

УДК 699.86:697.147

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОКАЗНИКІВ
КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ВУЗЛІВ ПРИМИКАННЯ
СВІТЛОПРОЗОРИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ**

Фаренюк Є.Г.

ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ

Вступ. Характерною особливістю сучасного містобудування є досить широке використання фасадних світлопрозорих систем в громадських будівлях та спорудах (рис.1). Готелі, банки, стадіони, торгово-розважальні та офісні центри – більшість з них має елементи фасадних світлопрозорих систем.



Рис.1 Приклад сучасної будівлі із світлопрозорим фасадом

При розробці конструктивних рішень фасадних систем можна зіткнутись з відмінними особливостями їх теплової роботи. На формування температурного режиму огорожувальних конструкцій впливає багато факторів, до яких, перш за все, потрібно віднести умови теплообміну з навколишнім середовищем – внутрішнім та зовнішнім повітрям, та умовами теплопередачі безпосередньо між елементами самих конструкцій. [1]. Особливо вразливими з теплової точки зору є вузли примикань різноманітних фасадних систем до непрозорих ділянок зовнішніх стін (рис.2).

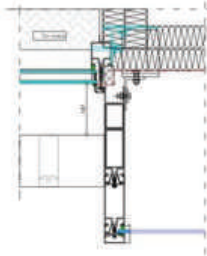


Рис.2. Конструктивний принцип влаштування вузла примикання світлопрозорого стійкового-ригельного фасаду з холодним фальш фасадом до непрозорих зовнішніх стін

Оцінка теплових характеристик фасадів в цілому і їх характерних вузлів можлива на основі результатів експериментальних досліджень в кліматичних камерах при імітації умов теплової роботи досліджуваних конструкцій в умовах теплопередачі та теплообміну, при яких реально працюють конструкції [2], або натурних досліджень у холодну пору року. Але найбільш прийнятним є сучасний метод комп'ютерного моделювання вузлів примикань на стадії розробки проекту для запобігання теплових відмов теплоізоляційної оболонки будівлі під час експлуатації.

Аналіз останніх досліджень. Вважаючи на те що будівлі в яких поєднуються світлопрозорі фасадні системи з іншими, не є типовими, типових розрахункових схем теплового режиму їх вузлів не існує. Тому ця тема не є достатньо дослідженою, та вивчалась лише для окремих випадків. Наприклад в [3] приводились розрахунки температурних полів для чотирьох типів комбінованих фасадних систем, що примикають до утеплених стін. В роботі наведений аналіз температурного режиму стійково-рігельних систем, та відзначено важливу роль конструктивних елементів, таких як термовкладиш, або коректне урахування площі теплосприймаючої поверхні стійки при формуванні температурного режиму конструкції.

Проектування сучасної будівлі вимагає опрацювання на стадії проекту всіх вузлів огорожувальних конструкцій і достовірна оцінка теплотехнічних характеристик світлопрозорих елементів зовнішніх стін і примикань цих елементів до непрозорих ділянок багато в чому визначає підсумкову енергоефективність будівлі в цілому [4]. Тому важливим є подальший розвиток розрахунку складних конструктивних вузлів світлопрозорих огорожувальних конструкцій методом комп'ютерного моделювання при проектуванні.

Постановка мети і задач дослідження. Метою роботи є вибір конструктивних рішень вузлів примикань світлопрозорих фасадних систем до непрозорих зовнішніх стін, що забезпечують мінімальні тепловтрати і комфортні теплові умови в приміщеннях.

Задачею досліджень є створення методологічних принципів встановлення експлуатаційних теплових критеріїв ефективної роботи світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Фізична суть методики досліджень. Суть досліджень полягала у комп'ютерному моделюванні методом скінченних елементів та побудови температурних полів конструктивних рішень вузлів примикань класичної стійково-рігельної фасадної системи до непрозорої частини фасаду. Для підтвердження результатів розрахунків температурних полів були зроблені натурні випробовування під час яких визначались приведені опір теплопередачі характерних фасадних конструкцій та параметри температурного поля внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій.

Основні положення досліджень.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 [5] умова відповідності температурного поля внутрішньої поверхні стінових конструкцій має вигляд:

$$\tau_{в\ min} > t_{min} \quad (1)$$

$\tau_{в\ min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях тепловологісних умов внутрішнього й зовнішнього повітря. Розрахункові теплові параметри внутрішнього повітря приймалися рівними: температура +20 °С, відносна вологість 50 %, розрахункова температура зовнішнього повітря -22 °С. Для вказаних розрахункових показників $t_{min} = 9,3$ °С.

