

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Національний університет будівництва і архітектури, Україна

До концепції енергозберігаючої будівлі входить не лише ізоляція огорожувальних конструкцій за допомогою теплоізолювальних матеріалів, але і об'ємно-планувальні рішення, що обумовлюють ступінь використання енергії сонця при визначенні параметрів внутрішнього мікроклімату будівлі, інженерні рішення систем вентиляції та теплопостачання. При проектуванні енергоефективних будівель необхідно комплексно вирішувати задачі впливу зовнішнього клімату, теплоенергетичного балансу приміщень та теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій [1].

Оптимізація теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі – це ряд засобів, одним з яких є метод розрахунку товщини теплоізоляції конструкцій «за мінімізацією приведених енерговитрат». При цьому враховуються одночасні витрати на виробництво конструкцій, технологію зведення будівлі та експлуатаційні витрати на їх використання. До зовнішніх огорожувальних конструкцій висувається певна кількість вимог, а саме високий рівень теплозахисту в холодний період року, високий рівень теплостійкості, низька енергоємність матеріалів внутрішніх шарів при коливаннях теплового потоку всередині приміщень, повітронепроникність.

Утепленням лише огорожувальних конструкцій неможливо добитись значного зменшення тепловитрат, тому що значна їх частка приходить на так звані «містки холоду», тобто ділянки інтенсивного теплообміну з навколишнім середовищем.

Тому сучасні системи утеплення передбачають створення комплексних захисних оболонок навколо конструкцій будівель. Такі оболонки включають в себе утеплення контактуючих із ґрунтом конструкцій фундаментів в сполученні з утепленням покриттів, а також влаштування вентилярованих фасадів, які пересувають зону додатних температур по товщині несучих конструкцій ближче до зовнішнього боку. Цей комплекс заходів виключає появу «містків холоду», збільшує тепловий опір огорожувальних конструкцій і запобігає утворенню конденсату.

При проектуванні велика увага приділяється світлопрозорим огорожувальним конструкціям, через які відбуваються значні тепловитрати. Для збільшення загального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій необхідно передбачати наступні заходи [2]:

- надійно герметизувати всі стики та притвори як у самому вікні, так і між конструкцією вікна та стіни;
- для зменшення втрат тепла випромінювання використовувати скло із низькоемісійним покриттям та заповнювати міжскляний простір у склопакетах аргоном, криптоном;
- використовувати дистанційні рамки віконних заповнень із покращеними теплозахисними показниками;
- для виготовлення віконних рам використовувати у вікнах із ПВХ багатокамерні профілі, а у вікна із алюмінієвими профілями термовставки.

Рівень теплозахисту світлопрозорих конструкцій поступається теплозахисту стінових конструкцій будівель. На світлові отвори припадає більше 40% всіх тепловитрат будівлі. Багато фахівців продовжують сперечатися про теплопровідності матеріалів, що обрамовують

світлопрозору конструкцію, забуваючи про те, що це становить більше 6% від площі вікна. За мету є збереження тепла в майже 94% площі вікна, що залишилися.

Енергоефективність світлопрозорих конструкцій буде досить мала навіть при самому "теплому" профілі і рамі, якщо використовувати малоефективний, низькоякісний склопакет.

Спочатку в склопакетах простір між склом заповнювався повітрям або продувався сухим азотом перед остаточною герметизацією. Склопакети мають теплоізоляційні властивості завдяки саме цьому прошарку газу. Однак при такому способі наповнення в герметизованому просторі між склом виникають циркуляційні повітряні потоки, які збільшують конвективне перенесення тепла між зовнішнім і внутрішнім склом, тим самим знижуючи опір теплопередачі склопакета.

Енергетична криза примусила виробників склопакетів до пошуків шляхів усунення цих недоліків. Розробники склопакетів запропонували замінити газ-наповнювач. Для наповнення склопакетів використовують інертні гази, які володіють великими в'язкістю, щільністю і меншою теплопровідністю, ніж повітря. При заповненні склопакетів такими газами зменшуються конвекційні потоки усередині склопакета, що призводить до зниження втрат тепла.

Для заповнення склопакетів запропоновані не тільки аргон і криптон, а також їх суміші. Криптон це інертний газ, не горючий, не отруйний, незначна його кількість міститься у повітрі. Теплопровідність криптому в 2,6 рази менше теплопровідності повітря і в 1,8 рази менше теплопровідності аргону, що збільшує опір теплопередачі склопакета.

Великі щільність, в'язкість і діаметр молекули криптому порівняно з аргоном і повітрям призводять до зниження конвекційних потоків усередині склопакета, що також призводить до збільшення опору теплопередачі. Ці ж фактори обумовлюють меншу дифузію криптому в зовнішнє середовище і підвищують довговічність складу газового середовища всередині склопакета.

