

ings. *New Techniques and Technologies in Mining*. London: CRC Press / Balkema, 71-76.

24. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. Дніпропетровськ. – 2009. – 426 с.

25. Шашенко О.М., Солодянкин О.В., Мартовичський А.В. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 384 с.

УДК 699.865:692.23

М. В. ТИМОФЄЄВ, канд. техн. наук, доц.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Г. В. ШАМРІНА, канд. техн. наук, доц.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО ШАРУ В КОНСТРУКЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Мета. Розробка і практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару для забезпечення виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовувались аналітичні розрахунки приведенного опору теплопередачі та товщини утеплювача зовнішньої стіни. При визначенні приведенного опору теплопередачі враховувався термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями зовнішньої стіни, а також теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі.

Наукова новизна. Обґрунтовано методичний підхід до визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі конструкції зовнішньої стіни.

Практична значимість. Запропонована методика спрощує визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни на стадії прийняття проєктних рішень щодо її конструкції, і дозволить виконувати розрахунок в один прийом без багатоваріантного пошуку необхідного рішення. Оскільки товщина шару утеплювача в зовнішній стіні безпосередньо пов'язана з трансмісійними теплопотратами через теплоізоляційну оболонку будівлі, то її визначення в один прийом за наведеною методикою спрощує подальші розрахунки енергетичної ефективності будівлі в цілому. За умов дотримання мінімальних вимог щодо показника енергоефективності в результаті цих розрахунків і застосування понижувального коефіцієнта до мінімально допустимої нормативної величини приведенного опору теплопередачі, товщина утеплювача може бути оптимізована і мати менше значення.

Результати. Обґрунтовано і наведено приклади практичної реалізації методики визначення товщини теплоізолюючого шару, яка придатна до використання на першому етапі конструювання зовнішньої стіни за умов дотримання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції. Методика базується на запропонованій аналітичній залежності для визначення товщини шару утеплювача в зовнішній стіні.

Ключові слова: опір теплопередачі, приведений опір теплопередачі, лінійний коефіцієнт теплопередачі, точковий коефіцієнт теплопередачі, теплоізолюючий шар, зовнішня стіна.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-16-21

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для виконання умови (4) ДБН В.2.6-31:2016 [1] в п.5.6 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [2] зазначається, що при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару враховують лише термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями відповідного типу непрозорій огорожувальної конструкції. Термічний вплив теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі, при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару не враховують. Даний термічний вплив враховують при визначенні енергопотреб для опалення та охолодження згідно з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [3]. Але необхідну товщину теплоізоляційного шару можна встановити тільки способом перебору і повторення розрахунків декілька разів. Тобто, бракує зручної методики, яка б дозволяла в проєктній практиці в один прийом без багатоваріантного пошуку встановлювати необхідне рішення щодо товщини теплоізоляційного шару. При розрахунках енергоефективності будівлі з урахуванням всіх теплопровідних включень (міжповерхових перекриттів, зовнішніх та внутрішніх кутів тощо), які зменшують значення приведенного опору теплопередачі також встає проблема обґрунтування мінімальної товщини теплоізоляційного шару. Тому розробка означеної методики є актуальною науковою задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Системний принцип в сучасному проектуванні за вимогами енергоефективності будівель, що аналізується у роботах [4-6], включає інформацію, в тому числі, про вибір товщини утеплювача в зовнішніх стінах. Огляд, оцінка ефективності або нові пропозиції конструктивних рішень фасадної теплоізоляції знайшли подальший розвиток в [7-13] але вони не стосуються обґрунтуванню мінімально допустимих значень товщини теплоізоляційного шару в конструкції зовнішньої стіни.

Постановка задачі. Завданням дослідження є:

розробка методики визначення товщини теплоізоляційного шару в конструкції зовнішньої стіни, яка забезпечує виконання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі і включає необхідність проведення декількох уточнюючих розрахунків;

проведення розрахункових досліджень, що демонструють доцільність і зручність практичного застосування цієї методики.

Викладення матеріалу та результати. Розробка методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару.