На рис.2 наведено проектне рішення вузла примикання світлопрозорого стійково-ригельного фасаду з холодним фальш фасадом до непрозорих зовнішніх стін, а на рис.3 температурне поле відповідного вузла. Ізотерми на рисунку показані суцільними лініями через кожні 5°С. Як видно з результатів розрахунків, мінімальна температура внутрішньої поверхні проектного рішення становить 8,1 °С, що не відповідає вимогам (3) ДБН В.2.6-31:2006 [5].

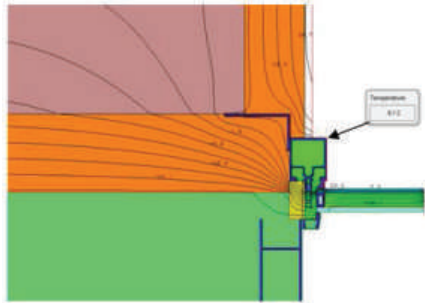


Рис.3. Температурне поле проектного рішення вузла примикання світлопрозорого стійково-ригельного фасаду з холодним фальш фасадом до непрозорих зовнішніх стін

Недоліки у проектній документації та недостатня проробка вузлів примикань призводить до того що при будівництві підрядники самі виконують робочі креслення сподіваючись на свій досвід. Але це може призвести до ще більш важких наслідків. Наприклад, наявність додаткового елемента жорсткості з композитного матеріалу в конструкції стійки світлопрозорого фасаду призводить до утворення додаткового «містка холоду» у вказаній зоні.

Конструктивне рішення характерного вузла примикання світлопрозорого стійково-ригельного фасаду з холодним фальш фасадом до непрозорих зовнішніх стін показано на рис.4. Температурне поле цього вузла наведено на рис.5 і мінімальна температура внутрішньої поверхні становить мінус 1,1 °С (на поверхні стійкового профілю), що не відповідає нормативним вимогам. При цьому температура на поверхні відкосу дорівнює 4,7 °С.

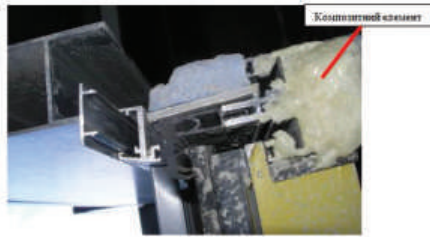


Рис. 4. Элемент жорсткості з композиту в стійки фальши фасаду

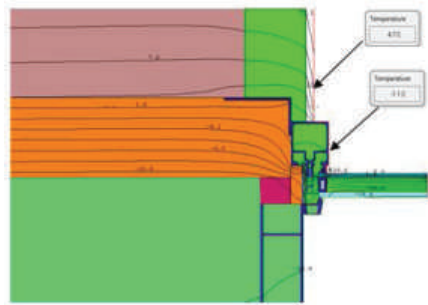


Рис. 5 – Температурне поле фактичного вузла примикання світлопрозорого стійкового-ригельного фасаду з холодним фальши фасадом до непрозорих зовнішніх стін

Для приведених вузлів формування температурного поля стійки визначається не тільки закономірностями конвективно-променевого теплообміну з навколишнім середовищем, але й умовами тепловідводу та теплопідводу до стійки від прилеглих до неї глухих елементів зовнішньої стіни [3]. Площа тепловідводу у порівнянні зі стандартним рішенням зменшилась на третину, що понижує температуру на її поверхні. Очевидно також, що основним конструктивним фактором є наявність композитного елемента з алюмінію біля теплоізоляційного вкладишу і геометричні параметри цього елемента. Композитний елемент нівелює присутність теплоізоляційного вкладишу та створює по всій висоті стійки суцільний «місток холоду», що призводить до вкрай негативних наслідків. Незважаючи на малу площу примикання композитного елемента до внутрішніх частин стійки, цього впливу достатньо для промерзання фасадної системи, яка у рядовому виконанні повністю відповідає нормативним вимогам за своїми теплотехнічними показниками (рис.6).

