



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

ТОМ 5, N3, 2009, 99-105

УДК 699.86.001.63

ОЦІНКА ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ ВІТРАЖНОЇ СИСТЕМИ “SPIDER”

О. М. Білоус

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, Макіївка, Донецька область, Україна, 86123
e-mail: us28@ua.ua*

Отримана 5 вересня 2009; прийнята 25 вересня 2009

Анотація. В статті розглянута проблема, що виникла у зв'язку з сучасною модою в архітектурному стилі на велику кількість скла у фасадах. За Радянськими нормами світлопрозорі огорожувальні конструкції, які вважалися марнотратними в плані енергоефективності і малозастосовними в житті, обійшли стороною питання про їх нормування в літній період року. Але з появою на території України світлопрозорих фасадних систем стали виникати теплофізичні відмови даних систем в літній період року. На прикладі фасадної системи “Spider” були проведені натурні теплофізичні випробування. Розроблена програма випробувань світлопрозорих огорожувальних конструкцій в натурних умовах в літній період року. Отримані дані про реальну поведінку конструкції в літній період року. У зв'язку з відсутністю нормативних вимог до світлопрозорих огорожувальних конструкцій в літній період року, зроблений огляд можливих критеріїв оцінки світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Запропоновано за критерій оцінки світлопрозорих захисних конструкцій вважати другу умову комфортності. Були проведені теоретичні розрахунки по прогнозуванню підвищення температури в приміщенні з світлопрозорими захисними конструкціями на дію теплонадходжень від сонячної радіації. Запропоновано шляхи рішення енергоефективного застосування світлопрозорих конструкцій на етапі проектування.

Ключові слова: світлопрозорі фасадні системи, літні умови, критерій оцінки.

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ВИТРАЖНОЙ СИСТЕМЫ “SPIDER”

А. Н. Белоус

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123
e-mail: us28@ua.ua*

Получена 5 сентября 2009; принята 25 сентября 2009

Аннотация. В статье рассмотрена проблема, возникающая в связи с современной модой в архитектурном стиле на обилие стекла в фасадах. Советские нормы, считавшие светопрозрачные ограждающие конструкции расточительными в плане энергоэффективности и малоприменяемыми в жизни, обошли стороной вопрос об их нормировании в летний период года. Но с появлением на территории Украины светопрозрачных фасадных систем стали возникать теплофизические отказы данных систем в летний период года. На примере фасадной системы “Spider” были проведены натурные теплофизические испытания. Разработана программа испытаний светопрозрачных ограждений в натурных условиях в летний период года. Получены данные о реальном поведении конструкции в летний период года. В связи с отсутствием нормативных требований на светопрозрачные ограждающие конструкции в летний период года, сделан обзор возможных критериев оценки светопрозрачных ограждающих конструкций. Предложено в качестве критерия оценки светопрозрачных ограждающих конструкций второе условие комфортности. Были произведены теоретические расчеты по прогнозированию повышения температуры в помещении со

светопрозрачными ограждающими конструкциями на воздействие теплоступлений от солнечной радиации. Предложены пути решения энергоэффективного применения светопрозрачных конструкций на этапе проектирования.

Ключевые слова: светопрозрачные фасадные системы, летние условия, критерий оценки.

EESTIMATION OF WORK THERMAL RELIABILITY OF THE STAINED-GLASS WINDOW SYSTEM “SPIDER”

A. N. Belous

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin street, Makeyevka, Donetsk Region, Ukraine, 86123
e-mail: us28@ya.ua*

Received 5 September 2009; accepted 25 September 2009

Abstract. In the article the problem in connection with a modern fashion in architectural style on plenty of glass in facades is considered. Soviet norms considering light transparent enclosing constructions being wasteful in the sphere of powerefficiency and it is little applied in the life passed by a question of their normalization in the summer period. But with appearance the on of Ukraine territory the light transparent facade systems to the thermodynamical refusals became to arise the given systems in the summer period. On the example of the facade system “Spider”, the model thermophysical tests have been carried out. The program of light transparent tests system protections in model terms in the summer period has been worked out. Data about the real construction behaviour in the summer period have been got. In connection with absence of normative requirements on the light transparent enclosing constructions in the summer period, the review of possible criteria of estimation of light transparent constructions enclosing has been made. As a criterion of estimation of light transparent enclosing constructions It is offered the second condition of comfort. Theoretical calculations on prognostic of temperature increasing in the house with light transparent enclosing constructions on the influence of warm coming from the sun radiation have been carried out. The ways of powerefficiency solution of light transparent constructions application on the stage of designing are offered.

