішня температура приміщення, °С;

t_3 - розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} - опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{в}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймають згідно з додатком Б ДСТУ Б В.2.6-189;

$R_{\text{х}}$ - опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Визначаємо розподіл температур $t(x)$, °С, по товщині конструкції, результати зводимо до таблиці 6.

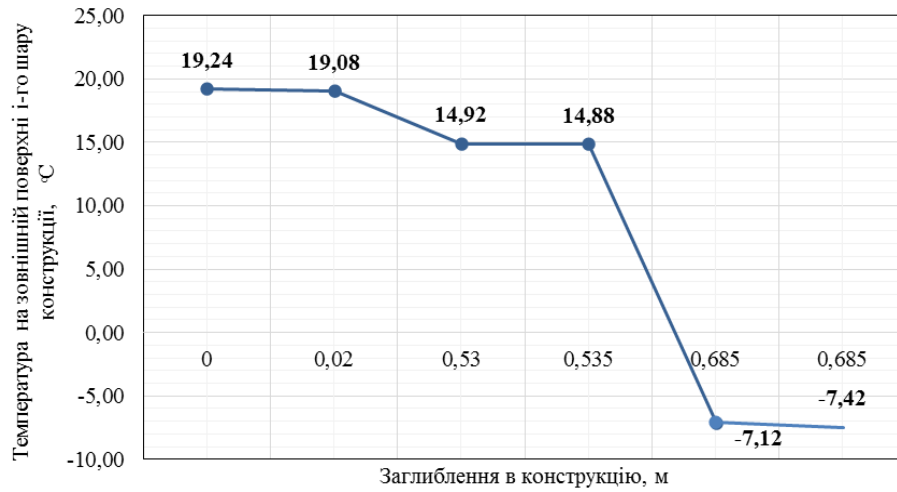
6. Розподіл температур $t(x)$, °С, по товщині зовнішньої огорожувальної конструкції

Температура на зовнішній поверхні, °С	Тип 1	Тип 2	Тип 3
1-го шару:	19,24	19,24	16,54
2-го шару:	19,08	19,20	15,78
3-го шару:	14,92	-2,79	-3,19
4-го шару:	14,88	-2,96	-3,37
5-го шару:	-7,12	-7,12	-4,74
6-го шару:	-7,42	-7,42	-

На зображених нижче рисунках наведено розрахунок тепловологісного стану цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли та мінераловатним утеплювачем із зовнішньої сторони (а) без влаштування вентилязованого повітряного прошарку, далі – із внутрішньої сторони (б) та без утеплювача (в).

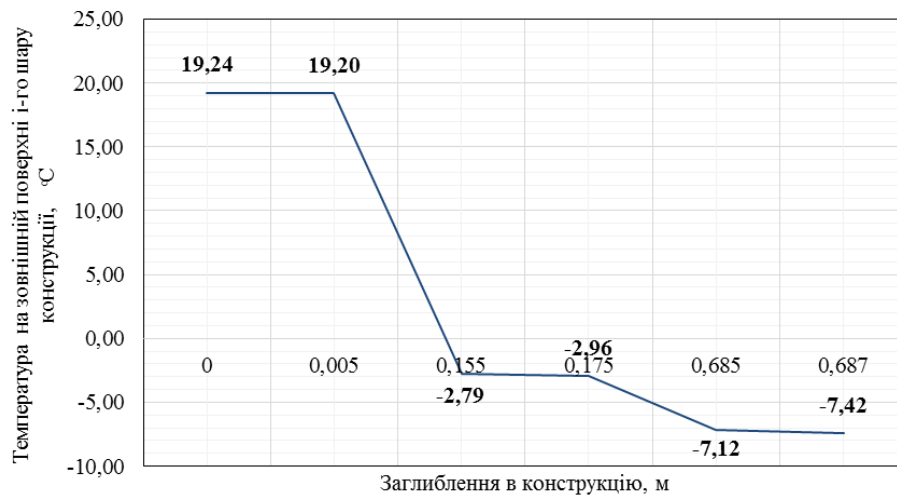
У масштабі опорів паропроникненню будуюмо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари: цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли та мінераловатним утеплювачем із зовнішньої сторони (а) без улаштування вентилязованого повітряного прошарку, далі – із внутрішньої сторони (б) та без утеплювача (в).