При визначенні необхідної товщини теплоізолюючого шару огороження слід користуватися методичними положеннями, що викладені в розділі 5 [2]. Відповідна товщина теплоізолюючого шару в зовнішній огорожувальній конструкції разом із урахуванням теплопровідних включень забезпечує виконання умови у вигляді

$$R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{min}}, \quad (1)$$

де $R_{\Sigma \text{пр}}$ – приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{q \text{min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, що встановлюється згідно з [1].

На початковому етапі проектування, зазвичай, виконуються розрахунки опору теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції R_{Σ} , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, за формулою

$$R_{\Sigma} = 1/\alpha_{\text{в}} + \Sigma \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_{\text{з}}, \quad (2)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ та $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, які є визначеними незмінними величинами.

Для подальшого аналізу представимо формулу (2), виділивши в ній складову $\delta_{\text{ут}}/\lambda_{\text{ут}}$, що відноситься до теплоізолюючого шару товщиною $\delta_{\text{ут}}$, м, та теплопровідністю $\lambda_{\text{ут}}$, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, у наступному вигляді

$$R_{\Sigma} = 1/\alpha_{\text{в}} + \delta_{\text{ут}}/\lambda_{\text{ут}} + \Sigma \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_{\text{з}}. \quad (3)$$

Складову $R_{\kappa} = \Sigma \delta_i/\lambda_i$ відноситься до всіх, окрім теплоізолюючого шару, конструктивних шарів з відповідними значеннями товщини та теплопровідності.

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції відповідно до [2] розраховується за формулою

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_1}{R_{\Sigma 1}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m}. \quad (4)$$

Формулу (4) можна спростити, вважаючи що визначення товщини теплоізолюючого шару буде проводитись для стіни з визначеним за формулою (2) опором теплопередачі, і представити у вигляді

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_1}{R_{\Sigma 1}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m}, \quad (5)$$

де F_{Σ} – загальна площа конструкції, м^2 ; F_1 – площа однорідної частини конструкції, м^2 ; k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; L_j – лінійний розмір (проекція) j -го лінійного теплопровідного включення, м; Ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k -го точкового теплопровідного включення, $\text{Вт}/\text{К}$; N_k – загальна кількість k -их точкових теплопровідних включень, шт.

Користуючись наведеними загальновідомими формулами, встановлюємо мінімальну товщину теплоізоляційного шару, що задовольняє вимозі за формулою (1). Очевидно це можливо, коли виконується рівняння $R_{\Sigma \text{пр}} = R_{q \text{min}}$.

В такому разі формулу (5) можна представити у вигляді

$$R_{q \text{min}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_1}{R_{\Sigma 1}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m} \quad (6)$$

Виконавши ряд простих перетворень формули (6), можна представити значення опору теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції у вигляді

$$R_{\Sigma i} = \frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - \Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m}. \quad (7)$$

Далі, представивши праву частину формули (7) у відповідності до формули (3) та виділивши в ній складову, що відноситься до теплоізоляційного шару, у вигляді

$$\frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} = \frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - (\Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m)} - \left(\frac{1}{\alpha_b} + R_k + \frac{1}{\alpha_s} \right),$$

отримуємо розрахункову формулу для способу визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару у вигляді

$$\delta_{yt} = \left[\frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - (\Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m)} - \left(\frac{1}{\alpha_b} + R_k + \frac{1}{\alpha_s} \right) \right] \cdot \lambda_{yt}. \quad (8)$$

Практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару

Для перевірки можливості використання запропонованої методики розглядається умовна триповерхова будівля розміром в плані 21 м на 14 м. Висота поверху становить 3,3 м, а висота приміщень – 3,0 м. Висота від підлоги першого поверху до стелі третього поверху становить 9,6 м. Конструкція стін прийнята з повнотілої цегли завтовшки 0,25 м із зовнішнім утепленням та опорядженням полегшеною штукатуркою. Утеплювач прийнято з теплопровідністю $\lambda=0,045$ Вт/(м·К). Сумарний опір теплопередачі конструктивних шарів по основному полю становить $R_k = 0,339$ м²·К/Вт.