Keywords: stained-glass window system of facade, summer terms, criterion of estimation.

Актуальність теми

В теперішній час в Україні поширюється світова тенденція в архітектурному стилі, яка принесла дуже багато скла в фасади будівель. Все частіше зустрічаються будівлі зі світлопрозорими фасадними системами з коефіцієнтом скління більш 0,18. Збільшення долі світлопрозорої частини фасаду приводить до збільшення теплопроникнення за рахунок сонячної радіації в приміщеннях. Розрахунок системи вентиляції та кондиціонування ведеться ще за радянськими нормами, які встановлюють значення внутрішньої температури та швидкість руху повітря, що наведені в таблиці 1.

Але на території України стали зустрічатися відмови світлопрозорих фасадних систем,

що викликаються перегрівом в літній період року. При таких відмовах спостерігається:

- підвищена температура внутрішнього повітря;
- висока температура поверхонь вітражних систем;
- негативний вплив на людину теплового опромінювання з боку світлопрозорої фасадної системи.

Ці відмови спричинені тим, що світлопрозорі огороження вибираються за зимовими характеристикам, без урахування літніх умов.

Мета

Експериментальні дослідження температурних характеристик фасадної системи “Spider”

Таблиця 1. Розрахункові внутрішні умови для основних приміщень житлових та громадських будівель.

Розрахункові внутрішні умови та засоби їх забезпечення	Розрахункові параметри мікроклімату			
	Температура приміщення, °С		Відносна вологість повітря φ_v , %	Рухливість повітря v_v , м/с
	$t_{по}$	$A_{тп}$		
Оптимальні умови – регульована система кондиціонування	25	1	40-60	< 0,3
Допустимі умови – система вентиляції	t_{30}^*+3	4	-	< 0,5

* - середньомісячна температура зовнішнього повітря

**Рис.1.** Світлопрозора фасадна система «Spider». Зліва – загальний вид, справа – елементи кріплення.

в натурних літніх умовах, та внесення коректив до теоретичних розрахунків її теплової надійності.

Об'єкт дослідження

В якості об'єкта дослідження була вибрана вітражна система «Spider». Вона характеризується металевим точковим кріпленням багатопарового скла до стійково-рігельної системи каркасу (див. рисунок 1).

Вітражна система розміщується на першому поверсі цивільного багатоповерхового будинку, розташованого в м. Києві. Фасад орієнтовано на схід, площа світлопрозорої частини дорівнює – 64,24 м² (схема приміщення приведена на рисунку 2).

Планування експерименту

У зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції за допомогою кронштейна на відстані

500 мм кріпиться приймальна головка піранометрів таким чином, щоб її приймальна поверхня розташовувалася паралельно площині огорожувальної конструкції, що досліджується. Приймальну поверхню піранометра розвертають у бік небозводу. Біля зовнішньої поверхні для вимірювання температури повітря встановлюються на відстані 100 мм три термопари з захисними ковпачками з алюмінієвої фольги від впливу прямої сонячної радіації. Для вимірювання температур внутрішньої поверхні встановлюють термопари у кількості та відповідних місцях для одержання повної картини розподілу температур на поверхні згідно з ДСТУ Б.В.2.6-17-2000. Компенсаційні дроти від термопар і піранометрів через проміжний багатоточковий перемикач приєднуються до вторинного вимірювального приладу, який розташовується в сусідньому приміщенні. Перед початком випробувань в приміщенні щільно закриваються вікна і двері,

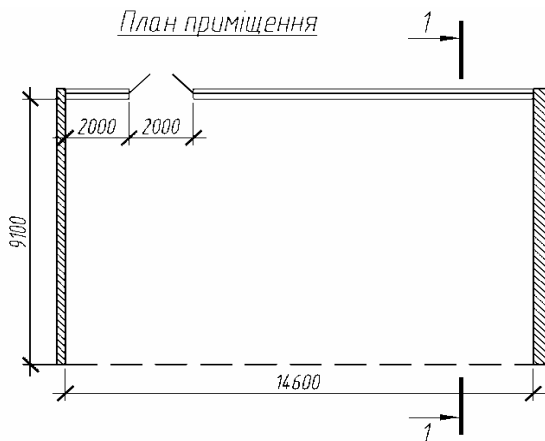
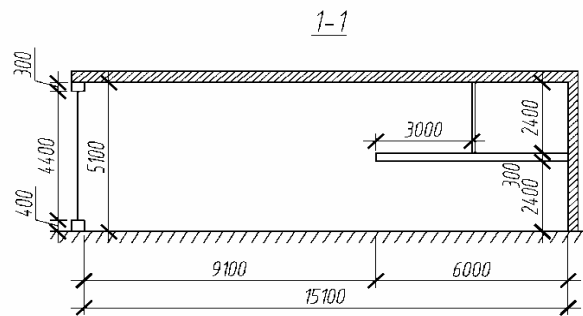


Рис. 2. Схема приміщення.