Розподіл температури в товщі конструкції стіни типу 1



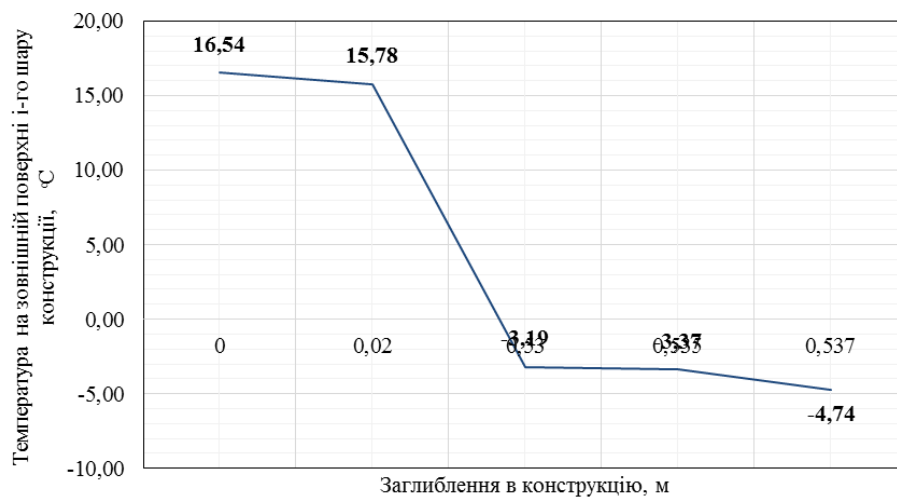
a

Розподіл температури в товщі конструкції стіни типу 2



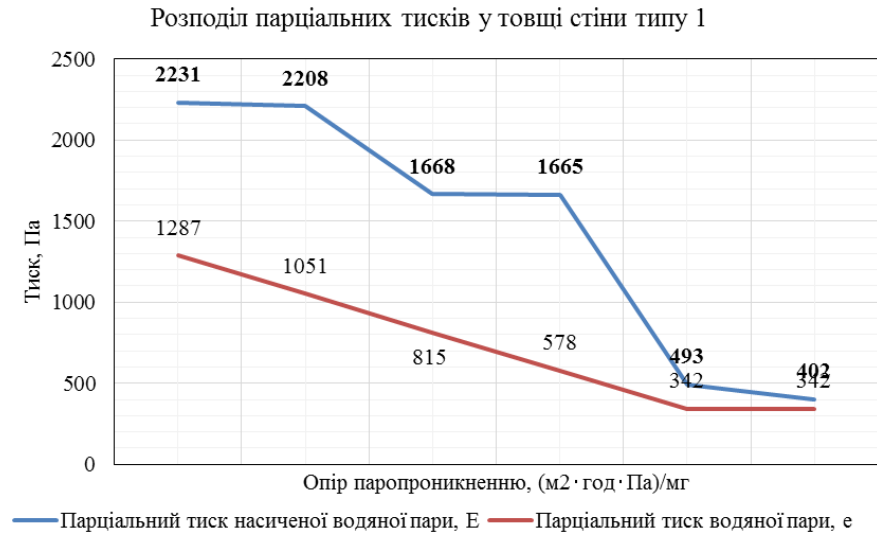
б

Розподіл температури в товщі конструкції стіни типу 3

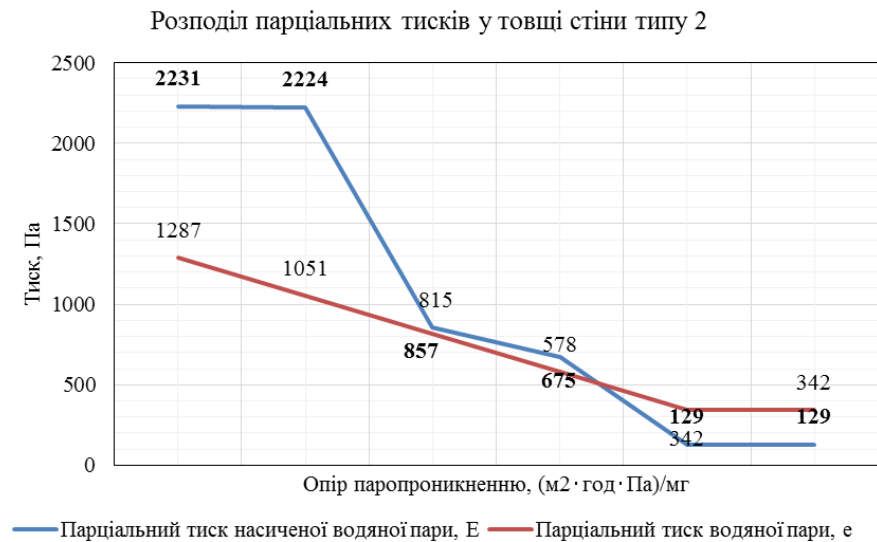


в

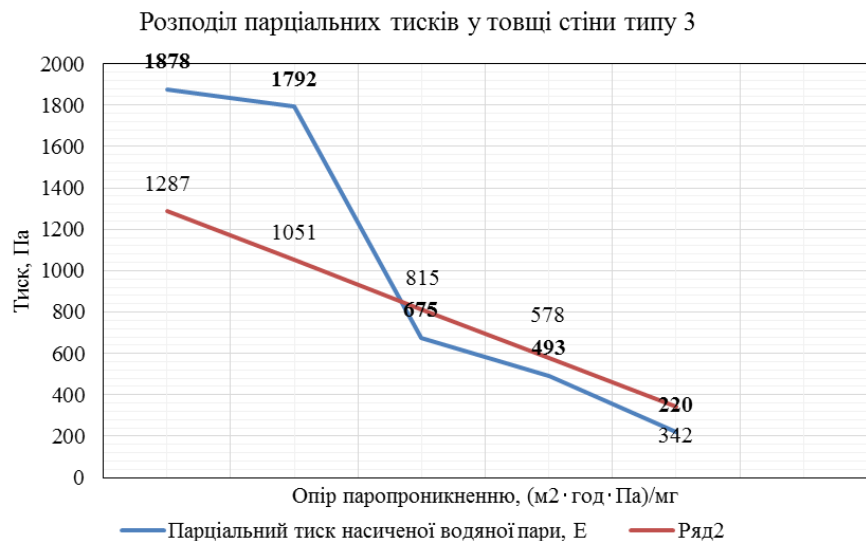
Рис. 5. Розподіл температури у товщі товщі цегляної стіни з утеплювачем



a



б



в

Рис. 6. Розподіл парціальних тисків у товщі цегляної стіни з утеплювачем

Оскільки лінії Е та е на рис. 6, а не перетинаються, то це свідчить про те, що процес конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції не відбувається. Зовсім інша картина на рис. 6, б та 6, в, де лінії перетинаються, що негативно впливає на тепловологісний стан огорожувальних конструкцій та вказує на недоцільність утеплення цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли мінераловатним утеплювачем із внутрішньої сторони. Крім того, цегляна кладка без утеплення для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації також потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну в приміщеннях будівлі. Однак, останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних втрат будівлею.

Висновки і перспективи. Проведені дослідження та розрахунки з оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі з шаром утеплювача на зовнішній та внутрішній стороні, а також без утеплювача, які були спрямовані на вибір оптимального місця розташування утеплювача, з точки зору будівельної фізики.

Отримані результати досліджень дозволяють чітко визначитися з конструктивним рішенням зовнішніх огорожень вже на стадії розробки проектною документації. Для кожного конкретного конструктивного рішення встановлено оптимальне місце розміщення утеплювача, виходячи з умови ненакопичення вологи в товщі досліджуваної конструкції. Так, при правильній оцінці вологісного режиму, конструкції з внутрішнім утепленням не можуть бути застосовані. Як бачимо, для такої конструкції відбувається конденсація вологи в товщі утеплювача, що є недопустимим.