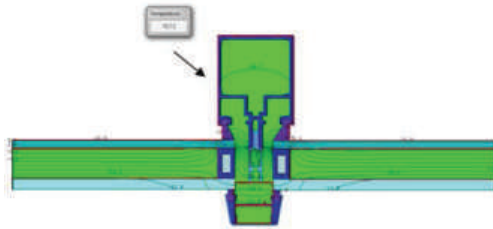


Рис.6 – Температурне поле рядової стійки світлопрозорого фасаду стійково-ригельного типу

Розглянемо вплив на тепловий режим конструкції заповнення простору між внутрішнім оздобленням з гіпсокартону та газобетонною кладкою утеплювачем. Температурне поле даного конструктивного принципу наведено на рис.7. Як видно з результатів розрахунків, мінімальна температура внутрішньої поверхні для даного конструктивного рішення становить мінус 5,2 °С (на поверхні стійкового профілю), що не відповідає нормативним вимогам. Таким чином, приведені конструктивні рішення дозволило підвищити мінімальну температуру на поверхні відкосу (з 4,7 °С до 9,5 °С), але суттєво погіршило температурні характеристики стійки за рахунок зменшення площі її теплосприймаючої поверхні.

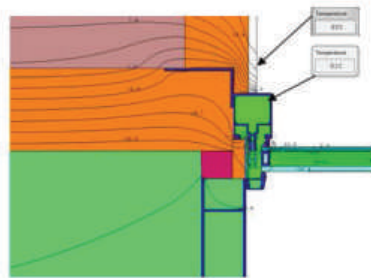


Рис. 7 – Температурне поле рішення по додатковій теплоізоляції внутрішнього відкосу

Водночас с розрахунками були проведені натурні обстеження проблемних вузлів примикань стійково-ригельної системи до непрозорих ділянок стін.

Випробування проводилися в період зі стабільними температурами зовнішнього повітря контактним методом.

$$t_3 = (-4,2 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}, t_b = +(22 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi = (20 \pm 5) \text{ } \%$$

$$t_3 = (-2,3 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}, t_b = +(21 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}, \varphi = (20 \pm 5) \text{ } \%$$

Фактичні виміряні значення температурних показників фасадних конструкцій для оцінки на відповідність нормативним вимогам перераховувались на розрахункові умови експлуатації згідно з ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [6]. Порядок перерахунку наведено нижче.

Температуру внутрішньої поверхні огородження при розрахункових температурних умовах визначають за формулою:

$$T_{П.ВН} = T_{НС.ВН.Р} - (T_{НС.ВН.Р} - T'_{П.ВН}) \cdot \frac{\alpha_{ВН.Е}}{\alpha'_{ВН}}, \quad (2)$$

де $T_{НС.ВН.Р}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$, що визначається залежно від призначення будинку згідно таблиці Г.2 ДБН В.2.6-31;

$T'_{П.ВН}$ – температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^\circ\text{C}$, при температурному напорі $\Delta T_{НС} = T_{НС.ВН.Р} - T_{НС.ЗОВ.Р}$ без урахування зміни коефіцієнта теплообміну внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\alpha_{ВН}$, визначається за формулою:

$$T'_{П.ВН} = T_{НС.ВН.Р} - (T_{НС.ВН.Е} - T_{П.ВН.Е}) \frac{T_{НС.ВН.Р} - T_{НС.ЗОВ.Р}}{T_{НС.ВН.Е} - T_{НС.ЗОВ.Е}}, \quad (3)$$

$T_{НС.ВН.Е}$ – експериментальне значення температури внутрішнього навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$;

$T_{П.ВН.Е}$ – експериментальне значення температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^\circ\text{C}$;

$T_{НС.ЗОВ.Е}$ – експериментальне значення температури зовнішнього навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$;

$T_{НС.ЗОВ.Р}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$, що визначається залежно від температурної зони експлуатації будинку згідно додатку Ж ДБН В.2.6-31:2006;

$\alpha_{ВН.Е}$ – коефіцієнт теплообміну внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції в експерименті, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha'_{ВН}$ – те саме, при $T_{НС.ВН.Р}$ та $T'_{П.ВН}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначається за формулою:

$$\alpha'_{ВН} = \alpha'_к + \alpha'_е, \quad (4)$$

де $\alpha'_к$ – коефіцієнт конвективного теплообміну внутрішньої поверхні ОК відповідно при $\Delta T = T_{НС.ВН.Р} - T'_{П.ВН}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що визначається за графіком

на рис.1.1. Для стелі отримане значення α'_K помножують на 1,3, а для підлоги – на 0,7;

α'_ε – коефіцієнти радіаційного теплообміну внутрішньої поверхні

огороження при $T_{CP} = \frac{T_{НС.ВН.} + T'_{П.ВН.}}{2}$, Вт/(м²·К), що визначається за графіком на рис.1.2;