відключається вентиляція, створюється закритий повітряний режим приміщення.

В натурних умовах експлуатації будинків використовують той температурний перепад, що установився на огорожувальній конструкції в розрахунковий період року. Швидкість і напрямок вітру вимірюють на території випробовуваного будинку 3 рази на добу (6, 12, 18 год.) на відстані від 1,5 до 2 висот будинку і на відстані однієї висоти для будинків в дев'ять і більше поверхів на рівні 2 м від поверхні землі. Допускається приймати швидкість і напрямок вітру за даними найближчої метеостанції. При проведенні випробувань за допомогою потенціометра послідовно вимірюються значення термо-ед.с всіх термпар. За відсутності безперервного запису показань вимірювання проводяться з інтервалом в 1 годину. Інтенсивність сумарного сонячного опромінювання огорожувальній конструкції, що досліджується, вимірюються піранометром, приймальна поверхня якого орієнтована у бік небозводу. Вимірювання проводяться з інтервалом в 1 год в світлу пору доби. Інтенсивність відбитої від поверхні несвітлопрозорого огороження сонячної радіації вимірюється піранометром, приймальна поверхня якого звернена до огорожувальній конструкції. Інтенсивність відбитої сонячної радіації вимірюється одночасно з вимірюваннями сумарного сонячного опромінювання не менше трьох разів в інсольований період доби. При лінійних розмірах однорідної ділянки огорожувальній конструкції менше 2000 мм необхідно провести повторні вимірювання



відбитої сонячної радіації при положенні приймальної поверхні піранометра на відстані 250 мм від зовнішньої поверхні огорожувальній конструкції. Вимірювання показань універсальних піранометрів М-80М проводяться стрілочним актинометричним гальванометром ГСА-1М. Швидкість вітру вимірюється чашковим анемометром МС-13 на території об'єкту випробувань три рази на добу через рівні проміжки часу. Тривалість випробувань складає не менше 5 діб.

Обробка результатів

За даними натурних спостережень були побудовані графіки зміни температури зовнішнього та внутрішнього повітря (див. рис. 3), внутрішньої та зовнішньої приведені температури поверхонь (див. рис. 4). Максимальна температура внутрішнього повітря дорівнює плюс 28,7 °С, максимальна приведена температура внутрішньої поверхні світлопрозорого фасаду – плюс 35,6 °С.

Вибір критерію оцінки

Теплова надійність світлопрозорої конструкції в літній період потребує окремого критерію оцінки. Аналіз показує, що показник амплітуди коливань температури на внутрішній поверхні (A_{TB}), що прийнятий для несвітлопрозорих огорожень, не може бути застосований для світлопрозорих. Це насамперед пов'язано з нульовим значенням коефіцієнту теплосвоєння повітряного прошарку в світлопрозорій конструкції.

Іншим варіантом критерію може виступати перепад між розрахунковою температурою

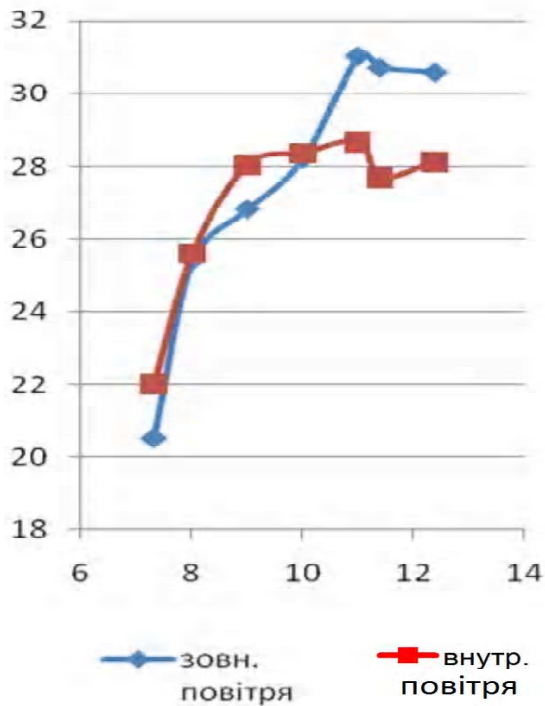


Рис. 3. Зміна температури зовнішнього та внутрішнього повітря.

