

УДК 699.86:692.23.001.41

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДОВГОВІЧНОСТІ СУЧАСНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ**

н.с. Фаренюк Є.Г.

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

Вступ. Житлові багатоповерхові будівлі за конструктивним принципом теплоізоляційної оболонки мають типові рішення, що дозволяє аналізувати їх енергетичні параметри за принципом вибору моделей-представників. Загальна характеристика полягає в тому, що тепловтрати крізь зовнішні стіни та вікна є визначальними в енергетичному балансі житлових багатоповерхових будівель. При цьому площа вікон в 3-5 разів менше площі глухих стінових огороджуючих конструкцій, а рівні тепловтрат або практично однакові, або тепловтрати крізь вікна перевищують тепловтрати крізь глухі стінові конструкції. Це обумовлює необхідність спеціального аналізу впливу світлопрозорих огороджуючих конструкцій на формування енергетичних показників будівель в цілому.

Аналіз останніх досліджень. Однією з основних експлуатаційних характеристик будинків є теплова надійність їх ізоляційної оболонки. Це поняття було введено в роботі [1]. На підставі аналізу результатів досліджень автором встановлено 4 типи відмов теплового режиму огороджувальних конструкцій будівель [2]: проектні, технологічні, експлуатаційні та концептуальні. Теплова відмова – це такий стан будинку, коли не забезпечується виконання нормованого теплового режиму в приміщеннях будинку.

Проектування сучасної будівлі вимагає опрацювання на стадії проекту всіх вузлів огороджуючих 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. Тому важливим є подальший розвиток методів розрахунку теплотехнічних показників світлопрозорих огороджуючих конструкцій та їх експериментального визначення.

Зміна властивостей сучасних світлопрозорих конструкцій можлива за рахунок зміни теплофізичних характеристик склопакетів. Особливо це стосується склопакетів з газонаповненням, в яких втрата певної кількості важкого газу обумовлює значне зниження опору теплопередачі конструкції в цілому. Тому при оцінюванні довговічності світлопрозорих конструкцій особлива увага приділялась дослідженням властивостей склопакетів, як найбільш слабого з точки зору довговічності елементі загальної конструктивної системи.

Постановка мети і задач дослідження. Метою роботи є встановлення методичних положень, направлених на здійснення інженерного пошуку та вибору конструктивних рішень енергоефективних світлопрозорих огорожень житлових багатоповерхових будівель, що забезпечують мінімальні тепловтрати і максимальне використання сонячної енергії для забезпечення

комфортних теплових умов в приміщеннях.

Задачею досліджень є створення методологічних принципів встановлення критеріїв енергоефективності світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Фізична суть методики досліджень. Суть досліджень полягала у експериментальному оцінюванні здатності склопакетів зберігати свої експлуатаційні характеристики під впливом кліматичних дій у вигляді циклічної зміни додатних і від'ємних температур, вологого повітря, ультрафіолетового опромінювання та дощування.

Основні положення експериментальної методики досліджень. При проведенні досліджень використовувалась експериментальна установка (рис.1), що складається із кліматичної камери, яка дозволяє здійснювати регулюванням температури повітря від мінус 30°C до 60°C з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$ та вологості повітря від 20% до 100% з точністю $\pm 5\%$, джерела ультрафіолетового опромінювання в діапазоні хвиль від 280 нм до 400 нм з інтегральною поверхневою густиною потоку випромінювання (700 ± 100) Вт/м² та поверхневою густиною потоку ультрафіолетового опромінювання (30 ± 5) Вт/м²; установки дощування.