Розглянуто чотири варіанти визначення товщини теплоізоляційного шару в конструкції стіни: варіант 1 – окрема ділянка зовнішньої стіни з одним вікном в межах одного приміщення; варіант 2 – зовнішні стіни всього фасаду з вікнами без урахування теплопровідних включень будівлі; варіант 3 – зовнішні стіни всього фасаду з урахуванням теплопровідних включень будівлі без балконних плит; варіант 4 – зовнішні стіни всього фасаду з урахуванням теплопровідних включень будівлі з балконними плитами.

Варіанти 1-2 відповідають умовам, що наведені в примітці 1 п. 5.6 [2], коли враховуються теплопровідні включення, які відносяться до характерних особливостей стіни, а варіанти 3-4 – умовам, що наведені в примітці 2 п. 5.6 [2], коли враховуються теплопровідні включення стіни, що є конструктивними особливостями всієї будівлі і термічний вплив яких враховують при визначенні енергопотреб за [3]. Вплив внутрішніх стін та перегородок, що примикають до зовнішніх стін, не враховується.

В табл. 1 надана інформація про геометричні показники віконних та дверних прорізів. Ширина укосів усіх прорізів становить 0,15 м.

Таблиця 1

Геометричні показники віконних та дверних прорізів

Варіант	Кількість вікон, шт., розміром, м			Площа вікон, м ²	Кількість дверей, шт., розміром, м		Площа дверей, м ²	Загальна площа вікон та дверей, м ²
	1,5×1,8	1,2×1,8	1,5×2,3		1,5×2,3	1,0×2,3		
1	1	0	0	2,70	0	0	0	2,70
2	41	4	0	119,34	1	2	8,05	127,39
3	41	4	0	119,34	1	2	8,05	127,39
4	29	4	12	128,34	1	2	8,05	136,39

В табл. 2 надана інформація про довжину L_i , м, лінійний коефіцієнт теплопередачі k_i , Вт/(м·К), відповідного теплопровідного включення та кількість точкових кріплень N_m , шт. Значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі надані згідно табл. Г.1 [2] для товщини утеплювача 150 мм, у варіанті 4 в дужках надано данні для товщини утеплювача 180 мм.

Кількість точкових кріплень розраховано за умови їх розміщення у кількості 8 шт. на 1 м² площі по основному полю з урахуванням площі стиків стін з міжповерховим перекриттям. Значення точкового коефіцієнту теплопередачі прийнято $\Psi_m = 0,0015$ Вт/К.

Розрахунки за формулою (8), що виконані при $\alpha_b = 8,7$ Вт/(м²·К) та $\alpha_s = 23$ Вт/(м²·К), прийнятих у відповідності до [2], дозволили встановити розрахункову величину товщини утеплювача. Результати розрахунків (при нормативній величині $R_{q \min} = 3,3$ м²·К/Вт) надано в табл. 3, в якій також наведено запропонована конструктивна товщина утеплювача і розраховані значення

опору теплопередачі по основному полю за формулою (2) та приведенного опору теплопередачі за формулою (5) зовнішньої стіни. У варіанті 4 в дужках наведено результати при значеннях лінійних коефіцієнтів для товщини утеплювача 180 мм у відповідності до табл. Г.1 [2].

Таблиця 2

Довжина та лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення, кількість точкових кріплень

Варіант	Довжина L_i , м / лінійний коефіцієнт теплопередачі k_i , Вт/(м·К) теплопровідного включення в зоні						Кількість точкових кріплень N_m , шт.
	перемички	підвіконня	рядового примикання	міжповерхового перекриття	балконних плит	зовнішнього кута	
1	1,50/0,081	1,50/0,064	3,60/0,071	0	0	0	50
2	69,80/0,081	66,30/0,064	175,80/0,071	0	0	0	4021
3	69,80/0,081	66,30/0,064	175,80/0,071	140,00/0,082	0	36,00/0,125	4357
4	69,80/0,081 (0,080)	48,30/0,064 (0,068)	187,80/0,071 (0,073)	110,00/0,082 (0,069)	30,00/0,793 (0,754)	36,00/0,125 (0,107)	4213