внутрішнього повітря та максимальною приведеною температурою на внутрішній поверхні. Але при невизначеності розрахункової величини температури внутрішнього повітря (інколи вона приймається рівною 25 °С) та складності урахування впливу внутрішнього об'єму повітря на загальний тепловий стан також ускладнює оцінку.

Найбільш реальним та наближеним до отриманих результатів є використання оцінки умов комфортності перебування людини біля нагрітої поверхні. За отриманими в натурних умовах результатами та підтвердженням в лабораторних умовах [3] треба обмежувати приведену температуру на внутрішній поверхні світлопрозорого огороження.

Згідно з другою умовою комфортності [2] слід обмежувати інтенсивність опромінювання при положенні людини біля нагрітої поверхні вікна (вітражів). До радіаційного нагріву найбільш чутливою є поверхня голови. Радіаційний баланс повинен бути таким, щоб деяка елементарна площадка на поверхні голови віддавала випромінювання



Рис. 4. Зміна приведеної температури зовнішньої та внутрішньої поверхонь.

оточуючим поверхням не менш 11,6 Вт/м². При розміщенні світлопрозорої частини в стіні за розрахункове положення людини приймають дистанцію 1 м від нагрітої поверхні вікна (вітражів).

Таким чином, максимально допустима приведена температура τ_{max}^{∂} , °С, нагрітої поверхні згідно з [2] може бути не більшою за величину, що розраховується як

$$\tau_{max}^{\partial} \leq 12,9 + 8,7 / \varphi, \quad (1)$$

де φ – коефіцієнт опромінювання з боку голови людини в бік нагрітої поверхні, що знаходиться за формулою

$$\varphi = 1 - 0,8 (x/l), \quad (2)$$

де l – характерний розмір панелі, який треба знаходити як

$$l = \sqrt{F_e}, \quad (3)$$

де F_e – площа світлопрозорого огороження, м².

Згідно з формулою (1) для різних площ світлопрозорих огорожень були розраховані приведені температури на внутрішній поверхні світлопрозорого огороження τ_{max}^{∂} , які представлені в табл.2.

Таблиця 2. Залежність максимально допустимої приведеної температури на поверхні вікна від його площі.

$F_v, \text{ м}^2$	≤ 1	2	3	5	10	25	≥ 100
$t_{max}^d, \text{ }^\circ\text{C}$	46	42	40	37	34	30	26

Таблиця 3. Початкові дані для теоретичного розрахунку.

	$F_0, \text{ м}^2$	$k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$	kF	$Y_0, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$
Стіни	167,3	3,70	619,56	27,80
Стеля	132,9	3,94	523,64	10,65
Підлога	132,9	0,08	10,73	15,85
Вітраж	64,2	2	128,4	-

Оцінка фасадної системи

Максимальна приведена температура на поверхні світло прозорого огороження дорівнює $35,6 \text{ }^\circ\text{C}$, що значно більше ніж допустимий критерій оцінки, розрахований методом інтерполяції згідно з таб. 2, який в свою чергу дорівнює $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким чином, система не задовольняє вимогам другої умови комфортності.

Під час проведення натурних спостережень температура внутрішнього повітря зросла до $28,7 \text{ }^\circ\text{C}$, приймаючи до уваги й систему вентиляції. Відповідно до дійсних норм (див. таб. 1) максимально допустима температура внутрішнього повітря дорівнює $t_{30} + 3 \text{ }^\circ\text{C}$. Для міста Києва $t_{30} = 19,8 + 3 = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (згідно СНиП 2.01.01-82). Таким чином, система не задовольняє діючим нормативним документам.

Теоретичні розрахунки

Початкові дані для розрахунку представимо в табличному вигляді (до табл. 3.)