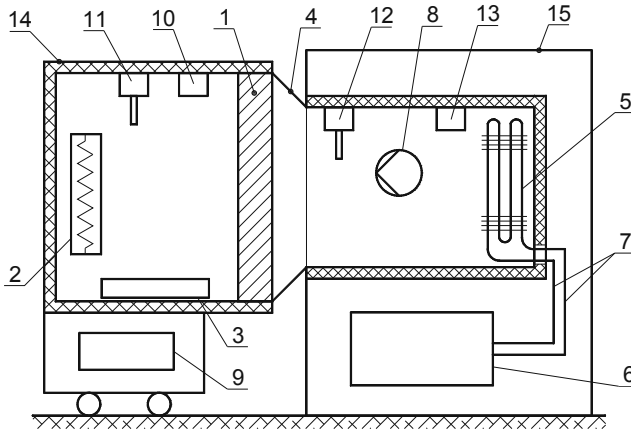


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

- 1 – досліджувана конструкція; 2 – нагрівники; 3 – посудина з розчином для підтримання вологості; 4 – перехідна діафрагма; 5 – виварник;
 6 – холодильне обладнання; 7 – трубопроводи холодоагенту; 8 – вентилятор;
 9 – система автоматичного збору даних та регулювання; 10 – датчик контролю вологості повітря в приставному теплом відсіку; 11 – датчик контролю та регулювання температури повітря в приставному теплом відсіку; 12 – датчик контролю та регулювання температури повітря в робочому об'ємі кліматичної камери; 13 – датчик контролю та регулювання вологості в робочому об'ємі кліматичної камери;
 14 – приставний теплий відсік; 15 – кліматична камера

Дослідні зразки встановлювали у касету, яку розміщували у прорізі кліматичної камери, і піддавали циклічним однобічним кліматичним впливам у вигляді заморожування – вирівнювання температур – нагрівання – дощування – опромінювання.

Схема впливу кліматичних факторів під час досліджень:

– Заморожування при температурі повітря -35°C . Швидкість охолодження зразків становила 30 градус/година в діапазоні $+18\div 0^{\circ}\text{C}$ та 15 градус/година в діапазоні $0^{\circ}\text{C}\div -35^{\circ}\text{C}$. Точність витримування швидкості зміни температури ± 5 градус/година. Відносна вологість повітря $(80\pm 5)\%$.

Тривалість заморожування зразків визначалася з умови вирівнювання температурного поля по товщині зразка, що визначається рівнянням Фур'є при граничних умовах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{O}(\delta, \tau)}{\partial \tau} &= a \frac{\partial^2 \dot{O}(\delta, \tau)}{\partial \delta^2}, (\tau > 0, -\frac{1}{2}l \leq x \leq +\frac{1}{2}l). \\ -\lambda \frac{\partial \dot{O}\left(\frac{1}{2}l, \tau\right)}{\partial x} + \alpha \left[t_c - T\left(\frac{1}{2}l, \tau\right) \right] &= 0, \\ -\lambda \frac{\partial \dot{O}\left(-\frac{1}{2}l, \tau\right)}{\partial x} + \alpha \left[t_c - T\left(-\frac{1}{2}l, \tau\right) \right] &= 0. \\ \dot{O}(\delta, 0) &= idem. \end{aligned} \quad (1)$$

рішення якого має вигляд:

$$U = \frac{\dot{O}(\delta, \tau) - \dot{O}_0}{t_0 - \dot{O}_0} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos M_k^x \exp(-M_k^2 \cdot F_0), \quad (2)$$

де корені характеристичного рівняння $tgM = -\frac{1}{Bi} \cdot M$ мають вигляд:

$$A_k = \frac{2 \cdot \sin M_k}{M_k + \sin M_k \cdot \cos M_k} = (-1)^{k+1} \cdot \frac{2 \cdot Bi \cdot \sqrt{Bi^2 + M_k^2}}{M_k \cdot (Bi^2 + Bi + M_k^2)}.$$

Bi – критерій Біо, визначається за критеріальним рівнянням:

$$Nu = 0,664 \cdot \sqrt[3]{Pr \sqrt{Re}}. \quad (3)$$

Результати рішень рівнянь (1) - (3) наведені на рис.2, 3. Для стандартних склопакетів часова характеристика вирівнювання температур при їх охолодженні не перевищує 2,5 години (див.рис. 2), при нагріванні – 1,5 \div 2 години.