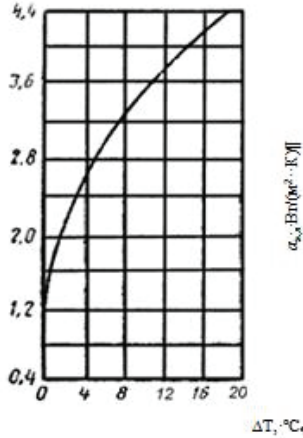


Рис.8 – Графік для визначення α'_K

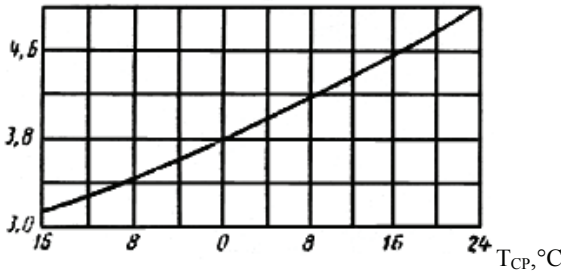


Рис.9 - Графік для визначення α'_ε

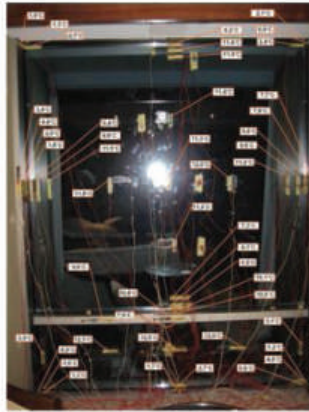


Рис. 10. Результати визначення температурних характеристик у розрахункових умовах експлуатації

Результати визначення фактичної температури внутрішньої поверхні інших приміщень номерного фонду готельного комплексу приведені на рис.10. Дані результати розраховані шляхом перерахунку фактичних показників температур, які отримані при температурі внутрішнього повітря приміщень $t_{в} = +(20 \pm 2) \text{ }^{\circ}\text{C}$ та зовнішнього повітря $t_{з} = (1 \pm 3) \text{ }^{\circ}\text{C}$, на розрахункові умови експлуатації згідно з ДБН В.2.6-31:2006 [5] та ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [6].

Проведений аналіз результатів показує, що розрахункове значення мінімальної температури внутрішньої поверхні склопакетів становить мінус $(2-2,5) \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для фасаду стійково-ригельного типу (номер 307). Мінімальна температура на поверхні профілів становить мінус $(3-4) \text{ }^{\circ}\text{C}$. Тобто температурний режим частини світлопрозорих огорожень, що примикає до непрозорих фасадів не відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2006 [5].

Приклади результатів обстежень кутових зон примикань згідно з ДСТУ Б EN 13187:2011 [7] за допомогою тепловізійної зйомки підтверджують ці дані та приведені на рис. 10-11.

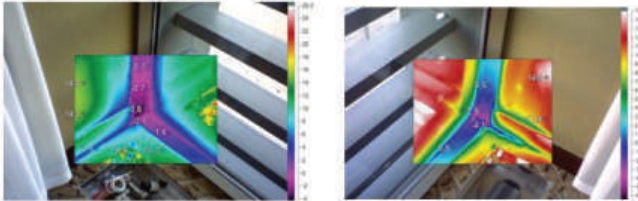


Рис. 10-11. Результати тепловізійної зйомки кутових зон примикань стійки к непрозорій частині стіни

Для усунення існуючих недоліків було запропоновано декілька варіантів рішень для підвищення теплових показників даного вузла.

На рис.12-16 наведені температурні поля для конструктивних рішень. Результати розрахунків показують:

- За умови демонтажу внутрішнього відкосу та утеплювача мінімальна температура на поверхні стійкового профілю становить $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.12);
- За умови термічного розриву композиту і зовнішньої декоративної планки мінімальна температура на поверхні стійкового профілю становить $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.13);
- За умови влаштування додаткового шару теплоізоляції товщиною 120 мм та заповнення зовнішньої передкамери монтажною піною мінімальна температура на поверхні стійкового профілю становить $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.14);
- За умови демонтажу внутрішнього відкосу та утеплювача, термічного розриву композиту і зовнішньої декоративної планки та заповнення зовнішньої передкамери монтажною піною мінімальна температура на поверхні стійкового профілю становить $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.15);
- За умови демонтажу елемента жорсткості із композиту та заміни його на вставки з спіненого ПВХ або матеріалу, що має аналогічні властивості, з коефіцієнтом теплопровідності не більше ніж $0,07\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, температура на поверхні стійкового профілю становить $12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.16).