Таблиця 3

Результати розрахунків товщини утеплювача і опорів теплопередачі

Варіант	Площа стіни, m^2		Товщина утеплювача $\delta_{ут}$, м.		Опір теплопередачі, $m^2 \cdot K/Вт$		
	F_i	F_Σ	розрахована	конструктивна	нормативний, R_{qmin}	основне поле, R_Σ	приведений, $R_{\Sigma пр}$
1	6,30	7,29	0,148	0,150	3,30	3,83	3,32
2	502,61	589,60	0,142	0,150	3,30	3,83	3,42
3	502,61	589,60	0,147	0,150	3,30	3,83	3,35
4	493,61	579,70	0,180 (0,175)	0,180 (0,180)	3,30	4,50 (4,50)	3,30 (3,36)

У всіх варіантах було розраховано товщину утеплювача та приведений опір теплопередачі в залежності від значення R_{qmin} , $m^2 \cdot K/Вт$, який було прийнято: 2,50; 2,75; 3,00; 3,30; 3,60 та 4,00. Графічні залежності для варіанту 4 при товщині утеплювача 180 мм наведено на рис. 1.

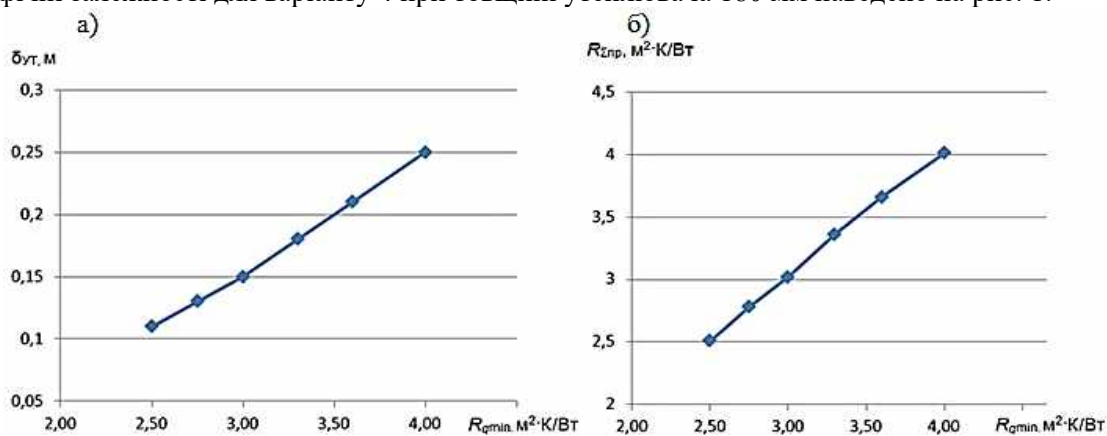


Рис. 1. Розраховані товщина утеплювача (а) та приведений опір теплопередачі (б) в залежності від значення R_{qmin}

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонована залежність (8) придатна для визначення товщини теплоізолюючого шару на першому етапі, як це рекомендовано приміткою 1 [2], коли розглядаються відповідні непрозорі конструкції, для яких враховуються відповідні теплопровідні включення: з'єднувальні елементи, дюбелі, кронштейни, закладні деталі, арматурні сітки, віконні укуси, стики між елементами непрозорої огорожувальної конструкції, елементи жорсткості тощо. Тобто, для характерної ділянки стіни в одному або декількох приміщеннях будівлі можна розраховувати у першому наближенні за варіантом 1 значення мінімальної товщини теплоізолюючого шару.

Розрахунок за варіантом 2 виявив навіть більші за величиною у порівнянні з варіантом 1 значення приведенного опору теплопередачі стіни.

Залежністю (8) можна користуватися, коли враховуються згідно примітки 2 [2] конструктивні особливості будівлі, до яких відносяться міжповерхові та балконні перекриття, колони, пілони, кутові примикання тощо.

Балконні плити виявилися найбільш тепловитратними теплопровідними включеннями, які потребують прийняття товщини утеплювача 180 мм замість 150 мм. Сучасні конструктивні рішення утеплення балконних плит у вигляді «панчох» призначені для зниження тепловитрат та загалом зменшення товщини утеплювача по основному полю зовнішніх стін.