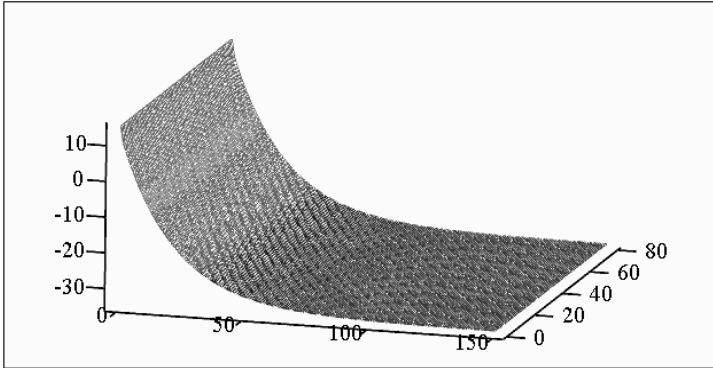


Рис. 2. Характер зміни температури в часі по товщині випробуваного склопакета при його охолодженні

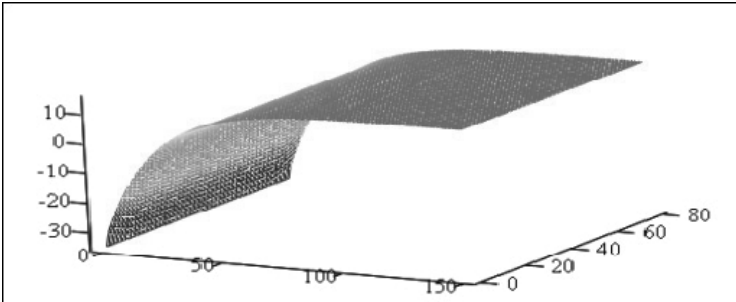


Рис. 3. Характер зміни температури в часі по товщині випробуваного склопакета при його нагріві

– Вирівнювання температури зразків на повітрі при температурі середовища $t_0 = (+18 \div +22)^\circ\text{C}$. Тривалість часу вирівнювання температури визначалася з умови вирівнювання температурного поля по товщині зразка (див.рис.3) і для випробуваних склопакетів становила 2 години.

– Нагрівання зразків в умовах змущеної конвекції при температурі навколишнього середовища $t_i = +60 \pm 10^\circ\text{C}$. Тривалість часу нагрівання 1,5 години.

– Опромінення поверхонь зразків здійснюється при температурі повітря $(+18 \div +22)^\circ\text{C}$ джерелом ультрафіолетового випромінювання потужністю 500 Вт при інтегральній поверхневій щільності потоку випромінювання $(700 \pm 100) \text{ Вт/м}^2$ і при поверхневій щільності потоку ультрафіолетового випромінювання $(30 \pm 5) \text{ Вт/м}^2$. Час опромінення – 1 година.

Один цикл дій включає заморозування – вирівнювання в умовах високої вологості – нагрівання – опромінювання – дощування.

Нагрівання зразків при проведенні випробувань здійснювався за графіком:

– 4 цикли – обігрів у кліматичній камері в умовах змушеної конвекції при температурі повітря 60 ± 1 °С;

– кожний 5 цикл – опромінення зовнішньої поверхні зразка.

Кожний 3 цикл проводиться із замочуванням випробуваних зразків.

Вирівнювання температури здійснювалося за графіком:

1 цикл – вирівнювання температур в умовах природної конвекції;

2 цикл – вирівнювання температур у повітряно-краплинному середовищі при відносній вологості повітря $(98 \div 100)\%$.