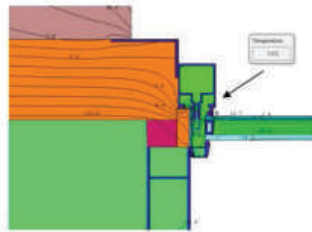


Рис.12 – Температурне поле варіанту конструктивного рішення, що передбачає демонтажу внутрішнього відкосу та утеплювача

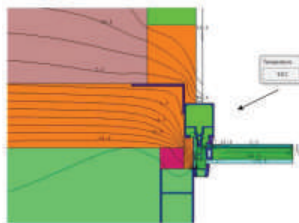


Рис. 13 – Температурне поле варіанту конструктивного рішення, що передбачає термічний розрив композиту і зовнішньої декоративної планки

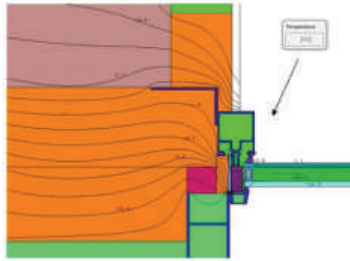


Рис. 14 – Температурне поле варіанту конструктивного рішення, що передбачає влаштування додаткового шару теплоізоляції та заповнення зовнішньої передкамери монтажною піною

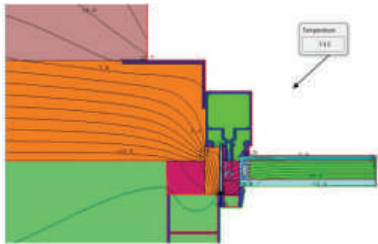


Рис. 15 – Температурне поле варіанту конструктивного рішення, що передбачає демонтаж внутрішнього відкосу та утеплювача, термічного розриву композиту і зовнішньої декоративної планки та заповнення зовнішньої передкамери монтажною піною

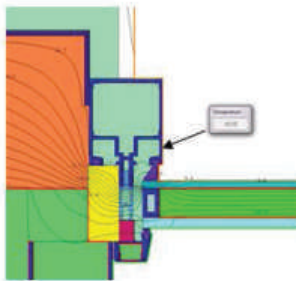


Рис.16 – Температурне поле рекомендованого вузла примикання стійки до непрозорої стіни в зоні фальши фасаду

Таким чином, результати аналітичних та експериментальних досліджень показують, що жодне конструктивне рішення, яке не передбачає демонтаж наявного елемента жорсткості на основі композиту, не дозволяє забезпечити нормативні температурні характеристики на внутрішній поверхні стійки.

Висновки. Наведені приклади особливо підкреслюють важливість проведення попередніх розрахунків ділянок з термічно неоднорідними елементами, та вузлів примикань різних типів фасадних систем на стадії розробки проектної документації. Як наслідок можна запобігти значних фінансових втрат при виконанні робіт по усуненню теплових відмов теплоізоляційної оболонки будівлі. На стадії проектування слід обов'язково перевіряти всі характерні вузли шляхом моделювання двомірної теплопередачі крізь огорожувальні світлопрозорі конструкції. Отримані результати дозволяють визначити принципи класифікації та вбору критеріїв оцінювання експлуатаційної природності сучасних конструкцій фасадів громадських будівель.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Фаренюк Г.Г., Фаренюк Е.Г. Теплотехнические характеристики фасадных комбинированных систем. – «Оконные технологии», 2001, № 6, с.35--45.
2. Фаренюк Г.Г., Трохименко Н.А. Методы испытаний оконной продукции по теплофизическим и акустическим показателям. – «Оконные технологии», 2001, № 6, с.49–55.
3. Фаренюк Г.Г., Фаренюк Е.Г. Температурный режим алюминиевых стоечно-ригельных узлов фасадных систем. – «Оконные технологии», 2003, № 13, с.66--70.
4. Фаренюк Є.Г. Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып.№65. - Дн-вск., ГВУЗ«ІПГАСА», 2012.- **С???**
5. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний з 01.04.2007]. - К.: Мінбуд України, 2006. – С4. – (Державні будівельні норми України).
6. Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій: ДСТУ Б В.2.6-101:2010.- [Чинний з 20.01.2010]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
7. Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод (ІЕН 13187:1998, ІДТ): ДСТУ Б EN 13187:2011.- [Чинний з 01.01.2013]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011.