Конденсат - найбільш поширена проблема, з якою доводиться стикатися і виробників вікон, і споживачам. Низькотемпературна технологія отримання криптому і аргону забезпечує точку роси $T < -100^{\circ}\text{C}$, що повністю виключає випадання вологи в міжскляному просторі.

В Україні діють нові норми по проектуванню теплоізоляційної оболонки будівель [3], які значною мірою підвищили вимоги до енергозбереження. Прийнятий державою курс на енергозбереження призвів до посилення норм для житлових і адміністративних будівель і використання нових типів склопакетів. Застосування заповнених криптоном склопакетів можливе у поєднанні зі звичайним склом, а також, як доповнення, до застосування низькоемісійного скла.

Використання криптому в склопакеті $4\text{M}_1\text{-Kr}10\text{-}4\text{M}_1\text{-Kr}10\text{-}4\text{M}_1$ дозволяє отримати майже таке ж значення опору теплопередачі, як для склопакетів $4\text{M}_1\text{-}16\text{-}4\text{i}$ (повітря), а для склопакета $4\text{M}_1\text{-Kr}16\text{-}4\text{i}$ (криптон) в 1,3 рази більше високе значення.

Наведений розрахунок приведенного опору теплопередачі стрічкового застосування однокамерним склопакетом $4\text{M}_1\text{-}12\text{-}4\text{M}_1$ (повітря) виконано для офісної будівлі, яка розташована в м. Києві. Тепловитрати на опалення приміщень будівлі відповідають нормативним вимогам. Однак при цьому працівники відчувають холод у зв'язку зі значними радіаційними тепловтратами з поверхні тіла, що обумовлені низькою температурою внутрішніх поверхонь вікон.

Опір теплопередачі стрічкового застосування прийнятий на основі даних [2, 3, 4]. Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалювальних будинків обов'язкове виконання умов [3]:

$$R_{\sum np} \geq R_{q \min}, \quad (1)$$

$$\Delta t_{np} \geq \Delta t_{cr}, \quad (2)$$

де $R_{\sum np}$ - приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2\text{K}/\text{Вт}$;

$R_{q\min}$ - мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2\text{K}/\text{Вт}$;

Δt_{np} - температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$

Δt_{cr} - допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$. Розрахунок опору теплопередачі зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення опору теплопередачі елементів вікна

№ елемента, i	Назва елемента	Товщина, δ_i , м	Опір теплопередачі, R_i , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$
1	Віконний алюмінієвий профіль з термовставкою	0,003	0,3
2	Однокамерний склопакет 4М ₁ -12-4М ₁	0,02	0,3
3	Вікно в цілому, $R_{\Sigma\text{пр}}$		0,3
4	Мінімально допустимий опір теплопередачі, $R_{q\min}$		0,5

Висновок. Нормативні вимоги з опору теплопередачі не виконуються $R_{\Sigma\text{пр}} < R_{q\min}$

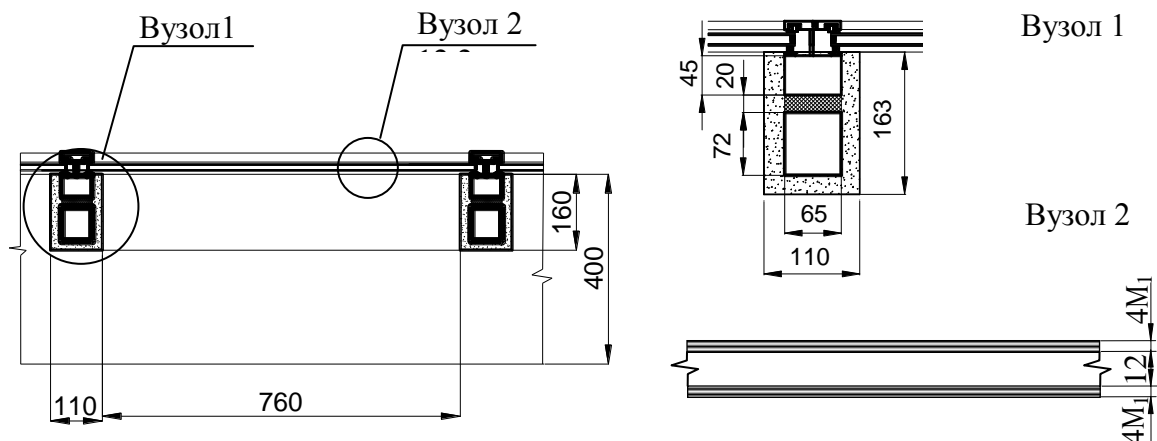


Рис. 1. Конструкція вікна з алюмінієвим профілем

Розрахунок температурного перепаду між внутрішньою поверхнею стіни та температурою внутрішнього повітря проведено для 1 м.п. стіни, враховуючи, що засклення стрічкове.