Приріст температури внутрішнього повітря, викликаний дією сонячної радіації, можливо знайти за теорією Шкловера А. М. [5]

$$\Delta t = Q_{cp} \left(\frac{\eta}{\sum kF} + \frac{\Omega}{Y_0 F_0} \right) \quad (4)$$

де η – відносна тривалість тепловиділення, в долях добового періоду, у нашому випадку – $7/24$;

Ω – величина, що характеризує періодичність зміни температури внутрішнього повітря по годинах, згідно з рис. 21 [5] = $0,84$;

F – площа внутрішнього огороження, крізь яку діє процес теплопередачі, м^2 ;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$;

Y_0 – приведений коефіцієнт теплосвоєння всіх внутрішніх поверхонь, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$;

F_0 – сумарна площа внутрішніх поверхонь, м^2 ;

Q_{cp} – середнє тепловиділення за період дії сонячних теплонадходжень в приміщення, Вт . Ця величина в теорії Шкловера А. М. не визначена, тому пропонується скористуватися даними, що містяться в роботі Староверева І. Г. [6]. З урахуванням широти місцевості та всіх чинників, що відносяться до здатності світлопрозорої конструкції пропускати теплову енергію, зазначена величина знаходиться за формулою

$$Q_{cp} = [k_c \cdot k_{1c} \cdot q_c + k_2 \cdot (t_3 - t_\theta)] \cdot F_{en}, \quad (5)$$

де q_c – кількість сонячної радіації, що проникає крізь одинарне світлопрозоре огороження, приймаємо за табл. 2.9 [6] – $509 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

k_c – коефіцієнт, що враховує зміну надходження тепла крізь поверхню за рахунок затемнення скла перепльотами та забрудненням атмосфери згідно з табл. 2.10 [6] – $0,68$;

k_{1c} – коефіцієнт, що враховує зміну надходження тепла скрізь поверхню світлопрозорого огороження відмінного від скління з одинарного незахищеного скла, згідно з табл. 2.11 [6] – $0,9$;

k_2 – коефіцієнт теплопередачі світлопрозорого огороження, в нашому випадку – $2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$;

t_3, t_θ – температури зовнішнього та внутрішнього повітря, відповідно – $27,2$ та $26,7 \text{ }^\circ\text{C}$;

F_{en} – площа світлопрозорої фасадної конструкції, що дорівнює $64,24 \text{ м}^2$.

Таким чином,

$$Q_{cp} = [0,68 \cdot 0,9 \cdot 505 + 2 \cdot (27,2 - 26,7)] \cdot 64,2 = 20075,5 \text{ Вт}$$

$$\Delta t = 20075.5 \left(\frac{7/24}{1153.9} + \frac{0.84}{8171.2} \right) = 7.1^{\circ}C$$

Одержаний за теоретичними розрахунками температурний перепад співпадає з отриманим за результатами натурних спостережень, що дорівнює 6,7°C.

Висновки

1. Розглянута система "Spider" не задовольняє вимогам нормативних документів (див. таб. 1) та запропонованому критерію оцінки. Для того, щоб дана система задовольняла вимогам, є кілька пропозицій, які потрібно вирішувати на стадії проектування:
 - зміна орієнтації світлопрозорого фасаду, так, наприклад, зміна східного орієнтування на північно-східне зменшить теплонабходження в 1,5 раза;
 - застосування затініючих конструктивних елементів;
 - використання затемнювального скла.

2. Запропонований теоретичний метод, виставлений до розгляду, можна застосовувати для прогнозування теплової надійності світлопрозорих конструкцій в літній період року.

Литература

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с., ил. – рос.
3. Фаренюк Г.Г., Тимофеев М. В., Білоус О. М. Методика лабораторних досліджень теплостійкості огорожень/ Труды конф. «Енергозберігаючі будівельні конструкції та виробы». – К.: НДІБК, 2008.
4. Єлагін Б. Т. Облік променистої енергії Сонця в архітектурі: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 140 с. – Рос.
5. Шкловер А. М., Теплоустойчивость зданий. – М.: Гос. изд. лит. по стр. и арх., 1952. – рос.
6. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Под ред. И. Г. Старовойтова. Изд. 3-е. перераб. и доп. 4.1. – М.: Стройиздат, 1975. – рос.

Білоус Олексій Миколайович – аспірант кафедри «Архітектура промислових та цивільних будівель» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики випробувань конструктивних елементів будівель; участь в розробці будівельних норм проектування.

Белоус Алексей Николаевич – аспірант кафедри «Архитектура промышленных и гражданских зданий и сооружений» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики испытаний конструктивных элементов зданий; участие в разработке строительных норм проектирования.

Belous Aleksey Nikolayevich – the post graduate student of «Architecture of Industrial and Civil Building and Structures» chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of tests method of structural elements of buildings; participating in designing building norms elaboration.