Залежність (8) дозволяє використовувати рекомендації розділу 6.2.1 [1], коли при виконанні умови (1) розділу 5.1 [1] із забезпечення максимально допустимого значення показника енергоефективності, допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі до рівня 75 % від R_{qmin} для непрозорих частин зовнішніх стін і до рівня 80 % від R_{qmin} для інших огорожувальних конструкцій відповідно до умови згідно з формулою (1) [2] при обов'язковому виконанні умов для цих елементів теплоізоляційної оболонки за санітарно-гігієнічними вимогами.

Підміченим недоліком цієї методики слід вважати те, що лінійні коефіцієнти теплопередачі вузлів примикання міжповерхових перекриттів та у кутах зовнішніх стін значно залежать від товщини утеплювача. Тому потрібні додаткові розрахунки для уточнення запропонованої методики на вагомість їх впливу. Взагалі пошук мінімальної товщини утеплювача в зовнішній стіні будівлі, що відповідає нормативним вимогам, є багатофакторний та багатокроковий процес і запропонована методика є інструментом прийняття оптимального рішення.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Чинні з 08.10.2016]. К.: Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2016. - 33 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 (зі Зміною № 1). Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Чинний від 2014.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2014. 55 с.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Чинний від 2015.01.01]. - К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
4. Тімченко Р. О. Нові підходи в проектуванні енергоефективних будівель / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, О. В. Шевчук, Л. В. Петрова // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 31. - С. 95-99.
5. Толмачов С. Т. Аналіз основних показників енергоефективності в ДВНЗ "Криворізький національний університет" / С. Т. Толмачов, О. В. Ільченко, Д. В. Батраков, С. Л. Бондаревський, Ж. Г. Рожненко, Р. О. Пархоменко // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 32. - С. 98-102.
6. Хорольський В. П. Енергобезпека підприємств промисловості і в будівництві / В. П. Хорольський, Д. В. Хорольський, М. О. Бабенко // Вісник Криворізького національного університету. - 2013. - Вип. 34. - С. 190-194.
7. Суртаєв В. В. Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом / В. В. Суртаєв // Вісник Криворізького національного університету. - 2015. - Вип. 40. - С. 128-134.
8. Тимофєєв М. В. Обґрунтування вибору збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor за умов забезпечення енергоефективності будівлі / М. В. Тимофєєв, Г. В. Шамрина, Д. О. Хохрякова // Гірничий вісник. - 2020. - Вип. 107. - С. 11-16.
9. Фомин Л. С. Особенности конструирования дополнительной теплозащиты фасадных конструкций / С. Л. Фомин, Ю. В. Фурсов // Научный вестник строительства. Вип. 41. Харків: ХНУБА. 2007. - С. 209-294.
10. Коваль Е. А. Определение оптимальной толщины утеплителя внешней ограждающей конструкции при повышении энергоэффективности существующих жилых зданий / Е. А. Коваль, Н. В. Савицкий, Е. Л. Юрченко, Н. В. Пикулина, Т. А. Ковтун-Горбачова, А. С. Коваль // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. 2011, (61), С. 229-232.
11. Філоненко О. І. Дослідження теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій при термомодернізації будівель // О. І. Філоненко, О. Б. Олексієнко, О. О. Геращенко // Научный вестник строительства: збірник наукових праць. - Вип. № 2(76). - Харків: ХНУБА, 2014. - С. 147-151.
12. Григорчук С. О. Аналіз ефективності різних систем теплоізоляції у сучасному будівництві. / С. О. Григорчук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. 2018, 1, С. 70-71.
13. Тимофєєв М. В. Теплотехнічні показники збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor / М. В. Тимофєєв, Г. В. Шамрина, Д. О. Хохрякова // Slovak international scientific journal. - 2020. - № 38, VOL.1. - Pp. 19-26.
14. Farenjuk Gennadiy. Research on Calculation Methods of Building Envelope Thermal Characteristics / Gennadiy Farenjuk, Olena Filonenko, Volodymyr Datsenko // International Journal of Engineering & Technology. Vol. 8, № 4.8, (2018), pp. 97-102.
15. Ge, H. Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study / Ge, H., McClung, V. R., & Zhang, S. // Energy and Buildings. 2013, 60, 163-170