Таблиця 2

Розрахунок температурного перепаду

№ пп.	Теплотехнічний показник, що визначається	Позначення	Розмірність	Значення	Пояснення
1	Опір теплопередачі вікон	$R_{\Sigma\text{пр}}$	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$	0,3	Табл. 1, пп. 3
2	Температура внутрішнього повітря	$t_{\text{в}}$	$^{\circ}\text{C}$	20	Додаток Г [3]
3	Температура зовнішнього повітря	$t_{\text{з}}$	$^{\circ}\text{C}$	-22	Додаток Ж [3]

4	Температура внутрішньої поверхні вікна	$\tau_{всп}$	°C	3,1	Визначається за формулою $\tau_{всп} = t_{всп} - \frac{t_{всп} - t_{з}}{R_{\Sigma}} R_{всп}$
5	Точка роси у приміщенні	t_p	°C	9,28	Додаток 12 [5]
6	Мінімально допустима температура на внутрішній поверхні світлопрозорих огорожень	t_{min}	°C	4,0	П. 2.8 [3]
Висновки. Температура внутрішньої поверхні вікна не задовольняє нормам $t_{min} > \tau_{всп}$.					

Температура внутрішньої поверхні застосування вікон менша за мінімально допустиму.

Для покращення теплотехнічних показників приміщень можна рекомендувати влаштування додаткового внутрішнього стрічкового застосування по всьому периметру вікон (табл. 3).

Для додаткового стрічкового внутрішнього застосування рекомендується застосувати віконні системи CS-77 фірми "Reynaers" з м'яким енергозберігаючим покриттям внутрішнього скла [6], що мають приведений опір теплопередачі $R_{\Sigma np} = 0,53 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (рис. 2. – вузол 2).

Таблиця 3

Розрахунок опору теплопередачі вікна з додатковим внутрішнім застосуванням

№ елемента, i	Назва елемента	Товщина, δ_i , м	Опір теплопередачі, R_i , $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
1	Додаткове внутрішнє вікно	0,02	0,53
2	Ізольований повітряний прошарок	0,16	0,15
3	Існуюче вікно	0,02	0,3
4	Вікно в цілому, $R_{\Sigma np}$		0,98
	Мінімально допустимий опір теплопередачі, R_{qmin}		0,5
Висновок. Нормативні вимоги з опору теплопередачі виконуються $R_{\Sigma np} > R_{qmin}$.			

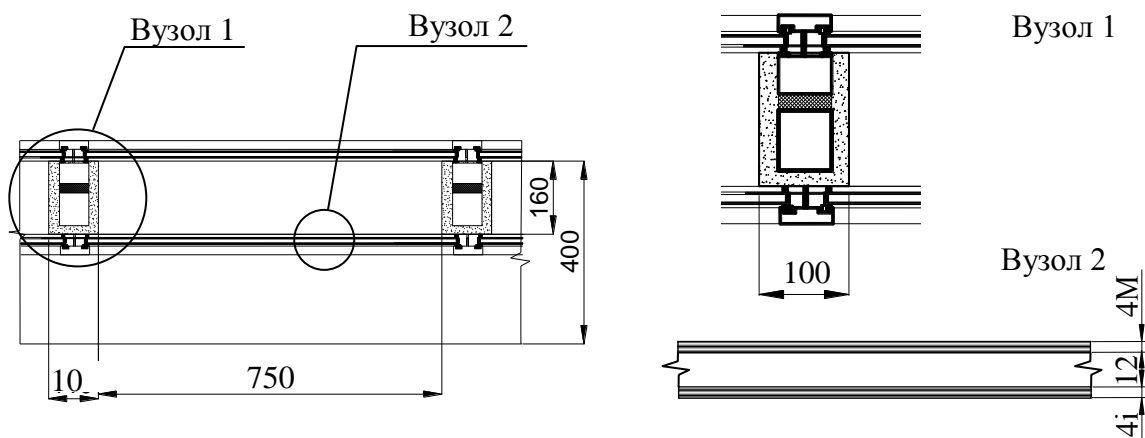


Рис. 2. Конструкція вікна при застосуванні додаткового стрічкового внутрішнього застосування

Розрахунок температурного перепаду між внутрішньою поверхнею стіни та температурою внутрішнього повітря наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Розрахунок температурного перепаду

№ пп.	Теплотехнічний показник, що визначається	Позначення	Розмірність	Значення	Пояснення
6	Опір теплопередачі вікон	$R_{\Sigma пр}$	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	0,98	Табл. 3, пп. 4
7	Температура внутрішнього повітря	$t_{в}$	$^{\circ}\text{C}$	20	Додаток Г [2]
8	Температура зовнішнього повітря	$t_{з}$	$^{\circ}\text{C}$	-22	Додаток Ж [2]
10	Температура внутрішньої поверхні вікна	$\tau_{в сп}$	$^{\circ}\text{C}$	14,8	Визначається за формулою $\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{з}}{R_{\Sigma}} R_{\epsilon}$
14	Мінімально допустима температура на внутрішній поверхні світлопрозорих огорожень	t_{\min}	$^{\circ}\text{C}$	4,0	П. 2.8 [2]
Висновки. 1. Температура внутрішньої поверхні вікна задовольняє нормам $t_{\min} < \tau_{\epsilon сп}$.					