3 цикл – дощування зовнішньої поверхні зразків при температурі $(+18 \div +20)$ °С із створенням суцільної водяної плівки на поверхні кожного склопакету відповідно водою (3 цикл), слабким розчином луку (6 цикл) або слабким розчином кислоти (9 цикл). Тривалість замочування – 0,5 години.

Через кожні 20 циклів відбирають по три зразки, які піддавали випробуванням на точку роси. Суть методу полягає в охолодженні ділянки скла склопакета і наступній перевірці появи конденсату (інею) на внутрішній поверхні скла на цій ділянці. Схема приладу у випадку вертикального розташування склопакета при випробуваннях показана на рисунку 4. Прилад заповнювали ацетоном із поступовим додаванням дрібних шматочків двоокису вуглецю. Температура суміші при випробуванні склопакетів складала (-45 ± 3) °С. Час контакту вимірювального приладу зі склопакетом дорівнював 4 хвилини. Оцінка випробувань є позитивною, якщо в усіх зразках на поверхні ділянки скла всередині камери, яка охолоджується, не були виявлені сліди конденсату (інею).

Загальна кількість циклів випробувань кожного виду склопакетів дорівнювала 60.

Позитивною є оцінка довговічності склопакетів за відсутності відмов за 60 циклів випробувань.

Відмовою при проведенні випробувань на довговічність є:

– руйнування або наявність тріщин стекол, поява на їх поверхнях плям та розводів, потьоків, відшарування герметичу;

– негативний результат при випробуваннях на точку роси;

– зміна складу газу для газонаповнених склопакетів більш ніж на 5% від початкового складу газу. Суть методу визначення вмісту газу в камерах склопакетів базується на розділенні компонентів суміші (або чистого газу), які мають різний ступінь адсорбційної здатності. Визначення об'ємного вмісту окремих складових газової суміші проводились з використанням хроматографічних колонок, заповнених сорбентом (типу «Полісорб») із отриманням окремих «пиків» для кожного компонента на виході зі стовпчика та кількісної реєстрації їх за допомогою детектора по теплопровідності, сигнал від якого подається на вторинний реєструючий прилад.

Кількісне визначення водяної пари, у газонаповненому склопакеті, проводилось за рахунок реєстрації наявності вологи електрохімічним способом за допомогою чутливого елемента газоаналізатора.

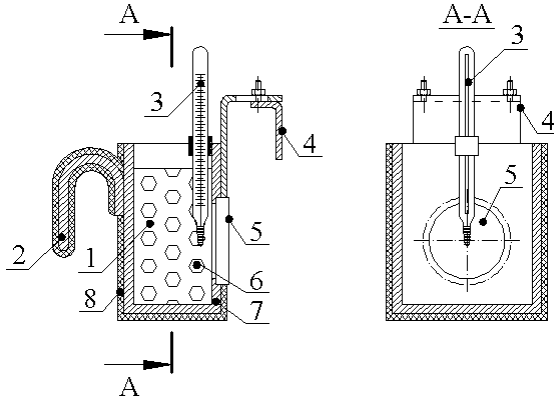


Рис. 4. Схема приладу для контролю точки роси:

- 1 – ацетон або ізопропіловий спирт; 2 – ручка; 3 – термометр;
 4 – рухома пластина вузла підвіски; 5 – контактна латунна пластина;
 6 – твердий двоокис вуглецю; 7 – корпус мідний; 8 – теплоізоляція

При проведенні випробувань використовували хроматограф (типу «Газохром – 3101») з детектором по теплопровідності з газохроматографічним стовпчиком довжиною 6,0 м, заповненим синтетичним цеолітом марки Na або полісорбом; газоаналізатор з нижньою межею чутливості водяної пари 1×10^{-4} % об. (1 ppm); піч муфельна електрична з регулюванням температури до 400°C з точністю $\pm 5^\circ\text{C}$; витратомір газів згідно з ДСТУ 3336 [3] з похибкою при вимірюванні витрати не більше $\pm 2,5\%$ в інтервалі температур повітря від мінус 30°C до 50°C , відносній вологості повітря від 30 % до 80 %; ексікатор; набір сит «Физприбор»; гелій газоподібний марки «А»; цеоліт синтетичний типу Na і полісорб, фракція із частками розміром від 0,2 мм до 0,3 мм; повітряні газові суміші (ПГС) згідно з ГОСТ 10218 [4] із криптону, ксенону й аргону, різної концентрації (залежно від складу газів у склопакетах).