Показано, що цегляна кладка без утеплення для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації також потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну у приміщеннях будівлі. Однак,

останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних втрат будівлею.

Доведено, що при проектуванні житлових і громадських будинків результати оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій та енергетичних показників будівлі на відповідність діючим вимогам є дуже важливим критерієм при виборі постачальника будівельних матеріалів зі значного асортименту на ринку, який може виявитися вирішальним у прийнятті конкретного проєктного рішення.

Список використаних джерел

1. Програмне забезпечення: «Вологісний режим огорожувальних конструкцій»: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patriot-nrg.com/content/programne-zabezpechennya-vologisnyy-rezhym-ogorodzhuvalnyh-konstrukciy>.
2. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189-2013. [Чинний від 2013-08-13]. К.: Держстандарт України, 2013. 55 с.
3. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. [Чинний від 2016-07-08]. К.: Держстандарт України, 2016. – 33 с.
4. Теплотехнический калькулятор ограждающих конструкций. Расчет утепления и точки росы для строящих свой дом: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.smartcalc.ru/thermocalc?&gp=609&rt=0&ct=0&os=0&ti=20&to=-10&hi=55&ho=85>
5. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах. Науковий вісник НУБіП України. 2018. № 283. С. 275 – 280.
6. Міщенко А. В., Шеліманова О. В., Антипов Є. О. Аналіз теплового комфорту у приміщеннях навчального корпусу №8 НУБіП України після термомодернізації будівлі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2014. Вип. 194, ч. 1. С. 119–123.
7. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Методика та обладнання для проведення енергетичного аудиту: [Електронний ресурс]. Енергетика та автоматика. 2018. № 1. С. 123–134.
8. Козирський В. В., Берека О. М., Шеліманова О. В., Антипов Є. О. Результати спрощеного енергоаудиту об'єктів НУБіП України. Енергетика і автоматика. 2012. №1 (11). С. 55 – 63.

References

1. Software: «Wet mode of enclosing structures». Available at: <https://patriot-nrg.com/content/programne-zabezpechennya-vologisnyu-rezhym-ogorodzhuvalnyh-konstrukciy>.
2. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel [Methods of selection of thermal insulation material for building insulation]: DSTU B B.2.6-189-2013 [Effective from 2013-08-13]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 55.
3. Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings]: DBN B.2.6-31: 2016 [Effective from 2016-07-08]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 33.
4. Teplotekhnicheskiiy kal'kulyator ogradhdayushchikh konstruktsiy. Raschet utepleniya i tochki rosy dlya stroyashchikh svoy dom [Thermal calculator for building envelopes. Calculation of insulation and dew point for those building their own house]: Available at: <https://www.smartcalc.ru/thermocalc?&gp=609&rt=0&ct=0&os=0&ti=20&to=-10&hi=55&ho=85>.
5. Radko, I.P., Nalyvaiko, V.A., Okushko, O.V., Mishchenko, A.V., Antypov, Ye. O. (2018). Pidvyshchennia zakhodiv z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia u vyshchyykh navchalnykh zakladakh [Enhancing energy efficiency and energy efficiency measures at higher education institutions]. Scientific herald of the NULES of Ukraine, 283, 275 – 280.
6. Mishchenko, A.V., Shelimanova, O. V., Antypov, I. O. (2014). Analiz teplovoho komfortu u prymishchennyakh navchal'noho korpusu №8 NUBiP Ukrayiny pislya termomodernizatsiyi budivli [Analysis of thermal comfort in premises of educational building number 8 of NULES of Ukraine after thermo-modernization of the building]. Scientific herald of the NULES of Ukraine, 194 (1), 119–123.
7. Radko, I.P., Nalyvaiko, V. A., Okushko, O. V., Mishchenko, A. V., Antypov, Ye. O. (2018). Metodyka ta obladnannya dlya provedennya enerhetychnoho audytu [Methods and equipment for energy audit]. Energy and automation, 1, 123–134.
8. Kozyrsky, V.V., Bereka, O. M. Shelimanova, O. V., Antypovm Ye. O. (2012). Rezul'taty sproshchenoho enerhoaudytu ob"yektiv NUBiP Ukrayiny [Results of simplified energy audit of NULES of Ukraine]. Power engineering and automation, 1 (11), 55–63.

ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ШАРОМ УТЕПИТЕЛЯ НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА НУБИП УКРАИНЫ

*Е. А. Антипов, Е. В. Шелиманова, С. Е. Тарасенко, Л. В. Мартынюк,
Е. В. Воронина*

Аннотация. Проведена оценка влажностного режима внешних непрозрачных ограждающих конструкций здания со слоем утеплителя на наружной и внутренней стороне, а также без утеплителя, при которой учтены теплофизические характеристики всех материалов наружной стены дома. Полученные результаты исследований позволяют четко определиться с конструктивным решением внешних ограждений на стадии разработки проектной документации. Для каждого

конкретного конструктивного решения установлено оптимальное место размещения утеплителя, исходя из условия не накопления влаги в толще изучаемой конструкции. При правильной оценке влажностного режима конструкции с внутренним утеплением не могут быть использованы. Для такой конструкции происходит конденсация влаги в толще утеплителя, что является недопустимым. Показано, что кирпичная кладка без утепления для сохранения расчетного срока ее оптимальной эксплуатации требует проведения мероприятий по доведению ее термического сопротивления теплопередаче до нормированного значения или более интенсивному воздухообмену в помещениях здания. Однако последнее может вызвать дополнительные энергозатраты. Целесообразность того или иного подхода следует более детально рассматривать с точки зрения сравнения эксплуатационных расходов и энергетических потерь зданием. Доказано, что при проектировании жилых и общественных домов результаты оценки влажностного режима внешних ограждающих конструкций и энергетических показателей здания на соответствие действующим требованиям очень важный критерий при выборе поставщика строительных материалов из значительного ассортимента на рынке, который может оказаться решающим в принятии конкретного проектного решения.

Ключевые слова: *ограждающая конструкция, влажностный режим, точка росы, парциальное давление, водяной пар*

ASSESSMENT OF HUMIDITY REGIME OF ENCLOSING STRUCTURES WITH A BALL OF INSULATION ON THE EXAMPLE OF A TRAINING HOUSING BUILDING IN NULES OF UKRAINE

I. Antypov, O. Shelimanova, S. Tarasenko, L. Martynyuk, E. Voronina

Abstract. *When assessing the thermal condition of the building and the parameters of the microclimate of the premises, the main factors influencing its thermal inertia were identified and taken into account. An assessment of the influence of the resistance of enclosing structures on the efficiency of the heating system, taking into account the influence of external and internal climatic parameters in the dynamic mode. It is shown that the time factor and depth of regulation, as well as the outdoor air temperature are important factors. Researches are carried out and the expediency of introduction of a duty mode of heating of buildings of HIGH SCHOOLS is estimated. The given algorithm of control of process of heat release (especially in the presence of a point of "breaking" - average (them) on the schedule) in addition increases accuracy of the decisions of the specified problems and reduces a temperature deviation by $4 \div 6$ °C in comparison with usual ("linear") dependence that allows to correct more precisely release of the heat carrier in system of heating of a structure at introduction of a standby mode. It was found that it took about 6.5 hours to achieve normalized air temperature and space heating in the forced (after a long stay on duty). It is shown that the heat consumption of the system in such conditions of its operation compared to the nominal mode increased by 25% (taking into account the limit value of the specific allowance from table H1 DBN B.2.5-67: 2013 "Heating, ventilation and air conditioning"), but for the entire period the action of the standby mode savings amounted to about 6-8% of energy consumed.*

Taking into account the design of the outer walls of the object of study, the temperature graph of the heating system was adjusted taking into account the value of the internal heat capacity of the building when implementing on-duty heating, which, according to preliminary estimates, will: improve comfort in the room; to reduce heating costs of the educational and administrative building of NULES of Ukraine by 10-12% for the heating period.

Key words: *enclosing structure, humidity conditions, dew point, partial pressure, water vapor*