Влаштування додаткового внутрішнього стрічкового застклення по всьому периметру вікон з приведеним опором теплопередачі $0,53 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ дозволить:

- привести температуру внутрішньої поверхні застклення вікон до нормативних вимог, що забезпечить комфортний температурно-вологісний режим зовнішньої стіни та вікон.

- привести температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та середньою температурою внутрішньої поверхні зовнішньої стіни у відповідність нормативним санітарно-гігієнічним вимогам, що забезпечить відчуття теплового комфорту у працівників.

Другий варіант – це влаштування стрічкового застклення однокамерними склопакетами 4M₁-Kr16-4i з опором теплопередачі $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (табл. 5).

Таблиця 5

Розрахункові значення опору теплопередачі елементів вікон

№ елементу, i	Назва елементу	Товщина, δ_i , м	Опір теплопередачі,
1	Віконний алюмінієвий профіль з термовставкою	0,003	0,3
2	Однокамерний склопакет 4M ₁ -Kr16-4i	0,024	0,75
3	Вікно в цілому, $R_{\Sigma пр}$		0,58
4	Мінімально допустимий опір теплопередачі, $R_{q \min}$		0,5
Висновок. Нормативні вимоги з опору теплопередачі виконуються $R_{\Sigma пр} > R_{q \min}$.			

Проведено порівняльний аналіз склопакетів, наповнених криптоном і криптоно-аргоновими сумішами різного процентного вмісту. Аналіз проводився з одно- і двокамерними склопакетами виготовленими зі стандартного скла M₁, і скла з low-E покриттям. Міжскляний

простір заповнювався криптоном, криптоно-аргоновими сумішами, а також чистим аргоном і повітрям (табл. 6).

Таблиця 6

Варіанти склопакетів	Опір теплопередачі, R , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	Газ-наповнювач	Товщина склопакету, мм	Вага склопакету, $\text{кг}/\text{м}^2$
4M ₁ -I0-4M ₁ -I0-4M ₁	0,47	Повітря	32	31
4M ₁ -ArI0-4M ₁ -ArI0-4M ₁	0,49	Аргон	32	31
4M ₁ -KrI0-4M ₁ -KrI0-4M ₁	0,57	Криптон	32	31
4M ₁ -16-4M ₁	0,32	Повітря	24	20
4M ₁ -Kr16-4M ₁	0,38	Криптон	24	20
4M ₁ -Ar16-4i	0,66	Аргон	24	20
4M ₁ - (Kr 50/Ar50)16-4i	0,70	Криптон 50% Аргон50%	24	20
4M ₁ -Kr16-4i	0,75	Криптон	24	20
4M ₁ -16-4i	0,59	Повітря	24	20

Дані показують, що можлива раціональна заміна двокамерних склопакетів з повітрям і звичайним склом однокамерними, заповненими криптоном, із застосуванням низькоемісійного скла.

Поєднання заповнення міжскляного простору криптоном із застосуванням низькоемісійного скла дозволяє:

- відмовитися від застосування двокамерних склопакетів;
- зменшити на 25% товщину склопакета;
- знизити на 30% вагу склопакета;
- отримати склопакети з коефіцієнтом опору теплопередачі $R=1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і вище.

Литература:

1. Сергейчук. О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. — Київ, 2008. — 425 с.
2. Світлопрозорі огороження будинків : навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / О. Л. Підгорний, І. М. Щепетова, О. В. Сергейчук, О. М. Зайцев, В. П. Процюк ; під ред. О. Л. Підгорного — К. : Домашевська О.А., 2005. — 282 с.
3. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. [Чинні від 2007-04-01] / Мінбуд України — К. : Укрархбудінформ, 2006. — 65 с. — (Державні будівельні норми України).
4. Шевелев В.Б. Методы и средства повышения теплоизоляционных качеств остекления / В.Б. Шевелев, Л.Ф. Черных // Витрина. — 1999. — №5 (15). — С. 26—33.
5. Сергейчук О.В. Архітектурно-будівельна фізика. Теплотехніка огорожуючих конструкцій будинків : навч. посібник для студ. арх. та буд. спец. / О.В. Сергейчук — К. : Такі справи, 1999. — 156 с.
6. Офіційний сайт Reynaers Ukraine: <http://www.reynaers.com/ua/rus>.