Об'ємні частки аргону, криптону й ксенону визначали методом абсолютного градуювання, із використанням для цього ПГС. Пробу проаналізованої газової суміші вводили у хроматограф за допомогою шприца та штатного кран-дозатора, що входить до складу хроматографа. В якості газу-носія використовувався гелій марки «А».

Схема відбору проб зі склопакета представлена на рисунку 5.

Об'ємну частку аргону (\tilde{O}_1), криптону (\tilde{O}_2) у відсотках визначають за результатами градуювання висоти відповідних піків за формулою:

$$X = C_{I \tilde{A}N} \cdot \frac{h_{\tilde{O}}}{h_{I \tilde{A}N}} \cdot \frac{\dot{I}_{\tilde{O}}}{\dot{I}_{I \tilde{A}N}} \dots (i \text{ а. \%}), \quad (5)$$

де \tilde{O} – вміст аргону (\tilde{O}_1), криптону (\tilde{O}_2) в пробі, що підлягає аналізу, % об.;

$C_{I \bar{A}\bar{N}}$ – вміст аргону (C_1), криптону (C_2) в ПГС, % об.;

$h_{\bar{O}}$ – висота піку аргону (h_1), криптону (h_2) на хроматограмі проби, що підлягає аналізу, мм;

$h_{I \bar{A}\bar{N}}$ – висота піку аргону ($h_{I \bar{A}\bar{N}_1}$), криптону ($h_{I \bar{A}\bar{N}_2}$) на хроматограмі ПГС, мм;

$\dot{I}_{\bar{O}}$ – масштаб реєстратора при записі піків компонента, що визначається в аналізованій пробі; $\dot{I}_{I \bar{A}\bar{N}}$ – масштаб реєстратора запису піків обумовленого компонента в ПГС.

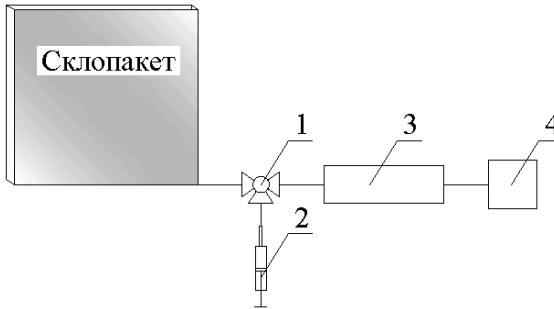


Рис. 5. Схема відбору проб зі склопакета:

1 – триходовий вентиль; 2 – шприц; 3 – хроматограф; 4 – самописець

За результат аналізу приймали середнє арифметичне трьох послідовно проведених аналізів, допустима розбіжність між якими не перевищувала 5-7 % при довірчій імовірності 0,95.

Висновки. Розроблена експериментальна методика визначення показників теплової надійності визначального елемента сучасних світлопрозорих конструкцій за їх енергетичними властивостями.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Фаренюк Г.Г. Косвенный метод оценки долговечности наружных ограждающих конструкций, основанный на экономическом подходе // Исследования теплозащиты зданий. - М.: НИИСФ. - 1983. - С. 40 – 44.
2. Фаренюк Г.Г. Класифікація та структура теплових відмов ізоляційної оболонки житлових та громадських будинків // Будівництво України, 2008, №10. – С.32-34.
3. ДСТУ 3336 Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги.
4. ГОСТ 10218 Криптон и криптоноксеноновая смесь. Технические условия.